

JCEE

Czasopismo
Inżynierii Lądowej,
Środowiska
i Architektury

Journal of Civil
Engineering,
Environment
and Architecture

Kwartalnik
tom XXXIV
zeszyt 64 (nr 4/II/2017)
październik-grudzień

(e-ISSN 2300-8903)

Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury jest kontynuacją
Zeszytów Naukowych Politechniki Rzeszowskiej - Budownictwo i Inżynieria Środowiska.

Wydano za zgodą Rektora

Redaktor naczelny
Wydawnictw Politechniki Rzeszowskiej
prof. dr hab. Grzegorz OSTASZ

Rada Naukowa

prof. Hasan Arman (Zjednoczone Emiraty Arabskie), prof. Zinoviy Blikharskyy (Ukraina)
prof. Antonio João Carvalho de Albuquerque (Portugalia), prof. Marina Ciuna (Włochy)
prof. Volodymyr V. Cherniuk (Ukraina), prof. Maurizio d'Amato (Włochy)
prof. Endre Domokos (Węgry), prof. Mohamed Eid (Francja), prof. Maria Elektorowicz (Kanada),
prof. Haritha Malladi (USA), prof. Samuel Hudson (USA), prof. Dušan Katunsky (Słowacja)
prof. Krzysztof Knapik (Polska), prof. Ryszard L. Kowalczyk (Australia)
prof. Jozef Kriš (Słowacja), prof. Vincent Kvočák (Słowacja), prof. Stanisław Kuś (Polska)
prof. Mladen Radujkovic (Chorwacja), prof. Czesława Rosik-Dulewska (Polska)
prof. Francesca Salvo (Włochy), prof. João Antonio Saraiva Pires da Fonseca (Portugalia)
prof. Marco Simonotti (Włochy), prof. Nadežda Številová (Słowacja),
prof. Janusz A. Tomaszek (Polska), prof. David Valis (Czechy)
prof. António Avelino Batista Vieira (Portugalia), prof. Oksana Vovk (Ukraina)
prof. Tomasz Winnicki (Polska), prof. Jerzy Ziółko (Polska)

Komitet Redakcyjny

(afiliacja: Polska)

redaktor naczelny

dr hab. inż. Piotr KOSZELNIK, prof. PRz

redaktorzy tematyczni (naukowi)

dr hab. inż. Bartosz MILLER, prof. dr hab. inż. Janusz RAK

redaktor statystyczny

dr hab. inż. Szczepan WOLIŃSKI, prof. PRz

sekretarz redakcji

dr inż. Katarzyna PIETRUCHA-URBANIK

członkowie

dr inż. Renata GRUCA-ROKOSZ, dr inż. arch. Anna SIKORA, dr inż. Michał JUREK,
dr hab. inż. Lucjan ŚLĘCZKA, prof. PRz, mgr inż. Artur SZALACHA

Przygotowanie matryc

Artur SZALACHA

e-ISSN 2300-8903

p-ISSN 2300-5130

Wersja drukowana Kwartalnika jest wersją pierwotną.

Redakcja czasopisma: Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska
i Architektury, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, [www.oficyna.prz.edu.pl/pl/zeszyty-
-naukowe/czasopismo-inzynierii-ladowej-s/](http://www.oficyna.prz.edu.pl/pl/zeszyty-
-naukowe/czasopismo-inzynierii-ladowej-s/) (e-mail: jceea_bud@prz.edu.pl)

Wydawca: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, al. Powstańców Warszawy 12,
35-959 Rzeszów, www.oficyna.prz.edu.pl (e-mail: oficyna@prz.edu.pl)

Informacje dodatkowe i stopka – str. 549

SPIS TREŚCI

Tadeusz GARGUŁA, Pelagia GAWRONEK, Maria MAKUCH: Prace projektowe przy zakładaniu sieci kontrolnej dla celów badania stabilności mostu kolejowego z wykorzystaniem idei sieci modułarnych.....	7
Violetta SOKOŁA-SZEWIOŁA, Marian PONIEWIERA, Andrzej ZYGMUNIAK: Transformacja współrzędnych z układów stosowanych w kopalniach węgla kamiennego do układu państwowego na przykładzie PG „Silesia”	27
Marek GOSZTYŁA, Agata MIKRUT: Wyniki badań przeprowadzonych na wybranych planach łemkowskich chyz.....	39
Marcin LEŚKO, Krzysztof BARAN, Henryk WACHTA: Wielowariantowa iluminacja Pałacu Lubomirskich w Rzeszowie	49
Aleksandra MIERZEJOWSKA: Rola geodety w procesie inwestycyjnym w świetle obowiązujących przepisów	57
Michał JUREK: Zastosowanie termografii aktywnej w badaniu stanu powierzchni elementów stalowych.....	65
Galina KALDA, Anna RAJCHEL: Analiza stanu gospodarki odpadami w powiecie Lesko	77
Arkadiusz KAMPCZYK: Pomiar strzałek w torze zwrotnym rozjazdu przykładnicą magnetyczno-pomiarową.....	91
Andżelika PIETRZYK, Dorota PAPCIAK: Wpływ właściwości związków organicznych na efektywność procesów uzdatniania wody - podstawy teoretyczne	107
Jan KRUPA, Andrzej MANTAJ, Piotr KOSZELNIK: Wybrane aspekty problematyki ochrony środowiska w ocenie respondentów	121
Dominika GRATKOWSKA-ŻMUDA: Analiza stabilności chemicznej butelkowanej wody źródlanej „Iwoniczanka”	143

Marek GOSZTYŁA, Rafał LICHOLAŁ: Nieistniejąca zabudowa przyrynkowa w Krasieczynie.....	151
Agnieszka Faustyna SZUTA: Czynniki wpływające na popularność leśnych teatrów plenerowych obrębu dawnych ziem Cesarstwa Niemieckiego	159
Agnieszka GENEROWICZ, Ryszarda IWANEJKO: Możliwości prowadzenia selektywnej zbiórki odpadów komunalnych przy częściowo niepewnej sytuacji rynkowej – podstawy techniczne i możliwości rozwiązań segregacji	183
Izabela PIEGDOŃ, Barbara TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK: Możliwość wykorzystania danych o awariach sieci wodociągowej w procesie planowania jej remontu	199
Patrycja MICHALIK, Janusz RAK: Analiza strat wody wodociągu miasta Biecz	211
Bartosz CHWIEDUK: Porównanie modeli promieniowania słonecznego.....	223
Agnieszka GENEROWICZ, Ryszarda IWANEJKO: Możliwości prowadzenia selektywnej zbiórki odpadów komunalnych przy częściowo niepewnej sytuacji rynkowej – aplikacja metod obliczeniowych	243
Joanna KUJDA, Lidia BUDA-OŻÓG: Analiza niezawodności tarcz żelbetowych projektowanych metodą ST	257
Arkadiusz KAMPCZYK: Geometria przejazdu kolejowo-drogowego kategorii D.....	269
Ryszarda IWANEJKO, Jarosław BAJER: Dekompozycja wielokrotna jako metoda dokładnego wyznaczania niezawodności systemów złożonych.....	287
Monika CHMIELEWSKA, Krystian CIEŚLAK: Analiza rozwiązań systemu fotowoltaicznego zintegrowanego z budynkiem na przykładzie domu jednorodzinnego	297
Marek URBANIK, Barbara TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK: Approach to the Determination of Failure Risk Level Index on the Example of the Natural Gas Distribution Subsystem.....	305

Piotr GLEŃ, Karol KRUPA: Studium zrównoważonego rozwoju architektury Islandii	313
Wioleta BŁASZCZAK-BAK, Anna SOBIERAJ-ŻŁOBIŃSKA: Metoda OptD do redukcji danych w opracowaniu wyników pomiarów linii elektroenergetycznych	319
Ryszard MIELIMAŁA, Paweł SIKORA: Zarządzanie kopalnianymi obiektami powierzchniowymi w Górnoślaskim Zagłębiu Węglowym z wykorzystaniem narzędzi GIS	331
Ryszarda IWANEJKO, Jarosław BAJER: Aplikacje dekompozycji wielokrotnej do dokładnego wyznaczenia niezawodności systemów złożonych.....	345
Robert GRYGO, Krzysztof CZECH, Marcin PALENCEUSZ: Numeryczna analiza odkształceń płaskich dźwigarów kratowych oraz ich weryfikacja przy wykorzystaniu stanowiska do badań parametrów mechanicznych konstrukcji w skali naturalnej	359
Michał BASZEŃ: Badania doświadczalne odkształcalności węzłów szkieletowych budynków drewnianych	367
Szymon TOPOLIŃSKI, Aleksandra GORAĆZKO, Jacek SZTUBECKI, Adam BUJARKIEWICZ: Monitoring przemieszczeń pionowych słupów obiektu posadowionego na podłożu ekspansywnym.....	375
Krzysztof SORNEK, Mariusz FILIPOWICZ: Symulacje dynamiczne systemów oze z wykorzystaniem oprogramowania TRNSYS	387
Paweł P. WŁODARCZYK, Barbara WŁODARCZYK: Wykorzystanie zużytego oleju rzepakowego do zasilania ogniwa paliwowego	395
Tomasz DZIK, Renata DZIK: Efektywność energetyczna i ekonomiczna funkcjonowania przedsiębiorstwa – doświadczenia z wdrożenia systemu zarządzania energią	403
Marek ZYGMUNT, Józef SANECKI, Andrzej KLEWSKI: Określanie przyczyn powstawania osuwisk w polskich Karpatach fliszowych w oparciu o obrazy lotnicze z BSL.....	413

Antonina ŻABA, Michał MARCHACZ: Wprowadzenie do problematyki eksploatacji zabytkowych kościołów w pętli gliwickiej szlaku architektury drewnianej w województwie śląskim.....	423
Leszek DULAK, Rafał ŻUCHOWSKI: Analiza oddziaływań akustycznych z etapu budowy i eksploatacji projektowanego osiedla domów jednorodzinnych w Sanoku.....	431
Arkadiusz KAMPCZYK: Przykładnica magnetyczno-pomiarowa w pomiarach strzałek eksploatacyjnych rozjazdu zwyczajnego.....	439
Anna WERNER-JUSZCZUK: Wpływ rozmieszczenia izolacji cieplnej w ścianie zewnętrznej na pracę ogrzewania ściennego.....	453
Krystian SIKORSKI: Zabytki z przyszłością. Konserwacja i modernizacja obiektu zabytkowego na przykładzie folwarku w Bagieńcu	467
Zbigniew SIEJKA: Opracowanie sieci wektorowej GNSS z wykorzystaniem systemu ASG-EUPOS, na przykładzie modernizowanej, szczegółowej osnowy poziomej.....	479
Piotr DRAGAN, Sławomir GUŁKOWSKI: Perspektywy wykorzystania energii słonecznej w dolinie Zielawy	495
Bogdan SIEDLECKI, Anna CZAPLICKA: Energooszczędne systemy oświetlenia obiektów architektonicznych w aspekcie zagrożenia środowiska naturalnego	501
Stanisław Jacek KOZIEŁ, Adam ŁUKSA: Ekonomiczne przesłanki utylizacji ubocznych produktów syntezy chemicznej – produkcja kaprolaktamu.....	511
Joanna GWOŹDZIEJ-MAZUR: Analiza przepływów wody w budynkach wielolokalowych przy wykorzystaniu wodomierzy statycznych...	521
Wojciech GOSK, Krzysztof CZECH: Ocena komfortu wibracyjnego ludzi w budynku w aspekcie zmiany jego funkcji z biurowej na mieszkalną według norm PN I ISO	531
Piotr WOLAŃSKI: Ryzyko mikrobiologiczne w budynkach z wentylacją naturalną	539

Tadeusz GARGULA¹
Pelagia GAWRONEK²
Maria MAKUCH³

PRACE PROJEKTOWE PRZY ZAKŁADANIU SIECI KONTROLNEJ DLA CELÓW BADANIA STABILNOŚCI MOSTU KOLEJOWEGO Z WYKORZYSTANIEM IDEI SIECI MODULARNYCH

Sieć kontrolna służąca badaniu stabilności mostu kolejowego została zaprojektowana z uwzględnieniem podstawowych aspektów technicznych: stabilności podłoża, odpowiedniej lokalizacji punktów oraz warunków geometrycznych, jakie powinna spełniać osnowa do wyznaczania przemieszczeń. Liczbowe parametry projektowe zakładanej sieci to m.in. błąd położenia punktu oraz wskaźniki wyznaczalności oraz niezawodności globalnej. Pomiar sieci wykonany został klasycznymi technikami naziemnymi na bazie stanowisk centrowanych. W celu poprawy parametrów jakości technicznej sieci, zaproponowano wprowadzenie dodatkowych quasi-observacji kąto-liniowych na bazie stanowisk swobodnych (bez centrowania). Kolejną propozycją było wykorzystanie idei sieci modularnych do wyznaczenia położenia punktów sieci kontrolnej. Prace obliczeniowe polegały m.in. na przeprowadzeniu wstępnej analizy dokładności oraz badaniu stabilności punktów osnowy.

Słowa kluczowe: przemieszczenia, stabilizacja osnowy, układ odniesienia, niezawodność

1. Wprowadzenie

Potrzeba prowadzenia badań w zakresie stabilności stalowych mostów kolejowych wynika z zaawansowanego wieku znacznej części tego typu obiektów, co często wiąże się kończącym się okresem ich żywotności eksploatacyjnej. Najliczniejszą reprezentację mostów kolejowych, występujących na liniach PKP PLK S.A., stanowią stalowe mosty kratownicowe, pochodzące głównie z lat 50. oraz 60. ubiegłego stulecia. Zaprojektowane zgodnie z przepisami branżowymi na okres 100 lat

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Tadeusz Gargula, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji; Katedra Geodezji; tadeusz.gargula@urk.edu.pl

² Pelagia Gawronek, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji; Katedra Geodezji; p.gawronek@ur.krakow.pl

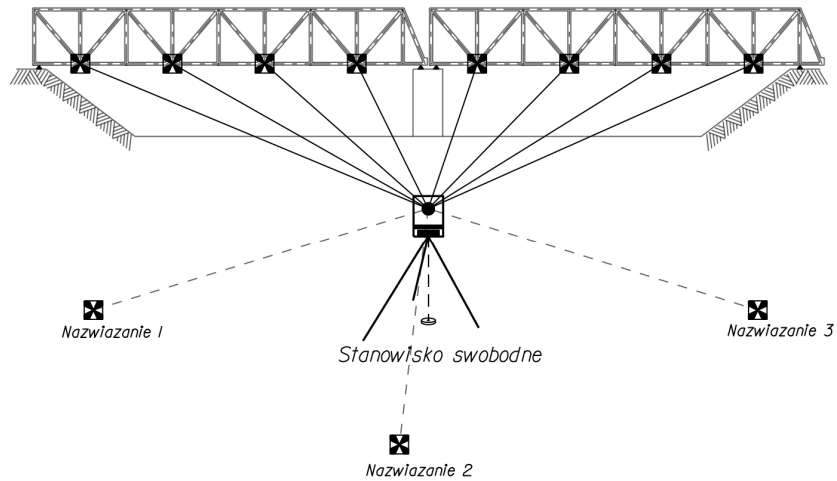
³ Maria Makuch, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji; Katedra Geodezji; m.makuch@ur.krakow.pl

użytkowania, zazwyczaj objęte są zgrubnym nadzorem, co nie pozwala uniknąć awarii i katastrof spowodowanych niewystarczającą oceną stanu ich wyeksploatowania. Zgodnie z zaleceniami związków kolejowych państw Europy Zachodniej [22], wiekowe mosty kolejowe, zaprojektowane na warunki eksploatacyjne ubiegłego wieku powinny podlegać weryfikacji stanu konstrukcji w celu oceny dalszej przydatności eksploatacyjnej. Efektywna diagnostyka stanu konstrukcji mostowych stanowi jednak złożone zagadnienie, wymagające stosowania rozwiązań z zakresu metrologii, materiałoznawstwa, fizyki, chemii czy też biologii.

Zgodnie z Ogólnymi Specyfikacjami Technicznymi Generalnej Dyrekcji Dróg Publicznych [14] stosowane w mostownictwie metody geodezyjne (klasyczne, fotogrametryczne i satelitarne) służą nie tylko do pomiaru przemieszczeń i odkształceń, lecz także pozwalają na przestrzenną kontrolę ukształtowania obiektu oraz jego komponentów. Geodezyjne badania stabilności mostów kolejowych stanowią podstawowe narzędzie w diagnostyce obiektów infrastruktury szynowej [1,2]. System kontroli stanu technicznego mostów kolejowych w Polsce składa się z okresowych przeglądów technicznych konstrukcji realizowanych przez służby utrzymania linii kolejowych - ich zadaniem jest wizualna ocena obiektu. Oprócz tego, obiekty mostowe podlegają (co 5÷10 lat) przeglądom rozszerzonym, prowadzonym odpowiednio przez inspektorów mostowych bądź zespoły diagnostów mostowych. Normy branżowe przewidują również przeglądy specjalne, prowadzone przez certyfikowane jednostki naukowo-badawcze [18].

Klasyczne, geodezyjne metody badania stabilności obiektów mostowych prowadzone są każdorazowo, gdy zachodzi potrzeba wyznaczenia wielkości i tendencji określonego typu uszkodzenia. Zmiany położenia oraz deformacje, przejawiające się w nieprawidłowym usytuowaniu obiektów, nadmiernym przemieszczeniu liniowym, nadmiernym obrocie, w zmianie geometrii elementów obiektu, ugięciu bądź przemieszczeniu pionowym spowodowanym dynamicznymi i statycznymi obciążeniami, stanowią podstawę badań geodezyjnych.

Zadanie badania stabilności każdej konstrukcji inżynierskiej polega na wykonywaniu powtarzanych okresowo pomiarów i obliczeń w sieci kontrolnej, służących ocenie stabilności punktów odniesienia i uzyskaniu wektorów przemieszczeń punktów kontrolowanych obiektu wraz z charakterystyką ich dokładności [28]. W pomiarach przemieszczeń i odkształceń elementarną podstawę realizowanych badań stanowi układ odniesienia, definiowany poprzez bazę oraz układ współrzędnych. Realizację układu odniesienia zapewnia sieć kontrolna, czyli sieć punktów osnowy sytuacyjno-wysokościowej, zaprojektowana i zastabilizowana trwale na potrzeby okresowych obserwacji obiektu. Obserwowane punkty obiektu mogą stanowić elementy naturalne konstrukcji bądź zaznaczone na niej znaki, ułatwiające identyfikację w kolejnych pomiarach okresowych [16]. Sytuacyjno-wysokościowy pomiar geodezyjny elementów konstrukcji mostu może zostać przeprowadzony z zastosowaniem metody wcięcia przestrzennego w przód lub przy wykorzystaniu pojedynczych stanowisk swobodnych (Rys. 1). Odpowiednie nawiązanie dla takich pomiarów zapewniają wcześniej wyznaczone punkty sieci kontrolnej.

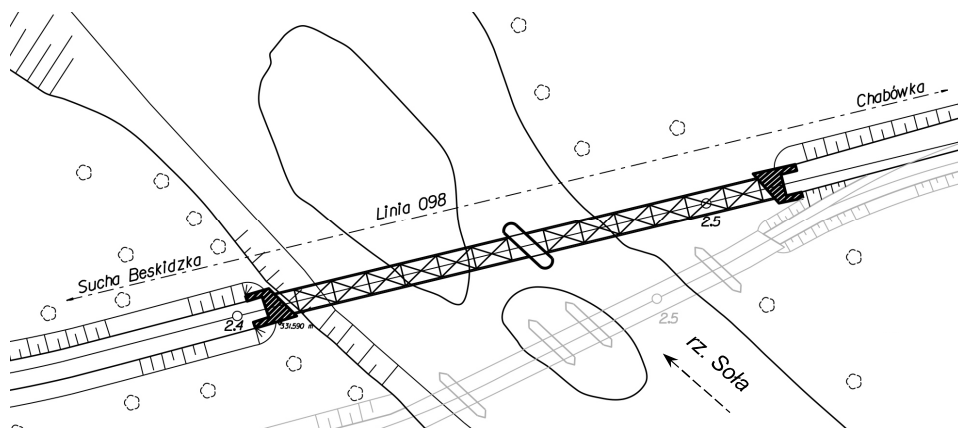


Rys. 1. Sytuacyjno-wysokościowy pomiar geodezyjny obiektu mostowego (na podstawie: [16])

Fig. 1. Horizontal and height measurement of the bridge object (based on: [16])

2. Obiekt badawczy

Obiekt badań stanowi stalowy most kolejowy w kilometrażu (km) 2.485 linii kolejowej nr 098 Sucha Beskidzka - Chabówka, udostępniony przez PKP PLK S.A. Zakład Linii Kolejowych w Nowym Sączu [13]. Przedmiotowy most zbudowano w latach 60-tych ubiegłego stulecia podczas modernizacji trasy kolejowej nad korytem rzeki Skawy (Rys. 2).



Rys. 2. Plan sytuacyjny obiektu badawczego (na podstawie: [13])

Fig. 2. Site plan of the research object (based on: [13])

Konstrukcję mostu kolejowego tworzy dwuprzęsłowy, ciągły ustrój nośny o rozpiętości teoretycznej przęseł wynoszącej 105,4 m. Konstrukcja posadowiona jest na betonowych, ukośnych przyczółkach i filarze. Dla płynności przemieszczeń ciągłego ustroju nośnego mostu na podporach, zastosowano zespół łożysk przegubowych przesuwnych oraz nieprzesuwnych. Oś podłużna mostu przecina oś przeskody pod kątem 55° . Całkowita szerokość mostu kolejowego wynosi 5,4 m. Przez obiekt prowadzą pojedyncze tory o rozstawie 4,5 m. Most kolejowy w km 2.485 trasy Sucha Beskidzka - Chabówka stanowi reprezentację najliczniejszej grupy pomostów transportu szynowego.

Przez wieloletni okres eksploatacji diagnostyka mostu kolejowego sprowadzała się jedynie do przeprowadzania okresowych oględzin, oceniających ogólną kondycję konstrukcji. Teoretyczne parametry statyczne ponad 50-letniego obiektu nadal obowiązują, mimo iż w ostatnich dekadach nastąpiła rewolucja w transporcie szynowym (m.in. znaczny wzrost prędkości), co powinno spowodować zmianę warunków eksploatacji infrastruktury. Zgodnie z treścią raportów ORE D154/R4 (1985) oraz ERRI D181/DT 329 (1995), opublikowanych przez zarządców linii kolejowych Europy Zachodniej przy udziale Instytutu Badawczego Dróg i Mostów w Warszawie (zob. [22]), pomosty szynowe, z uwagi na zmęczenie eksploatacyjne konstrukcji oraz nowe warunki techniczne transportu, winny być poddawane ponownej ocenie nośności, co w konsekwencji sprowadzać się powinno do opracowania ewentualnego planu ich modernizacji. Część żądanych parametrów eksploatacyjnych możliwa jest do wyznaczenia na podstawie geodezyjnych pomiarów przemieszczeń i odkształceń.

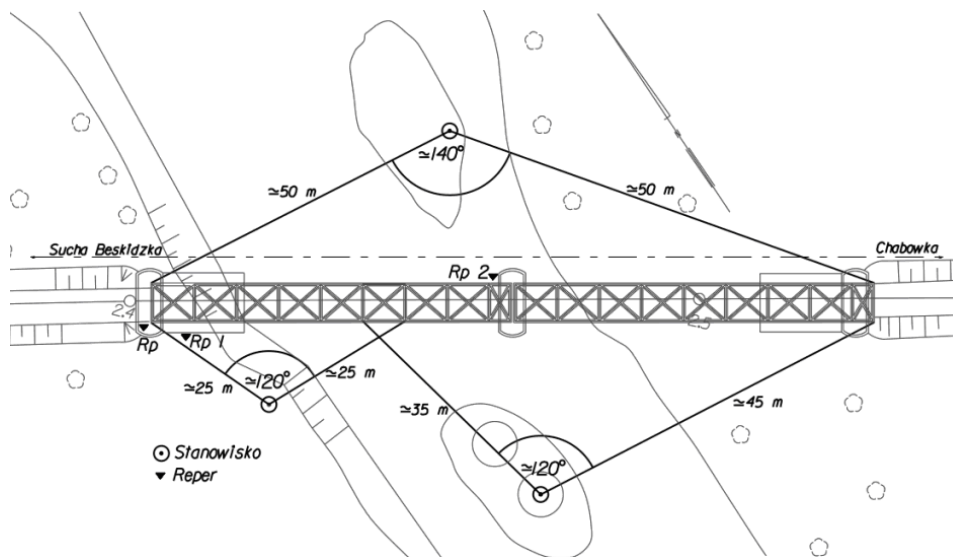
3. Projekt i stabilizacja punktów osnowy kontrolnej

Pojęcia układu odniesienia ma fundamentalne znaczenie przy geodezyjnym wyznaczaniu przemieszczeń. Od układu odniesienia należy oczekiwać, iż będzie on stabilny w czasie lub że może być matematycznie przekształcone do układu stabilnego na określonej epokę [23]. Powszechnie obowiązujące treści normalizacji wskazują, iż w sytuacji wymagającej wyznaczenia przemieszczeń o charakterze bezwzględny, do zakresu pomiarów odkształceń należy włączyć określenie układów odniesienia, a w szczególności identyfikację stałych punktów [26]. Zgodnie z treścią kolejowej instrukcji geodezyjnej [15], pomiary związane z badaniem przemieszczeń i odkształceń obiektu należy opierać na założonej do tych celów osnowie. Układ odniesienia, stanowiący zbiór punktów w przestrzeni, koniecznych w monitorowaniu ruchu obiektu, powinien być realizowany poprzez bazę odniesienia oraz układ współrzędnych [28]. Bazę odniesienia stanowią zastabilizowane w terenie punkty sieci kontrolnej, układ współrzędnych jest natomiast funkcyjnym zapisem zarówno ich pozycji i charakterystyk dokładnościowych, jak i wektorów przemieszczeń [3].

W badanym przypadku podstawowe kryteria zakładanej osnowy stanowiły: dokładność, niezawodność oraz stabilność. Parametry osnowy powinny zapewnić

uzyskanie wymaganych, szczegółowych tolerancji wymiarowych oraz dokładności wyznaczanych zmian geometrycznych obiektu, które wynikają z treści normy PN-S-10050:1989 [27] oraz branżowych wytycznych technicznych [30]. Kolejnym ważnym czynnikiem brany pod uwagę przy projektowaniu sieci był czas trwania pomiaru okresowego (np. minimalizacja czynności przygotowawczych na stanowisku pomiarowym) – ustalone procedury pomiarowe powinny zapewniać uzyskanie obiektywnych wyników, tzn. bez zakłóceń spowodowanych np. przejazdem pociągu. Warunkiem poprawnego projektu sieci kontrolnej było opracowanie i uwzględnienie całej koncepcji pomiaru mostu kolejowego (danej kampanii pomiarowej). Lokalizacja stanowisk pomiarowych (przykład: na rys. 3) stanowiła konsekwencję optymalizacji procesu pozyskiwania danych przestrzennych całego obiektu, wynikającą z parametrów technicznych zastosowanych instrumentów geodezyjnych, specyfiki warunków terenowych, monitorowanego obiektu oraz czasu trwania pomiaru. Przyjęto w tym zakresie m.in. następujące założenia:

- w trakcie trwania pomiaru okresowego, nad wszystkimi punktami sieci kontrolnej jednokrotnie zostaną spoziomowane i precyzyjnie scentrowane spodarki na statywach, co pozwoli na zminimalizowanie błędów centrowania;
- pomiar okresowy obiektu, podlegający rygorowi czasowemu realizacji w terenie, wykonywany będzie z pojedynczych stanowisk zlokalizowanych bezpośrednio nad punktami sieci kontrolnej lub stanowiących stanowiska swobodne (Rys. 3);
- podstawowym warunkiem wiarygodności wyników w badaniach okresowych obiektu z zastosowaniem metody biegunowej będzie staranna stabilizacja punktu stanowiska [25];



Rys. 3. Koncepcja rozmieszczenia stanowisk oraz punktów kontrolowanych (na podstawie: [13])

Fig. 3. Conception of placement both the stations and the points controlled (based on: [13])

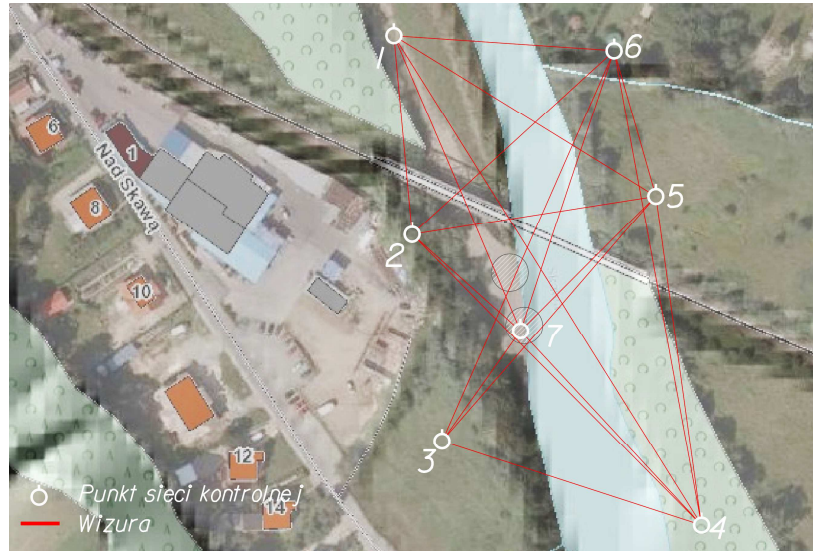
- każde ze stanowisk obserwacyjnych zostanie nawiązane do jak największej (możliwej) liczby punktów sieci kontrolnej (por. Rys. 2);
- wysokości punktów zamarkowanych na obiekcie będą wyznaczone metodą niwelacji trygonometrycznej, w oparciu o dwa repery znajdujące się na terenie obiektu.

Sieć kontrolna, służąca badaniu stabilności mostu kolejowego została zaprojektowana z uwzględnieniem podstawowych aspektów technicznych: stabilności podłoża, lokalizacji punktów, możliwości stabilizacji oraz warunków geometrycznych, jakie powinna spełniać osnowa do badania przemieszczeń. Podczas tworzenia projektu sieci kontrolnej dążono do lokalizacji punktów w możliwie znacznym oddaleniu od krawędzi obiektu oraz od przebiegu przeszkody (rzeki Skawy), celem minimalizacji wpływu pracy konstrukcji mostu oraz mechaniki gruntów wokół cieku wodnego na stabilność elementów sieci.

Jakość geometryczna sieci kontrolnej może być zapewniona poprzez wysoki, globalny wskaźnik niezawodności, stanowiący parametr nadwymiarowości względnej sieci (procentowy stosunek elementów nadliczbowych, liniowo niezależnych, do ilości wszystkich obserwacji). W przypadku, gdyby globalny wskaźnik niezawodności równy był w przybliżeniu 50%, wówczas każda obserwacja w sieci (w sensie przeciętnym) byłaby niezależnie kontrolowana [20].

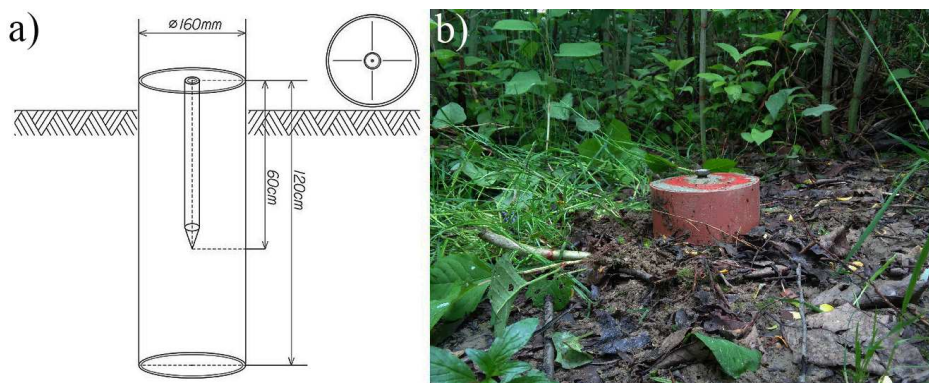
Efektom prac projektowych, zmierzających do utworzenia układu odniesienia spełniającego wszelkie aspekty techniczne oraz umożliwiającego przeprowadzenie pomiarów okresowych, stał się wyjściowy projekt sytuacyjno-wysokościowej sieci kontrolnej pokazany na rysunku 4. Projekt ten będzie następnie weryfikowany (w zakresie procedury pomiaru) na podstawie testów numerycznych (wstępnych analiz dokładności).

Punkty sieci kontrolnej, służącej badaniu przemieszczeń konstrukcji inżynierskich, powinny być stabilizowane w sposób możliwie trwały, zapewniający ograniczenie wpływu błędów na stanowisku na wyniki pomiarów okresowych. Zalecanym sposobem stabilizacji osnów są słupy betonowe z urządzeniami służącymi wymuszonemu centrowaniu instrumentów geodezyjnych [2; 24]. Taki sposób stabilizacji punktów sieci kontrolnej jest jednak czasochłonny oraz kosztowny. Osadzenie betonowych filarów obserwacyjnych wymagałoby co najmniej kilku-miesięcznych pomiarów kontrolnych montażu kolumn [4]. Poza tym, w sytuacji badania stabilności przedmiotowego obiektu, naruszałoby to zapisy prawa do dysponowania terenem poprzez sposób umieszczania znaków. Ze względu na ograniczony czas realizacji badań terenowych, przeprowadzono podziemną lokalizację znaków punktów sieci (Rys. 5). Trwała stabilizacja punktów polegała (w badanym przypadku) na posadowieniu w gruncie słupów betonowych o długości 120 cm oraz średnicy 160 mm, z osadzonymi w masie betonowej centrami z metalu nierdzewnego. Usytuowanie słupów betonowych następowało bezpośrednio po przygotowaniu pod stabilizację wykopu, wyścielonego utwardzającą oraz tłumiącą drgania podsypką (mieszanka tłucznia, żwiru i gleby).



Rys. 4. Projekt sieci kontrolnej (podkład projektu na podstawie: [31])

Fig. 4. Control network design (based on: [31])



Rys. 5. Stabilizacja punktów sieci kontrolnej: a) schemat; b) widok z boku

Fig. 5. Marking of control network points: a) schema; b) side view

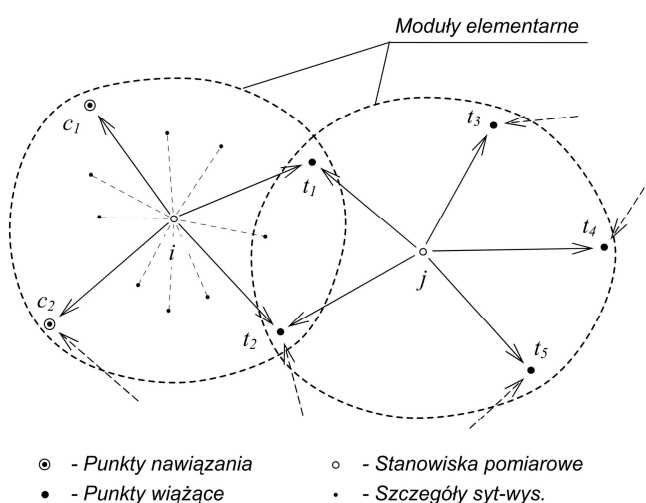
4. Idea sieci modułarnych

Badania testowe zostaną przeprowadzone dla zaprojektowanej sieci (Rys. 4) oraz kilku wariantów porównawczych, w których wykorzystano elementy konstrukcyjne tzw. sieci modułarnych [17]. Poniżej przedstawiono krótką charakterystykę oraz genezę tej metody pomiarów geodezyjnych - por. [12].

Wykorzystanie idei sieci modułarnych prowadzi do uproszczenia i skrócenia czasu prac pomiarowych. Zalety takiego rozwiązania wynikają z podstawowych

własności sieci modularnych: 1) stanowiska są dowolnie wybierane – bez markowania (brak czynności centrowania instrumentu i błędów z tym związanych); 2) punkty wiążące są z założenia punktami celu – ich rolę mogą pełnić punkty szczegółów sytuacyjnych I grupy dokładnościowej o wyraźnym kształcie (możliwość jednoznacznej identyfikacji punktu); 3) osnowa podlega pomiarowi jednocześnie z pomiarem szczegółów terenowych [8].

Opracowanie numeryczne sieci modularnej sprowadza się do rozwiązania układu równań warunkowych z niewiadomymi (zestawionych dla punktów wiążących i punktów nawiazania – zob. Rys. 6), co pozwala na wyznaczenie parametrów niezbędnych do transformacji wielogrupowej.



Rys. 6. Fragment przykładowej sieci modularnej (na podstawie: [12])

Fig. 6. An example fragment of modular network (based on: [12])

Koncepcja zastosowania sieci modularnych wywodzi się z badań prowadzonych w Niemczech w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku [29]. Konstrukcjami pomiarowymi o podobnej strukturze zajmował się również Kadaj [19]. Sieci modularne mogą być stosowane jako konstrukcje płaskie (sieci powierzchniowe) [7] lub konstrukcje o charakterze liniowym (ciągi modularne) [5]. Część prac naukowych autora dotyczy możliwości zintegrowania tego typu konstrukcji z sieciami wektorowymi GPS [10; 11]. Prowadzone były również badania nad wykorzystaniem sieci modularnych w badaniu przemieszczeń, np. jako tzw. sieci kinematycznych [9].

Niektóre cechy sieci modularnych można wykorzystać w tych dziedzinach pomiarów geodezyjnych, w których istnieje potrzeba osiągnięcia wysokiej precyzji wyznaczeń. Zastosowanie stanowisk pośrednich (tzw. punktów „straconych”) jest łatwym sposobem polepszenia wartości technicznej konstrukcji geodezyjnej [6]. Wystarczy bowiem w sposób dowolny, ale korzystny ze względu na wzajem-

ne wizury, obrać stanowisko do pomiarów kierunkowych (lub biegunowych). Otrzymany pęk kierunków (tzw. quasi-observacja) nie tylko wyznacza położenie samego stanowiska, ale również wpływa na lokalne wzmocnienie sieci; ponadto eliminują się błędy centrowania instrumentu. Z powyższego wynika, że elementy sieci modularnych (czyli quasi-observacje kątowno-liniowe lub kątowe) mogą w prosty sposób służyć polepszeniu wartości technicznej sieci realizacyjnych lub kontrolnych do pomiaru przemieszczeń.

5. Wstępne analizy dokładności

Jednym z etapów poprawnie przeprowadzonego procesu projektowania osnowy powinna być wstępna analiza dokładności [21]. Wyniki takiej analizy dają podstawę do oceny poprawności projektu sieci oraz ewentualnej modyfikacji jej konstrukcji lub korekty założonej a priori dokładności pomiaru. Zadanie to można zrealizować, przykładowo, przy użyciu jednego modułów systemu obliczeniowego *GeoNet* [21]. Program nie wymaga podawania rzeczywistych miar obserwacji; deklaruje się jedynie plany obserwacji i współrzędne przybliżone. Analiza ta pozwala określić docelowy model dokładności sieci, do którego powinny zmierzać wyniki wyrównania.

Pierwszym krokiem w zadaniu wstępnej analizy dokładności poziomej sieci geodezyjnej jest oszacowanie możliwie realnych wartości błędów średnich obserwacji (w badanym przypadku – kierunków i długości). Zauważyć tutaj należy, że faktyczną dokładność pomiarów (zarówno kątowych jak i liniowych) kształtują głównie błędy centrowania instrumentu i sygnału (lustra) oraz błędy identyfikacji punktów; natomiast mniejsze znaczenie ma sama dokładność przyrządu – tachimetru elektronicznego (por. [21]).

Zakładając, że błąd centrowania instrumentu wynosi $m_{ci} \approx \pm 4$ mm (łącznie z błędem identyfikacji punktu), możemy dla danej długości odcinka (np. $d = 100$ m) obliczyć popełniany z tego tytułu błąd kierunku:

$$\delta_i = \arctg \frac{m_{ci}}{d} \cong \pm 25^{\text{cc}} \quad (1)$$

Podobną wartość błędu kierunku ($\delta_s = \pm 25^{\text{cc}}$) uzyskamy z tytułu błędu centrowania sygnału ($m_{cs} \approx \pm 4$ mm). Przyjmując błąd pomiaru kierunku tachimetrem precyzyjnym (np. Leica TC2003) na poziomie $\delta_t = \pm 2^{\text{cc}}$, obliczymy sumaryczny błąd kierunku dla pomiaru na stanowisku centrowanym (nad punktem stabilizowanym):

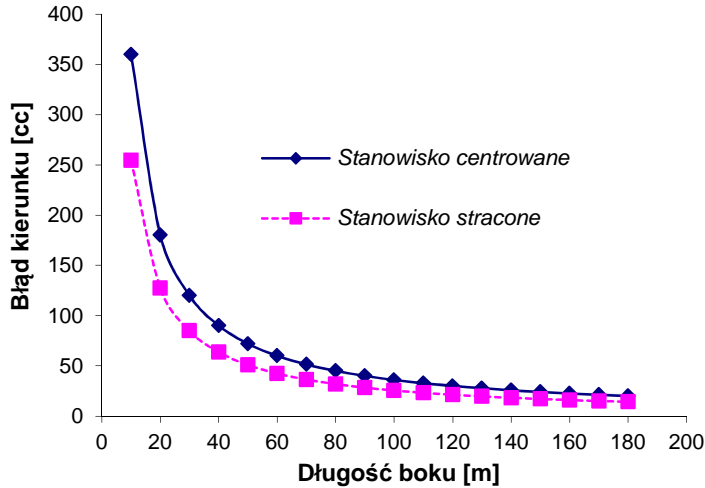
$$m_k = \sqrt{\delta_i^2 + \delta_t^2 + \delta_s^2} \cong 36^{\text{cc}} \quad (2)$$

W przypadku pomiaru na stanowisku niecentrowanym (bez stabilizacji), błąd kierunku będzie wolny od błędu centrowania instrumentu:

$$m_{k'} = \sqrt{\delta_t^2 + \delta_s^2} \cong 26^{\text{cc}} \quad (3)$$

Na podstawie wzorów (1 ÷ 3) szacowano błędy kierunków dla poszczególnych długości celowych występujących w badanej sieci kontrolnej.

Na rysunku 7 pokazano wpływ długości celowej na wartość błędu kierunku: dla pomiaru klasycznego (stanowiska centrowane) oraz dla sieci modułowych (bez centrowania).



Rys. 7. Wpływ długości celowej na błąd średni pomiaru kierunku

Fig. 7. Impact of sight line length on mean error of direction measurement

Natomiast błąd pomiaru długości (m_d) oszacujemy w następujący sposób (przyjmujemy błąd dalmierza $m_D \approx \pm 1$ mm – dla długości rzędu 100 m):

$$m_d = \sqrt{m_{ci}^2 + m_D^2 + m_{cs}^2} \cong 6 \text{ mm} \quad (4)$$

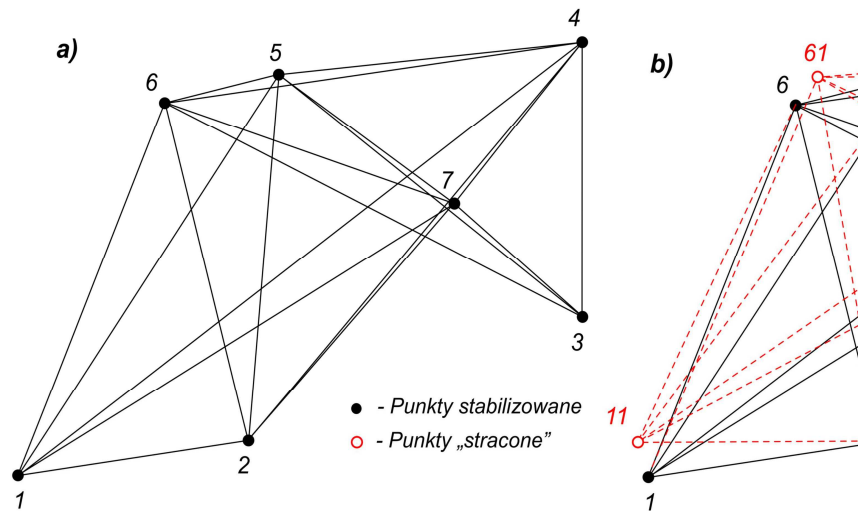
W przypadku braku błędu centrowania instrumentu ($m_{ci} = 0$), błąd długości wyniesie:

$$m_{d'} = \sqrt{m_D^2 + m_{cs}^2} \cong 4 \text{ mm} \quad (5)$$

Wstępne analizy dokładności dla czterech wariantów testowych sieci kontrolnej (Rys. 4) przeprowadzono przy pomocy jednego z modułów systemu obliczeniowego *GeoNet*. Dla zweryfikowania poprawności projektu wyjściowego sieci zaproponowano kilka opcjonalnych wariantów układów obserwacyjnych (porównawczych), na podstawie których również można wyznaczyć (w przyjętym układzie odniesienia) położenie poziome punktów 1 – 7 (Rys. 4):

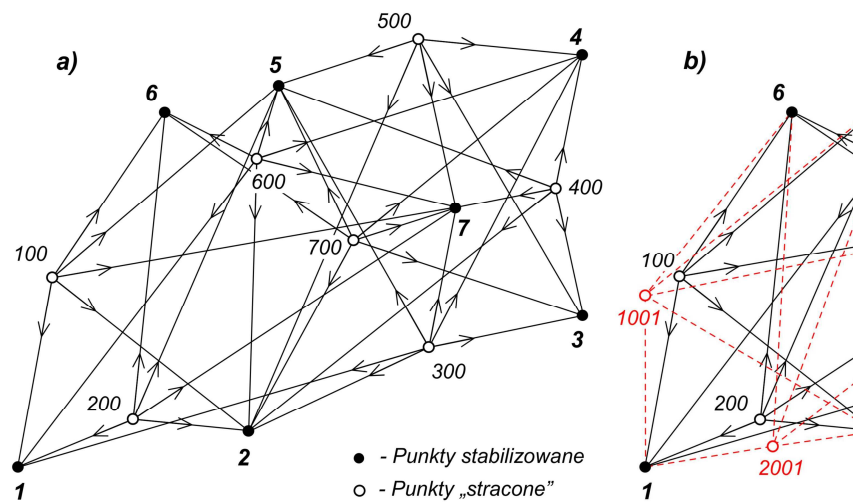
- wariant „KL”: Sieć klasyczna (Rys. 8a) – pomiar na bazie stanowisk centrowanych;
- wariant „KL+Q”: Sieć klasyczna uzupełniona tzw. quasi-obszernymi (Rys. 8b);

- wariant „MOD”: Sieć modułarna (Rys. 9a) – pomiar na bazie stanowisk „straconych” (niecentrowanych). Przyjęto założenie, że łączna liczba kierunków wyznaczających punkty sieci będzie taka sama jak w przypadku wariantu KL (zob. Rys. 8a);
- wariant „MOD+Q”: Sieć modułarna uzupełniona pomiarem na dodatkowych stanowiskach niecentrowanych (Rys. 9b).



Rys. 8. Szkic poglądowy sieci kontrolnej: a) wariant KL; b) wariant KL+Q (przykładowy fragment: zasada tworzenia quasi-observacji)

Fig. 8. A visual sketch of the control network: a) variant KL; B) variant KL + Q (exemplary part: principle of quasi-observation)



Rys. 9. Szkic poglądowy sieci kontrolnej: a) wariant MOD; b) wariant MOD+Q (przykładowy fragment: zasada tworzenia quasi-observacji)

Fig. 9. A visual sketch of the control network: a) variant MOD; B) variant MOD + Q (exemplary part: principle of quasi-observation)

Położenie sytuacyjne punktów sieci kontrolnej identyfikował lokalny układ współrzędnych, którego oś Oy dostosowano do konstrukcji obiektu. Jako początek układu współrzędnych obrano punkt nr 3, natomiast orientacja układu nastąpiła poprzez zdefiniowanie azymutu początkowego (100°) boku 3 – 4, w przybliżeniu równoległego do dłuższego boku konstrukcji mostu (Rys. 4). Lokalizacja sytuacyjna układu, wynikała z ułatwień w przyszłej interpretacji ewentualnych przemieszczeń poziomych obserwowanych punktów, w kierunkach możliwie prostopadłych do osi układu oraz do konstrukcji mostu. Punkty tworzące początek i orientację układu lokalnego współrzędnych były najbardziej odległe od monitorowanego obiektu, zatem znajdowały się możliwie najdalej poza strefą wpływów czynników ruchu konstrukcji, mogących powodować ich przemieszczenia.

Wyniki analiz zestawiono w tabelach 1, 2 oraz na rysunkach 10, 11.

Uzyskane wartości błędów średnich (Tab. 1) są oczywiście zależne od przyjętych a priori błędów obserwacji (wzory 1 ÷ 5). Wprowadzenie dodatkowych (w stosunku do wariantu KL), niezależnych quasi-obszacji (wariant KL+Q) powoduje znaczne zwiększenie liczby obserwacji nadokreślających ($m - n$; zob. Tab. 2) i w konsekwencji wzrost dokładności wyznaczanych punktów (zmniejszenie błędów położenia rzędu 25 – 30%). W tabeli 1 zestawiono również błędy położenia punktów niestabilizowanych (MOD oraz MOD+Q); punkty pośrednie („stracone”) mogą bowiem stanowić jednocześnie stanowiska obserwacyjne dla punktów reprezentujących badany obiekt (por. Rys. 3). Wartości błędów średnich wyznaczenia tych punktów (nr 100 ÷ 700) kształtują się na podobnym poziomie jak dla punktów stabilizowanych (nr 1 ÷ 7) – wynika to m.in. z niższych błędów średnich pomiaru kierunków (brak wpływu błędu centrowania instrumentu).

Tabela 1. Wyniki wstępnych analiz dokładności (błędy średnie w [m])

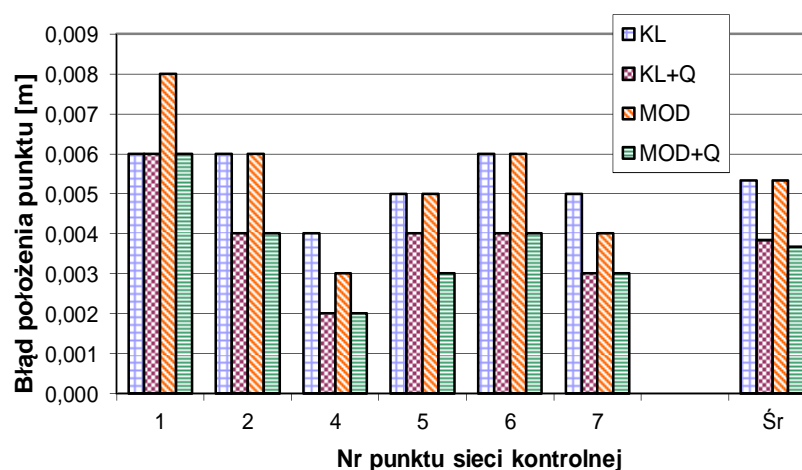
Table 1. Results of preliminary accuracy analyzes (mean errors in [m])

Nr pkt	KL			KL+Q			MOD			MOD+Q		
	m_x	m_y	m_P	m_x	m_y	m_P	m_x	m_y	m_P	m_x	m_y	m_P
1	0,004	0,004	0,006	0,003	0,005	0,006	0,004	0,007	0,008	0,003	0,005	0,006
2	0,004	0,004	0,006	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004	0,006	0,002	0,003	0,004
4	0,002	0,004	0,004	0,000	0,002	0,002	0,000	0,003	0,003	0,000	0,002	0,002
5	0,004	0,003	0,005	0,002	0,003	0,004	0,002	0,004	0,005	0,002	0,003	0,003
6	0,004	0,004	0,006	0,002	0,004	0,004	0,003	0,005	0,006	0,002	0,004	0,004
7	0,004	0,003	0,005	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	0,004	0,002	0,002	0,003
(\bar{S}_r)	0,0053			0,0038			0,0053			0,0037		
100	-	-	-	-	-	-	0,003	0,006	0,007	0,002	0,005	0,005
200	-	-	-	-	-	-	0,004	0,006	0,007	0,003	0,004	0,005
300	-	-	-	-	-	-	0,003	0,003	0,004	0,002	0,002	0,003
400	-	-	-	-	-	-	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002	0,003
500	-	-	-	-	-	-	0,003	0,003	0,004	0,003	0,003	0,004
600	-	-	-	-	-	-	0,002	0,004	0,005	0,002	0,003	0,004
700	-	-	-	-	-	-	0,002	0,004	0,004	0,002	0,003	0,003
(\bar{S}_r)							0,0049			0,0039		

Tabela 2. Wyznaczalność i niezawodność sieci kontrolnej (w_i – l. niezależnych obserwacji wyznaczających i -ty punkt; m – l. wszystkich obserwacji; n – l. niewiadomych; z – parametr niezawodności)

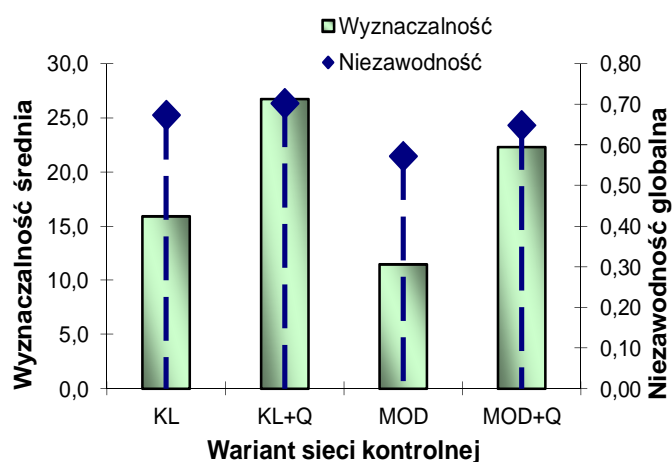
Table 2. Determinability and reliability of the control network (independent observations determining the i -th point, m - num. of all observations, n - num. of unknowns, z - parameter of reliability)

Wariant sieci	Wyznaczalność punktów sieci								Niezasadność globalna		
	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	$w_{\text{Śr}}$	m	n	z
KL	14	14	14	18	17	17	17	15,9	58	19	0,67
KL+Q	24	24	22	30	29	29	29	26,7	134	40	0,70
MOD	8	14	11	11	14	8	14	11,4	77	33	0,57
MOD+Q	16	28	19	21	28	16	28	22,3	153	54	0,65



Rys. 10. Porównanie dokładności różnych wariantów sieci kontrolnej

Fig. 10. Comparing the accuracy of different variants of the control network



Rys. 11. Porównanie wyznaczalności i niezawodności dla różnych wariantów sieci kontrolnej

Fig. 11. Comparison of determinability and reliability for different variants of the control network

Zastosowanie sieci modularnej (MOD) zamiast klasycznej (KL) prowadzi do niewielkiego spadku dokładności (niższa wyznaczalność), ale jest korzystniejsze ze względów praktycznych: brak czynności centrowania instrumentu oraz błędów z tym związanych. Prosty sposób podniesienia dokładności wyznażeń jest wprowadzenie (w sieci MOD) dodatkowych, niezależnych quasi-obszacji (MOD+Q) – w efekcie uzyskane wartości błędów położenia punktów spadają do poziomu zaobserwowanego dla wariantu KL+Q. Zaletą tego rozwiązania jest jednak mniejsza pracochłonność na etapie pomiaru (dowolność w doborze stanowisk oraz brak konieczności centrowania instrumentu).

Pozostałe wskaźniki jakości technicznej sieci geodezyjnej (wyznaczalność, niezawodność – zob. Tab. 2) zmieniają się dla poszczególnych wariantów badawczych na podobnej zasadzie jak przy analizie błędów średnich: najkorzystniej wypadają warianty z dodatkowymi quasi-obszacjami (KL+Q oraz MOD+Q). Wyrażnie niższe wskaźniki wyznaczalności w wariantach KL oraz MOD nie przekładają się jednak na istotny spadek niezawodności globalnej (zob. Rys. 11), co świadczy o prawidłowej, całej strukturze geometrycznej ocenianych wariantów sieci).

6. Badanie stabilności punktów osnowy kontrolnej

Zachowanie stałości punktów sieci odniesienia jest obligatoryjnym warunkiem wyznaczania epokowych przemieszczeń i odkształceń monitorowanego obiektu [3]. Weryfikacja stabilności elementów sieci to proces polegający na poszukiwaniu w zbiorze prawdopodobnych punktów odniesienia podzbioru punktów wzajemnie nieprzemieszczonych. Proces ten realizowany jest w oparciu o odpowiednio opracowane wyniki pomiarów [24; 4]. Określenie właściwej metodyki pomiaru oraz wyrównania sieci kontrolnej to zadanie niezwykle istotne w procesie identyfikacji punktów stabilnych. Innym, równie ważnym zadaniem jest odpowiednio, aprioryczne oszacowanie dokładności pomiarów, z uwzględnieniem ewentualnych czynników zakłócających pomiar [4]. Parametry dokładności sprostżeń przyjmowane przed ścisłym wyrównaniem mają bezpośredni wpływ na jego wyniki, które przede wszystkim pełnią funkcję diagnostyczną, pozwalając sprawdzić poprawność całego materiału obserwacyjnego [28] oraz stanowią podstawę określania kryteriów wzajemnej stałości punktów [24].

W celu sprawdzenia stabilności położenia punktów sieci oraz weryfikacji poprawności zastosowanego sposobu stabilizacji jej elementów dokonano pomiaru sieci w dwóch epokach czasowych, oznaczonych jako: „Osnowa Ia” oraz „Osnowa I”.

W obydwu przypadkach pomiar sytuacyjny przeprowadzono tachimetrem elektronicznym Leica TC 2003 (1 mm+1 ppm; 0.5"). Pryzmaty celownicze (GPR121 PRO) centrowano i poziomowano na statywach ze spodarkami nad każdym z punktów osnowy. Na każdym stanowisku dokonano pomiaru w dwóch seriach (możliwie do każdego z punktów osnowy). Po wstępnym opracowaniu wyników pomiarów, dokonano ścisłego wyrównania sieci poziomej w programie *Geo-Net*. W celu zdefiniowania układu lokalnego przyjęto a priori bezbłądność punktu osnowy nr 3 oraz azymutu do punktu nr 4 (podobnie jak przy wstępnych analizach dokładności).

W następnym kroku dokonano (również w programie *GeoNet*) analizy przemieszczeń poziomych dla dwóch zbiorów wyrównanych współrzędnych: Osnowy Ia oraz Osnowy I. Punkty analizowanej sieci kontrolnej nie podlegały nigdy wcześniej weryfikacji co do stałości ich położenia, w związku z czym w obliczeniach zastosowano metodę transformacji poszukiwawczej, wykonując kolejne liniowe transformacje konforemne sieci aktualnej na punkty sieci pierwotnej. Dzięki zastosowaniu metody transformacji Helmerta obliczono przemieszczenia sytuacyjne osnowy, eliminując w ten sposób wpływ założenia bezbłądności współrzędnych (X, Y) punktu nr 3 oraz kierunku na punkt nr 4 i zastępując je założeniem stałości położenia wszystkich punktów osnowy. Konforemna transformacja liniowa pozwoliła także na uwzględnienie w procesie identyfikacji punktów stałych parametru zmiany skali, który zapewnił eliminację ewentualnego niedoszacowania wpływu błędów systematycznych na pomiary liniowe sieci [4]. Analiza istotności przemieszczeń polegała na porównaniu składowych przemieszczeń z podwójnymi wartościami ich błędów średnich (Tab. 3), co stanowi typowe kryterium istotności przyjmowane w analizie stabilności [24].

W wyznaczeniu błędu średniego przemieszczenia uwzględniono trzy niezależne komponenty: błąd współrzędnej z wyrównania swobodnego sieci pierwotnej, błąd współrzędnej z wyrównania swobodnego sieci aktualnej oraz błąd układu odniesienia wynikający z odchyłek transformacji współrzędnych na wspólnych punktach odniesienia. W wyniku analizy przemieszczeń punktów sieci kontrolnej nie stwierdzono elementów przemieszczonych (Tab. 4).

Tabela 3. Wyniki analizy przemieszczeń poziomych sieci kontrolnej w okresie „Ia – I”

Table 3. The analysis results of the horizontal displacements of the control network during the period „Ia – I”

Nr pkt	Układ pierwotny		Układ aktualny (po transformacji)		Składowe przemieszczenia i ich błędy średnie		Przemieszczenie wypadkowe i błąd średni	Identyfikacja punktu stałego
	Osnowa Ia		Osnowa I po transformacji		dx [mm]	dy [mm]		
	X [m]	Y [m]	X [m]	Y [m]	m _{dx} [mm]	m _{dy} [mm]	m _{dr} [mm]	
1	1104.2616	972.1013	1104.2621	972.1015	0.51	0.18	0.54	s
					1.03	0.89	0.55	
2	1061.6493	978.3105	1061.6493	978.3107	0.01	0.22	0.22	s
					0.66	0.61	0.90	
3	1000.0000	1000.0000	999.9996	999.9999	-0.39	-0.15	0.42	s
					0.18	0.18	0.26	
4	1000.0000	1048.1972	1000.0002	1048.1977	0.19	0.45	0.49	s
					0.41	0.41	0.58	
5	1056.0511	1042.5570	1056.0508	1042.5568	-0.34	-0.24	0.42	s
					0.15	0.15	0.02	
6	1077.2169	1037.5279	1077.2166	1037.5273	-0.32	-0.62	0.69	s
					0.66	0.53	0.85	
7	1023.6201	1019.9379	1023.6204	1019.9381	0.35	0.15	0.38	s
					0.39	0.39	0.55	

7. Podsumowanie i wnioski

W ramach niniejszej pracy zrealizowano następując zadania badawcze:

- analiza literatury (w tym kolejowych przepisów branżowych) pod kątem potrzeby prowadzenia badań stabilności obiektów mostowych (rozdz. 1);
- ustalenie warunków i możliwości wykonania pomiarów przemieszczeń dla badanego obiektu (rozdz. 2);
- wykonanie projektu (optymalnego rozmieszczenia punktów) sieci kontrolnej oraz opracowanie warunków stabilizacji (rozdz. 3);
- określenie możliwości wykorzystania technologii sieci modularnych dla celów badania przemieszczeń (rozdz. 4);
- opracowanie procedury określania błędów średnich obserwacji kierunkowych i liniowych (rozdz. 5);
- przeprowadzenie wstępnych analiz dokładności dla czterech wariantów sieci kontrolnej oraz analiza porównawcza uzyskanych wyników (rozdz. 5);
- badanie stabilności punktów sieci kontrolnej (rozdz. 6).

Zestawione powyżej etapy prac badawczych stanowią podstawę do sformułowania następujących wniosków:

- Geodezyjne badania stabilności mostów kolejowych stanowią podstawowe narzędzie w diagnostyce obiektów infrastruktury szynowej; realizację układu odniesienia w tych badaniach zapewnia sieć kontrolna, czyli zbiór punktów zaprojektowanych i zastabilizowanych trwale na potrzeby okresowych obserwacji obiektu;
- Obiekt badawczy (most kolejowy w kilometrażu 2.485 linii kolejowej nr 098 Sucha Beskidzka – Chabówka) stanowi ponad 50-letnią konstrukcję, której aktualne parametry eksploatacyjne powinny zostać ponownie wyznaczone m.in. na podstawie geodezyjnych pomiarów przemieszczeń i odkształceń;
- Ustalona lokalizacja punktów osnowy kontrolnej jest wynikiem optymalizacji całego procesu pozyskiwania danych przestrzennych dla badanego obiektu (m.in. parametrów technicznych instrumentów geodezyjnych, specyfiki warunków terenowych oraz monitorowanego obiektu, przewidywanego czasu trwania pomiaru);
- Przyjęty optymalny sposób stabilizacji punktów polegał na posadowieniu w gruncie słupów betonowych o długości 120 cm oraz średnicy 160 mm, z osadzonymi w masie betonowej centrami z metalu nierdzewnego;
- Elementy konstrukcyjne sieci modularnych (quasi-obszary kątowo-liniowe lub kątowe) mogą służyć polepszeniu wartości technicznej sieci kontrolnych do pomiaru przemieszczeń;
- Jednym z etapów poprawnie przeprowadzonego procesu projektowania osnowy powinna być wstępna analiza dokładności, a pierwszym krokiem w tym zadaniu jest odpowiednie oszacowanie wartości błędów średnich obserwacji (w badanym przypadku – kierunków i długości), z uwzględnieniem wpływu błędów centrowania instrumentu i sygnału oraz błędów identyfikacji punktów; przypadku pomiaru na stanowisku niecentrowanym (sieć modularna) nie wystąpią błędy związane z centrowaniem instrumentu;

- We wszystkich czterech zaproponowanych wariantach testowych sieci kontrolnej uzyskano zadowalające parametry dokładnościowe (błędy położenia punktów); wprowadzenie do wariantu sieci klasycznej dodatkowych, niezależnych quasi-obszacji kąto-liniowych powoduje znaczne zwiększenie liczby obszacji nadokreślających i w konsekwencji wzrost dokładności wyznaczanych punktów (rzędu 25 – 30%);
- Zastosowanie sieci modularnej zamiast klasycznej prowadzi do niewielkiego spadku dokładności, ale jest korzystniejsze ze względów praktycznych (m.in. brak czynności centrowania instrumentu oraz błędów z tym związanych);
- W przypadku analizy wskaźników wyznaczalności i niezawodności najkorzystniej wypadają warianty z dodatkowymi quasi-obszacjami; najwyższą niezawodność globalną uzyskano dla sieci klasycznej z dodatkowymi quasi-obszacjami (70%), a najniższą dla sieci modularnej (57%);
- Istotną cechą sieci modularnych jest ich elastyczność: stanowiska mogą być obierane dowolnie (korzystnie ze względu na możliwości obszacji); obrane stanowisko może jednocześnie służyć do pomiaru osnowy i pomiaru badanego obiektu;
- W wyniku badania stabilności punktów osnowy kontrolnej, wykonanego metodą transformacji poszukiwawczej dla dwóch pomiarów okresowych, nie stwierdzono elementów przemieszczonych.

Literatura

- [1] Bień J.: Uszkodzenia i diagnostyka obiektów mostowych, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2010.
- [2] Bryś H., Przewłocki S.: Geodezyjne metody pomiarów przemieszczeń budowli. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1998.
- [3] Ćwiakła P., Deska K., Kocierz R., Ortyl Ł., Owerko T., Puniach E., Skrzypczak I., Świętoń T.: Wybrane problemy geodezji inżynierskiej, Wyższa Szkoła Inżyniersko-Ekonomiczna z siedzibą w Rzeszowie, Rzeszów 2015.
- [4] Deska K.: Badania sieci odniesienia do wyznaczania przemieszczeń obudowy wykopu. Materiały Budowlane, Wyd. SIGMA-NOT, Warszawa, Nr 11, 2013, s. 55-58.
- [5] Gargula T.: Zastosowanie ciągów modularnych do pomiarów sytuacyjnych, Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie, Nr 44, 1995, s. 33-41.
- [6] Gargula T.: Zastosowania specjalne sieci modularnych, Acta Scientiarum Polonorum – Geodesia et Descriptio Terrarum, Nr 2 (1-2), 2003, s. 109-118.
- [7] Gargula T.: Algorithm for rigorous adjustment of modular networks, Geodezja i Kartografia, Nr 52 (3), 2003, s. 143-152.
- [8] Gargula T.: Research on geometrical structure of modular networks, Geodezja i Kartografia, Nr 53 (3-4), 2004, s. 189-202.
- [9] Gargula T.: A kinematic model of a modular network as applied for the determination of displacements, Geodezja i Kartografia, Nr 58 (2), 2009, s. 51-67.
- [10] Gargula T.: The conception of integrated survey networks composed of modular networks and GPS vectors, Survey Review, Nr 41, 2009, s. 301-313.
- [11] Gargula T.: Zintegrowane sieci modularne w zastosowaniu do wyznaczania przemieszczeń, Zeszyty Naukowe UR w Krakowie, Nr 473, 2011, ser. Rozprawy, z. 350, 121 stron.

- [12] Gargula T.: Numeryczne opracowanie tachimetrycznej osnowy modularnej. Przegląd Geodezyjny, Warszawa, Nr 1, 2016, s. 5-9.
- [13] Gawronek P.: Metodyka badania stabilności obiektów mostowych z zastosowaniem naziemnego skaningu laserowego, Rozprawa doktorska (maszynopis), UR Kraków 2017.
- [14] GG-00.13.01: Pomiary przemieszczeń i odkształceń obiektów mostowych metodami geodezyjnymi, Ogólne Specyfikacje Techniczne, Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych, Warszawa 1998.
- [15] GK-1: Standard techniczny "O organizacji i wykonywaniu pomiarów w geodezji kolejowej GK-1", Zarząd PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2015.
- [16] Gocał J.: Geodezja inżyniersko-przemysłowa - część 2, Wydawnictwa AGH, Kraków 2009.
- [17] GUGiK.: Wytyczne techniczne G-4.1 „Sieci modułowe”, Główny Urząd Geodezji i Kartografii, Warszawa 1986.
- [18] Id-16: Instrukcja utrzymania kolejowych obiektów inżynierskich na liniach kolejowych do prędkości 200/250 km/h, Zarząd PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2014.
- [19] Kadaj R.: Sieci geodezyjne poziome o specjalnej strukturze obserwacyjnej, Geodezja i Kartografia, Nr 25 (4), 1976, s. 249-255.
- [20] Kadaj R.: Problematyka obliczeniowa poziomych osnów szczegółowych III klasy oraz osnów pomiarowych w układzie „2000”, Publikacje internetowe. AlgoRes-Soft, Rzeszów 2003.
- [21] Kadaj R.: System geodezyjny GeoNet (4.0-5.0) – opis funkcjonalny i instrukcja obsługi, AlgoRes-Soft, Rzeszów 2006.
- [22] Klasztorny M.: Dynamika mostów belkowych obciążonych pociągami szybkobieżnymi, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005.
- [23] Kryński J.: Krótki wykład: Systemy i układy współrzędnych nie tylko dla nas, On-line, 2004, www.geoforum.pl/geodeta (dostęp: 20.08.2017).
- [24] Lazzarini T.: Geodezyjne pomiary przemieszczeń budowli i otoczenia, Wyd. PPKW, Warszawa 1977.
- [25] Mercik S.: Niektóre problemy geodezyjne w badaniu odkształceń mostów, Przegląd geodezyjny. Nr 4, 1979, s. 309-313.
- [26] PN-N-02211: Geodezja - Geodezyjne wyznaczanie przemieszczeń - Terminologia podstawowa, 2000.
- [27] PN-S-10050: Obiekty mostowe - Konstrukcje stalowe - Wymagania i badania, 1989.
- [28] Prószyński W., Kwaśniak M.: Podstawy geodezyjnego wyznaczania przemieszczeń, Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2006.
- [29] Ruopp M.: Genauigkeitsbetrachtungen zur polaren Punktbestimmung mit elektronischen Tachymetern bei freier Standpunktswahl, Allgemeine Vermessung Nachrichten, Nr 8: 1971, s. 289-299.
- [30] Standardy techniczne: Szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości $V_{max} \leq 200$ km/h (dla taboru konwencjonalnego) / 250 km/h (dla taboru z wychylnym pudłem) - Tom I, Droga szynowa, PKP PLK SA., Warszawa 2009.
- [31] www.geoportal.gov.pl (dostęp: 20.08.2017).

THE DESIGN WORK ON SETTING UP A CONTROL NETWORK FOR THE PURPOSE OF EXAMINING THE STABILITY OF A RAILWAY BRIDGE USING THE IDEA OF MODULAR NETWORKS

S u m m a r y

The control network used to study the stability of a railway bridge was designed with taking into account the basic technical aspects: the ground stability, the location of the points, and the geometric conditions that should be fulfilled by the control network to determine the displacement. The numerical design parameters of the proposed network include positional error, determinability and global reliability. Measurement of the network was made by classical terrestrial techniques on the basis of the survey stations centered over the marked points. In order to improve the technical quality of the network, additional angular-linear quasi-observations were proposed on the basis of free positions (without centering). Another suggestion was to use the idea of modular networks to determine the position of the control network points. Computational work consisted on, among others, performing a preliminary analysis of accuracy and examining the stability of the network points.

Keywords: displacement, marking of survey points, reference system, reliability

Przesłano do redakcji: 19.09.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Violetta SOKOŁA-SZEWIOLA¹
Marian PONIEWIERA²
Andrzej ZYGMUNIAK³

TRANSFORMACJA WSPÓLRZĘDNYCH Z UKŁADÓW STOSOWANYCH W KOPALNIACH WĘGLA KAMIENNEGO DO UKŁADU PAŃSTWOWEGO NA PRZYKŁADZIE PG „SILESIA”

Zgodnie z obecnym stanem prawnym dokumenty wchodzące w skład dokumentacji mierniczo-geologicznej tworzonej w przedsiębiorstwach górniczych w Polsce mogą być sporządzone w lokalnym układzie geodezyjnym, pod warunkiem, że przedsiębiorca dysponuje możliwością transformacji geodezyjnej tego układu do państwowego, o którym mowa w przepisach prawa geodezyjnego i kartograficznego. Kopalnie węgla kamiennego w Polsce stosują wiele lokalnych układów współrzędnych, m.in. Sucha Góra, Borowa Góra, GOP I, GOP II, GOP III czy ROW-SG. Istotnym więc zagadnieniem staje się zapewnienie odpowiedniej dokładności transformacji. W artykule przedstawiono algorytm oraz analizę dokładności transformacji współrzędnych z układu Borowa Góra do układu PL-2000 wykonanej dla obszaru PG Silesia. W opracowaniu szczegółowo omówiono problem wyznaczania parametrów transformacji optymalnych z punktu widzenia uzyskiwanych dokładności. Zagadnienie zaprezentowano z wykorzystaniem programu *Geolisp*, stosowanego w większości kopalń, do sporządzenia map w postaci numerycznej, umożliwiającego transformację współrzędnych pomiędzy różnymi układami. Program działa w środowisku systemów CAD. Zawiera on współczynniki transformacji wyznaczone dla większości śląskich kopalń i gmin. Skutki działania programu są następujące: wszystkie obiekty mapy w postaci numerycznej, również rastry, otrzymują nowe współrzędne, a równoległe do ramki teksty i bloki pozostają do niej równoległe. Jednostkowa skala bloków oraz wysokość napisów pozostają bez zmian. System zapewnia współpracę z oprogramowaniem opracowanym przez firmę Alcores-Soft.

Słowa kluczowe: mapy numeryczne, mapy górnicze, Sucha Góra, Borowa Góra, układ współrzędnych

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Violetta Sokoła-Szewiola, Politechnika Śląska, Zakład Geodezji i Ochrony Terenów Górniczych, ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice; tel. 322372990; violetta.sokola-szewiola@polsl.pl

² Marian Poniewiera, Politechnika Śląska, marian.poniewiera@polsl.pl

³ Andrzej Zygmuniak, Politechnika Śląska, andrzej.zygmuniak@polsl.pl

1. Wprowadzenie

Problematyka przeliczeń wartości współrzędnych poszczególnych punktów pomiędzy różnymi układami wynika bezpośrednio z faktu, że w powszechnym użyciu występuje szereg układów różniących się parametrami technicznymi, w tym typem odwzorowania oraz elipsoidą. Część z nich ma charakter historyczny, ale materiały kartograficzne opracowane na ich podstawie wciąż są wykorzystywane [1].

Zgodnie z Rozporządzeniem [2] przedsiębiorstwa górnicze mają możliwość prowadzenia dokumentów wchodzących w skład dokumentacji mierniczo-geologicznej w lokalnych układach współrzędnych pod warunkiem, że istnieje możliwość ich transformacji do układu państwowego. Sytuacja taka faktycznie ma miejsce i w konsekwencji w kopalniach węgla kamiennego (KWK) stosowane są różne układy współrzędnych. W przypadku Górnośląskiego Zagłębia Węglowego należy uwzględnić dwa układy państwowe – układ współrzędnych prostokątnych płaskich 1965 oraz PL-2000 – a także dwa powszechnie stosowane w KWK, tj.:

- układ „Sucha Góra”,
- układ „Borowa Góra” [3, 4, 5].

Przedmiotowe opracowanie oparte jest na przykładzie Przedsiębiorstwa Górniczego Silesia, co skutkuje skupieniem się na przeanalizowaniu transformacji z układu Borowa Góra. Wskazane dwa układy związane z KWK posiadają wiele modyfikacji i w praktycznym ujęciu ich parametry różnią się między sobą w przypadku rozpatrywania układów tożsamyh co do nazwy, lecz wykorzystywanych w różnych zakładach górniczych. Ponadto należy mieć na uwadze, że dla celów górniczych w pewnym okresie wprowadzono układ SG-ROW oraz GOP w kilku odmianach (*I*, *II* i *III*), które przeznaczono do stosowania przez zakłady działające w określonych obszarach Górnego Śląska (np. SG-ROW przewidziano dla Rybnickiego Okręgu Węglowego) [6].

Materiały kartograficzne wykorzystywane w zakładach górniczych były sporządzone w różnych okresach, w związku z czym zdarzały się przypadki, gdzie nowe poziomy kopalni były orientowane względem powierzchni niezależnie. Ponadto, na przestrzeni lat kopalnie łączyły się w większe zakłady oraz dzieliły na mniejsze. W efekcie, zdarzają się przypadki, gdzie każdy fragment kopalni posiada układ współrzędnych nieco inny od stosowanego w innym rejonie wydobywczym.

Transformacja map górniczych na układ państwowy jest niezbędna z uwagi na zapisy zawarte w Rozporządzeniu [2] oraz, na przykład, konieczność przedstawiania na mapach sytuacyjno-wysokościowych prognozowanych wpływów prowadzonej eksploatacji na powierzchnię terenu.

Tym samym zbadanie procedury takich transformacji, uwzględniając algorytm oraz analizę dokładności, staje się zagadnieniem bardzo istotnym.

Jednym z narzędzi informatycznych, które może zostać wykorzystane do tego celu jest oprogramowanie *Geolisp*, w ramach którego podstawą do wyznaczenia formuł transformacyjnych są punkty dostosowania obliczone dla każdego ruchu kopalni niezależnie.

2. Procedura transformacji

Tematyka przeliczeń współrzędnych pomiędzy układami oraz ważność tego zagadnienia znajdują odzwierciedlenie w wytycznych technicznych G-1.10 „*Formuły odwzorowawcze i parametry układów współrzędnych*” autorstwa prof. dr. hab. inż. Romana Kadaja, która została wydana przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii w 2001 r [7]. Wytyczne te skupiają się na omówieniu podstawowych układów stosowanych w polskiej praktyce geodezyjnej. Podają również rozwiązania matematyczne, które zapewniają pożądaną dokładność transformacji dla przypadku przeliczeń dokonywanych pomiędzy współrzędnymi B, L, H a kartezjańskimi X, Y, Z oraz przedstawiają teoretyczne podstawy zastosowań odwzorowania Gaussa-Krügera dla stosowanych w Polsce układów współrzędnych [7]. Wytyczne te nie omawiają jednakże układów *Sucha* czy *Borowa Góra* wykorzystywanych w KWK.

Konieczność dokonywania przeliczeń w przedsiębiorstwach górniczych operujących materiałami kartograficznymi sporządzonymi w tych układach oraz ich wzajemne relacje z materiałami wykorzystywanymi w geodezji powierzchniowej wymuszają jednak konieczność transformacji współrzędnych. Proces ten jest analogiczny do transformacji dokonywanej pomiędzy układami opisanymi w wytycznych G-1.10, jako że bazuje na tej samej podstawie teoretycznej, i może być zrealizowany na kilka sposobów w zależności od spodziewanych rezultatów oraz charakterystyki rozpatrywanych układów.

Dla właściwej realizacji transformacji na wstępie należy określić, jaka elipsoida stanowiła podstawę przyjęcia parametrów danego układu i w przypadku, gdy są to układy różniące się pod tym względem konieczne jest dokonanie przeliczenia współrzędnych pomiędzy elipsoidami. Zgodnie z wytycznymi jest to transformacja oparta o siedem parametrów:

- trzy składowe determinujące przesunięcie względem siebie środków rozpatrywanych elipsoid,
- trzy wartości kątów skręcenia obu przedmiotowych układów,
- parametr determinujący wartość współczynnika zmiany skali.

Rozpatrując zatem zagadnienie transformacji dla układów lokalnych wykorzystywanych przez KWK należy wspomnieć, że obecnie jest ono realizowane w przypadku wielu kopalń węgla kamiennego przy wykorzystaniu odpowiedniego modułu obliczeniowego dostępnego w ramach oprogramowania *Geolisp* autorstwa M.Poniewiery. Użytkownik ma możliwość skorzystania z dwóch różnych modułów: *Trans* oraz *TransK*. Pierwszy wykorzystuje współczynniki transformacji wielomianowej ogólnej lub zespolonej. Dodatkowo, przy założeniu

odpowiedniej liczby punktów dostosowania, pozwala na dokonanie transformacji konforemnej lub izometrycznej. Drugi z kolei jest przewidziany do transformacji konforemnej pomiędzy szeroko rozumianymi układami kopalnianymi z wykorzystaniem obecnie stosowanych współczynników.

3. Proces transformacji współrzędnych na przykładzie oprogramowania Geolisp

Jednym z modułów oprogramowania *Geolisp* służącym do transformacji współrzędnych jest *Trans* [8]. Wykorzystuje on współczynniki pierwotnie obliczone programem *Unitrans*, który może stanowić komponent oprogramowania *GEONET* firmy *Algores-Soft* lub działać samodzielnie [9]. Sam moduł uruchamia się w postaci okna dialogowego, które zostało podzielone na kilka sekcji.

Pierwsza z nich pozwala na określenie typu transformacji. W tym przypadku użytkownik ma możliwość wyboru następujących opcji:

- *GEONET* – oznacza import współczynników z pliku tekstowego; dostępnych jest kilka formatów np. pobranych z raportu oprogramowania *GEONET*,
- *izometryczna*,
- *konforemna*.

Dwie ostatnie możliwości oparte są na punktach dopasowania. W tym wypadku dostępne są dwa rozwiązania – użytkownik wskazuje je w obszarze transformowanego rysunku przy pomocy polecenia *WPD* lub też importuje je z plików zewnętrznych.

Druga sekcja okna dialogowego modułu *TRANS* pozwala użytkownikowi na zdeterminowanie odmiennych współczynników, które mają zostać wykorzystane do obliczeń. Należy w tym wypadku wskazać ścieżkę do pliku, który zawiera uprzednio przygotowane wartości. Zalecany jest format *PAR* zgodny ze strukturą tworzoną przez *GEONET*. Możliwe jest w tym wypadku wykorzystanie współczynników obliczonych samodzielnie z wykorzystaniem tego oprogramowania i wygenerowanych do raportu w formie *protokol.tra*. W takim przypadku należy go przekonwertować do postaci *PAR*.

Trzecią sekcję stanowi *Ścieżka dostępu do katalogu roboczego*. W tym przypadku należy albo wpisać konkretną lokalizację rozpatrywanego katalogu, albo określić poprzez wskazanie położenie pliku *PARXX.BAK*. Niezależnie od tej możliwości istnieje trzecia opcja, tj. wybór pozycji *Z GEONETU*, który spowoduje automatyczne ustawienie ścieżki dostępu do katalogu, w którym ostatnio wykonywane były obliczenia programem *Unitrans*.

Sekcja czwarta pozwala na zdeterminowanie opcji samej mapy numerycznej, gdzie należy wybrać sposób przekształcania szeregu elementów mapy w trakcie procesu transformacji. Możliwe jest zdeterminowanie:

- obrotu dla obiektów równoległych do ramki sekcyjnej, co spowoduje zachowanie równoległości po transformacji,
- zachowanie skali dla bloków oraz tekstów,

- opcji transformacji, czyli dodatkowych opcji pozwalających na przykład na wybór konkretnych obiektów, które mają podlegać przeliczeniu,
- opcji obrotu i skali, w ramach których możliwe staje się precyzyjne wskazanie, które teksty i bloki będą docelowo orientowane do ramki sekcyjnej.

Sekcja piąta pozwala na zapisanie tak ustalonej konfiguracji transformacji do pliku, a także odczytanie ustawień zapisanych uprzednio lub też przywrócenie ustawień domyślnych.

Ostatnia sekcja dotyczy punktów dopasowania. Można w tym miejscu wybrać następujące opcje:

- wskaż na rysunku – opcja ta uruchamia polecenie *WPD* i docelowo umożliwia wskazanie punktów dopasowania w obszarze transformowanego rysunku,
- kontrola – wykonuje kontrolę wybranych punktów dopasowania,
- generuj siatkę – wybór tej opcji powoduje wygenerowanie siatki ok. 1000 punktów, która jest następnie zapisywana w formie współrzędnych *X, Y* do pliku,
- czytaj z pliku – opcja umożliwiająca zacytowanie punktów źródłowych z pliku *xy1* oraz punktów docelowych z pliku *xy2*,
- zapisz do pliku – opcja analogiczna do powyższej, tj. pozwala na zapis współrzędnych punktów źródłowych i docelowych do plików *xy1* oraz *xy2*,
- wymazanie punktów po transformacji – wybór tej opcji spowoduje wymazanie z rysunku linii dopasowania (pomiędzy punktami źródłowymi a wtórnymi) po dokonanej transformacji.

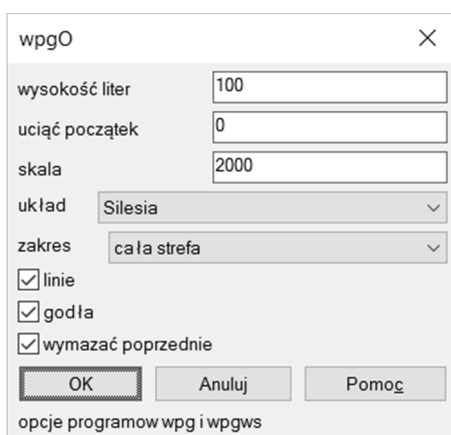
4. Przykład zadania transformacji współrzędnych w obszarze *PG Silesia*

4.1. Wstęp

Istotę zagadnienia transformacji lokalnych układów współrzędnych w kopalniach węgla kamiennego doskonale obrazuje przypadek Przedsiębiorstwa Górniczego Silesia (PG Silesia). Zakład ten wykorzystuje materiały kartograficzne opracowane w przeszłości w ramach KWK Silesia, która została przejęta przez czeską spółkę [10]. Realizując wydobywanie w aktualnych warunkach postanowiono dokonać ponownej orientacji poziomów kopalnianych w obowiązującym układzie państwowym, tj. PL-2000 [11], a materiały dotychczas prowadzone w układzie Borowa Góra przeliczyć i wprowadzić do stosowania w jednolitej formie. Zadanie to zostało zrealizowane przez zewnętrzną spółkę, która również podała wartości współrzędnych zmierzonych punktów przeliczone z układu PL-2000 zarówno do układu 1965, jak i Borowa Góra. Autorzy opracowania, realizując pracę badawczą, dokonali sprawdzenia tak przygotowanej transformacji i zrealizowali kontrolę polegającą na wykorzystaniu do tego celu omówionych powyżej modułów oprogramowania *Geolisp*, co zaprezentowano w przedmiotowym rozdziale.

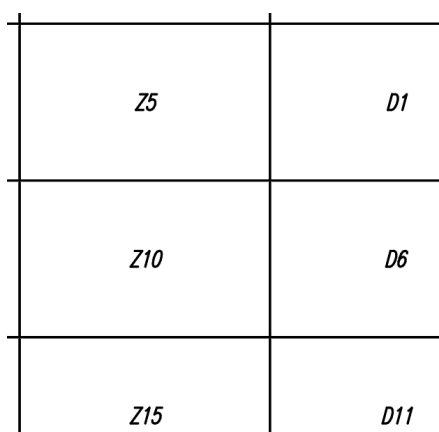
4.2. Proces transformacji

Pierwszym etapem było wykorzystanie poleceń pomocniczych, przygotowujących obszar roboczy do dalszej pracy podczas samej transformacji. W tym celu, przy użyciu polecenia *WPGS*, wstawiono godła sekcji map w układzie Borowa Góra dla obszaru PG Silesia (Rys. 1, 2).



Rys. 1. Okno dialogowe polecenia *WPGS*

Fig. 1. Dialog window *WPGS* command



Rys. 2. Fragment obszaru ukazujący przykładowe godła wstawione poleceniem *WPGS*

Fig. 2. Part of drawing which shows maps section numbers inserted by the *WPGS* command

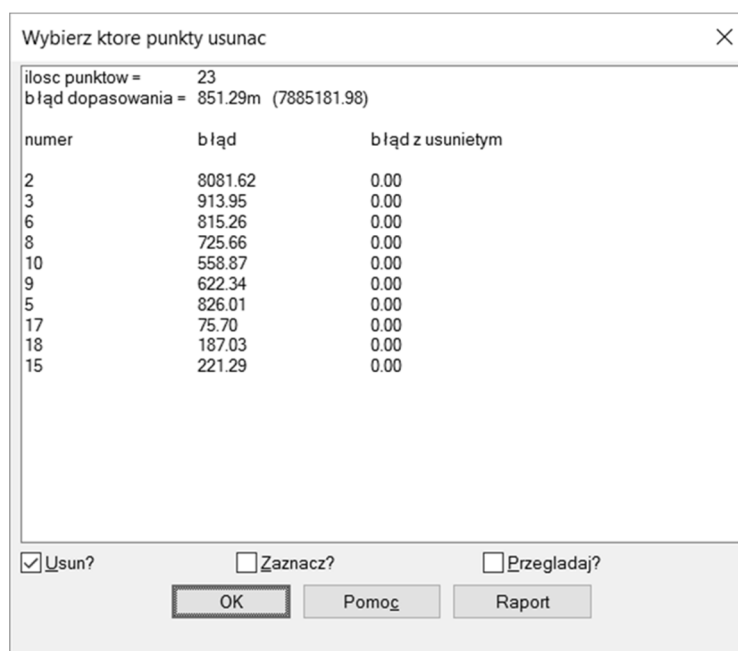
Następnym etapem przygotowania obszaru roboczego rysunku do dalszej pracy w ramach planowanej kontroli transformacji było odpowiednie sformatowanie wartości współrzędnych otrzymanych z PG Silesia. Jako że współrzędne te były zapisane w postaci pliku *.xls* (Rys. 3), a dla realizacji transformacji omawianym sposobem konieczne jest wprowadzenie linii dopasowania, które tworzone są automatycznie na podstawie pliku tekstowego, należało przetworzyć je do takiej postaci. Tak przygotowany plik można wskazać do przetworzenia poleceniem *wpd_linie_pliku*. W efekcie wektory transformacji zostaną wprowadzone na podstawie zacytanych współrzędnych.

POZIOM VI						
	2000 strefa 6		1965 strefa 5		Borowa Góra	
1/poz6	5534190.874	6572693.191	834166.539	241029.000	5534085.037	6572844.106
2/poz6	5534180.707	6572658.884	834156.812	249994.566	5534074.869	6572809.797
3/poz6	5534198.915	6572645.337	834175.193	240981.253	5534093.080	6572796.248

Rys. 3. Fragment tabeli pliku *.xls* z otrzymanymi współrzędnymi w różnych układach

Fig. 3. Part of an *.xls* table consisting the received coordinates values provided for different coordinates systems

W następstwie możliwe staje się użycie polecenia *WPD*, które dokonuje transformacji na podstawie uzyskanych wcześniej wektorów oraz realizuje kontrolę przeprowadzonej operacji. W oparciu o dane stanowiące przedmiot opracowania uzyskano wynik zaprezentowany na rysunku (Rys. 4).



Wybierz ktore punkty usunac

ilosc punktow = 23
bład dopasowania = 851.29m (7885181.98)

numer	bład	bład z usunietym
2	8081.62	0.00
3	913.95	0.00
6	815.26	0.00
8	725.66	0.00
10	558.87	0.00
9	622.34	0.00
5	826.01	0.00
17	75.70	0.00
18	187.03	0.00
15	221.29	0.00

Usun? Zaznacz? Przeglądaj?

OK Pomoc Raport

Rys. 4. Okno dialogowe z wynikami kontroli przeprowadzonej transformacji

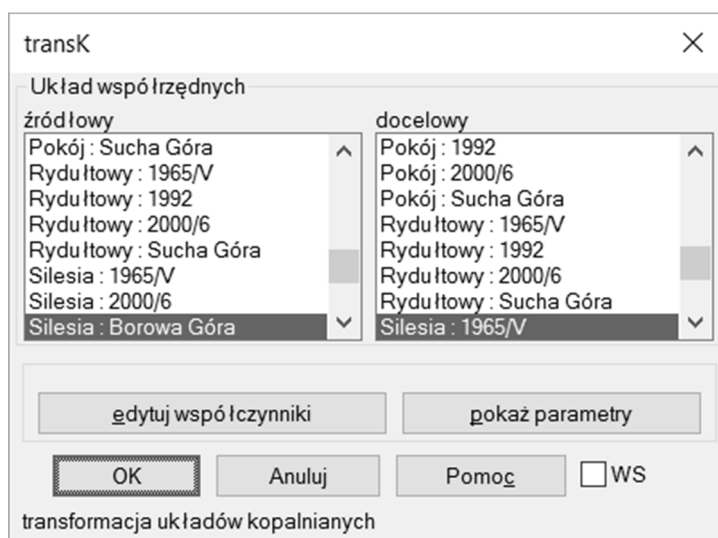
Fig. 4. Dialog window showing results of a check carried for the coordinates transformation

Rezultat tak przeprowadzonej transformacji z kontrolą ukazuje wartość błędu dopasowania 851,29 m, co jest w oczywisty sposób nieakceptowalne. Program *Geolisp* wykonuje kontrolę, polegającą na jednoczesnej realizacji wielu wariantów obliczeń z usuwanymi po kolei punktami i podpowiada, jaki będzie bład transformacji w danym przypadku. W tym przypadku wartość współrzędnej *Y* w układzie 1965 dla punktu drugiego (Rys. 3) jest błędna (początek wyrażony jako 249..., podczas gdy punkty sąsiednie posiadają początek 240... lub 241...). Konsultacje z PG Silesia potwierdziły nieprawidłowość w zapisie i po wprowadzeniu stosownej korekty całość transformacji na tym etapie zamyka się z błędem o wartości 0,00 m.

Sytuacja taka ma osobliwy charakter, jako że wskazuje na dwie możliwości. Pierwsza z nich to taka, w której otrzymane do analizy wartości współrzędnych zostały uprzednio poddane wyrównaniu i tym samym realizowana kontrola nie daje miarodajnych wyników. Druga z kolei sugeruje, że spółka zewnętrzna,

odpowiedzialna pierwotnie za przygotowanie prezentowanej transformacji, dokonała jej w oparciu o takie same wartości współczynników. Należy podkreślić, że większość kopalń i firm zewnętrznych stosuje współczynniki zawarte w systemie *Geolisp* i niniejsza praca ma również na celu ich sprawdzenie i uporządkowanie.

Wspomnianej weryfikacji można dokonać na dwa sposoby, z czego prostszym jest wykorzystanie uprzednio przygotowanych godeł. Transformując współrzędne ich wstawienia wpierw poleceniem *WPD*, które dokona tego zadania na podstawie wektorów transformacji opartych o wartości otrzymanych współrzędnych, a następnie dokonując tego samego z pomocą polecenia *TransK* (Rys. 5). Po nałożeniu na siebie obu przetransformowanych rysunków można zweryfikować ich wzajemne położenie. W omawianym przypadku przesunięcie wynosi 0,00 m, co sugeruje, że do pierwotnie wykonanej transformacji użyte zostały takie same współczynniki.



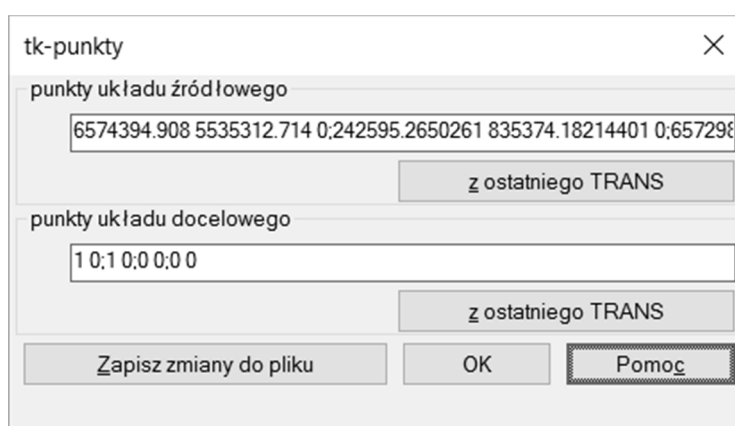
Rys. 5. Okno dialogowe polecenia *TransK*

Fig. 5. Dialog shown when using *TransK* command

Inną i bardziej dokładną metodą zweryfikowania tak uzyskanego rezultatu byłoby wykorzystanie polecenia *TransPar*, które poprzez współpracę z programem *GEONET* [9] oraz przy wykorzystaniu samodzielnie generowanej siatki równomiernie rozmieszczonych punktów pozwala na ustalenie dokładnych wartości współczynników transformacji pomiędzy układami wraz z ich weryfikacją. Rozwiązanie to należałoby wykorzystać w przypadku, gdyby zaprezentowane powyżej dało rezultat rozbieżności pomiędzy transformowanymi obrazami godeł różny od 0,00 m.

4.3. Możliwości zapisu nowych współczynników

W analizowanym przypadku konieczność taka nie występuje, jednakże na tym etapie realizowanej transformacji istnieje możliwość zapisu współczynników otrzymanych na podstawie przeprowadzonych operacji. W takim przypadku należy ponownie wywołać polecenie *TransK* i wybrać przycisk *edytuj współczynniki* (Rys. 5). W efekcie ukaże się kolejne okno dialogowe (Rys. 6), które wyświetli współczynniki obliczone na podstawie uprzednio ustalonych wektorów przesunięć.



Rys. 6. Okno dialogowe polecenia *TransK* umożliwiające zapis nowych współczynników transformacji

Fig. 6. Dialog window of the *TransK* command allowing user to save newly calculated transformation coefficients

Wybierając opcję *Zapisz zmiany do pliku* zaprezentowane współczynniki zostaną zachowane i staną się one możliwe do wykorzystania w przyszłych transformacjach.

4.4. Podsumowanie

W sposób analogiczny do zaprezentowanego dla transformacji pomiędzy układem 1965 a Borowa Góra przeprowadzona została kontrola dla przejścia z układu 1965 do układu PL-2000. W efekcie uzyskano podobne rezultaty a całość transformacji zrealizowanej dla PG Silesia na tym etapie prac wydaje się być wolna od błędów.

Jednakże należy uznać, że wykorzystane przez spółkę zewnętrzną współczynniki nie zostały de facto zweryfikowane i nie można jednoznacznie odpowiedzieć na pytanie czy ich wartości są rzeczywiście prawidłowe. Wynika to z ukazanego w opracowaniu braku docelowej rozbieżności pomiędzy wynikami uzyskanymi w toku obliczeń z pomocą oprogramowania *Geolisp* względem

wyników będących przedmiotem kontroli. Celem ustalenia ponad wszelką wątpliwość poprawności omawianych współczynników autorzy planują realizację pomiarów terenowych oraz analizę dokumentacji archiwalnej, sporządzonej w układzie Borowa Góra, która w obecnym opracowaniu nie była uwzględniona.

5. Wnioski

Mnogość stosowanych układów, tylko w ograniczony sposób zaprezentowana w przedmiotowej pracy, na przestrzeni lat kształtowała materiał kartograficzny przygotowywany tak przez Służbę Geodezyjną i Kartograficzną, jak i działy mierniczo-geologiczne kopalń. W efekcie współczesne wyzwania związane z informatyzacją zasobów oraz przejście na bazodanowe opracowania w środowiskach GIS wymuszają konieczność ujednoczenia standardów celem łatwiejszej wymiany danych oraz spójnego prowadzenia dokumentacji. Dlatego też zadanie transformacji współrzędnych jest niezwykle ważne dla sprawnego funkcjonowania jednostek przetwarzających dane o charakterze przestrzennym. Dla kopalń węgla kamiennego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym właściwe przeprowadzenie ujednoczenia map zgromadzonych na przestrzeni lat ma realne przełożenie na bieżące prowadzenie eksploatacji. Dodatkowo istotnym staje się oczywiście wymóg transformacji współrzędnych do układu państwowego zgodnie z zapisami Rozporządzenia [2] oraz konieczności realizacji pozostałych zadań wynikających z prowadzenia ruchu zakładu górniczego zawartych w rozporządzeniach wykonawczych do Ustawy Prawo geologiczne i górnicze [11].

Wynika z tego bezpośrednio, że niezbędne jest nie tylko opracowanie narzędzi realizujących transformację w sposób przejrzysty i nieskomplikowany, ale także dobór jej parametrów tak, aby zapewnić pożądaną dokładność. Ponadto należy również podjąć zadanie weryfikacji dokładności uzyskiwanych wyników celem rozpatrzenia problemu ich przydatności z punktu widzenia ich dalszego wykorzystania.

Autorzy opracowania zaprezentowali proces transformacji z wykorzystaniem oprogramowania *Geolisp*. Przedstawiono algorytm oraz analizę dokładności transformacji współrzędnych z układu Borowa Góra do układu PL-2000 na przykładzie Przedsiębiorstwa Górniczego Silesia. Przykład ukazuje także, jak ważna jest weryfikacja współczynników wykorzystywanych obecnie, co docelowo pozwoli wykluczyć możliwość zaistnienia błędów wpływających bezpośrednio na prowadzone roboty górnicze. Realizowana obecnie w Zakładzie Geodezji i Ochrony Terenów Górniczych praca badawcza (nr 06/050/BK17/0042) skupia się na tym elemencie i wykracza poza wnioski zaprezentowane w przedmiotowym opracowaniu, a w dalszej kolejności będzie prowadzona w kierunku zapewnienia narzędzi pozwalających zakładom górniczym na realizację spójnego przejścia na jednolity układ państwowy w sposób gwarantujący pewność otrzymanego wyniku.

Literatura

- [1] Poniewiera M., Sokoła-Szewioła V. „GIS Systems in Polish coal mining”, Rozdział w monografii: „Innovative technologies in mining and transport”, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, redakcja Prof. A.W. Korczak; 2014, s. 71-105.
- [2] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 28 października 2015 r. w sprawie dokumentacji mierniczo-geologicznej, Dz.U. 2015 poz. 1941.
- [3] Grygorenko W.: Teoria projektowania odwzorowań kartograficznych, Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin 1990.
- [4] Poniewiera M., Zientek D.: Technologia generowania map pochodnych, w różnych skalach, na podstawie numerycznej mapy podstawowej. Materiały konferencji naukowo-technicznej „VIII Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych”. Ustroń 15-17 czerwiec 2005, s. 465-473.
- [5] Rajnich R., Siembab J., Sosna A.: Mapy górnicze, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1986.
- [6] Maciaszek J.: System informacji o archiwalnych mapach i polach górniczych na potrzeby zagospodarowania przestrzennego, Wydawnictwa AGH, Kraków 2010.
- [7] Kadaj R.: Wytyczne techniczne G-1.10 Formuły odwzorowawcze i parametry układów współrzędnych, Główny Urząd Geodezji i Kartografii, Warszawa 2001.
- [8] Poniewiera M., Pomykoł M., Poniewiera A.: Transformacja map numerycznych między różnymi układami współrzędnych. Zeszyty Naukowe; Politechnika Śląska nr 1600 Górnictwo; z. 258, s. 259-267; Gliwice 2003.
- [9] <http://www.geonet.net.pl/?informacje/oferta/unitrans.html> (dostęp: 28.07.2017 r.).
- [10] <http://www.pgsilesia.pl/pl/o-firmie/historia> (dostęp: 30.07.2017 r.).
- [11] Ustawa Prawo kartograficzne geologiczne i górnicze z dnia 9 czerwca 2011 r., tekst jednolity Dz.U. 2016 poz. 1131.

COORDINATE TRANSFORMATION BETWEEN THE SYSTEMS USED BY COAL MINE FACILITIES TO THE NATIONAL ONE BY AN EXAMPLE OF PG “SILESIA”

Summary

In accordance to the existing legislation it is allowed that documents being part of a surveying and geological documentation provided by mining facilities in Poland use local coordinate systems. The condition is that there is a possibility to transform this system, by means of a geodetic calculations, to the one used officially and presented in the Geodetic and cartographic law (*Prawo geodezyjne i kartograficzne*). Hard coal mines in Poland utilize numerous local coordinate systems such as: *Sucha Góra, Borowa Góra, GOP I, II and III or ROW-SG*. It is then the important task to provide needed accuracy of the coordinate transformation process. The article presents an algorithm as well as an accuracy analysis processed for the transformation between *Borowa Góra* and *PL-2000* systems carried out for the *PG Silesia* mine. The paper specifically describes a problem of determining proper coefficients optimal when considering the given results.

Moreover, the article shows an application commonly adapted by most of the mines and used to provide maps in digital form – the *Geolisp*. It is because the application allows user, besides all other functionalities, to perform a coordinate transformation between many different coordinate systems. This software runs in a CAD environment and provides transformation coefficients determined for most of the Silesian communes and mines. As a result the application trans-

forms coordinates of all objects a map consists of, as well as of connected raster images, and texts and object blocks previously parallel to a map section frame are still of such character. Unit scale of the blocks and the texts height remains unchanged. The *Geolisp* fully supports cooperation with the software provided by the *Algores-Soft*.

Keywords: digital maps, mining maps, coordinate system, Sucha Góra, Borowa Góra

Przesłano do redakcji: 22.08.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Marek GOSZTYŁA¹
Agata MIKRUT²

WYNIKI BADAŃ PRZEPROWADZONYCH NA WYBRANYCH PLANACH ŁEMKOWSKICH CHYŻ

Artykuł stanowi kontynuację poprzedniej części, w której zostało omówione łemkowskie budownictwo ludowe [1,5,8,9,11]. W tej części artykułu opisane zostały wyniki badań przeprowadzonych na wybranych planach łemkowskich chyż. Jako przykłady wybrano obiekty pochodzące z dwóch historycznych, łemkowskich miejscowości- Komańczy i Bartnego. Badania przeprowadzono na chałupach pochodzących z końca XIX i początku XX wieku. Porównano w ten sposób rozplanowanie i gabaryty chałup reprezentujących Łemkowszczyznę wschodnią i środkową [2-4,6,7,10]. Przeanalizowanie lokalnych odmian chyż pozwoliło wysunąć wnioski dotyczące rozplanowania pomieszczeń mieszkalnych i gospodarczych, a szczególnie ich usytuowania ze względów funkcjonalnych. Porównano szerokości i długości budynków, a także proporcje dachu do wysokości całego budynku. Znaczna część budynków udokumentowanych w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych XX wieku jest już nieistniejąca. Zachowane do czasów obecnych chałupy, zazwyczaj są mocno przebudowane lub niszczone, popadając w ruinę.

Słowa kluczowe: Łemkowie, chyże, budynki mieszkalno-gospodarcze, zagroda jednobudynkowa, architektura drewniana, plany funkcjonalne chałup

W tabeli 1. zostały zamieszczone informacje dotyczące planów drewnianych chałup łemkowskich, na których przeprowadzone zostały analizy. Porównano budynki mieszkalno-gospodarcze pochodzące z Bartnego – miejscowości środkowej Łemkowszczyzny oraz z Komańczy- miejscowości z Łemkowszczyzny wschodniej. Chałupy te zostały wybudowane w latach 1880 – 1938. Badania zostały oparte na kartach ewidencyjnych chałup, sporządzonych w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych XX wieku. Do porównania planów wybrano również najcenniejsze chyże pochodzące z miejscowości: Zdynia, Równe, Królik Polski, Olchowiec i Zydranowa.

¹ Marek Gosztyła, Politechnika Rzeszowska, 35-959 Rzeszów, al. Powstańców Warszawy 12, tel. +4817 865 1939, gosztyla@prz.edu.pl

² Autor do korespondencji / corresponding author: Agata Mikrut, Politechnika Rzeszowska, 35-959 Rzeszów, al. Powstańców Warszawy 12, tel. +4817 743 2106, a.mikrut@prz.edu.pl

Tabela 1. Zestawienie chałup z wybranych miejscowości łemkowskich

Table 1. Comparison on chosen cottages of Lemkos' homeland

Miejsco- wość i numer	Rok po- wstania	Wymiary dł. x szer.	Wymiary z przybudów- kami, szopami lub zahatami dł. x szer.	Rodzaj budynku	Uwagi	
Bartne 1	ok. 1870	14,00 x 6,00	16,00 x 10,00	półtoratraktowy	rozbudowana	-
Bartne 2	1891	19,53 x 7,90	- brak -	półtoratraktowy	Forma nowsza	Osobna sień i boisko, oddzielone od siebie stajnią z komorą
Bartne 3	1900	16,50 x 5,00	19,50 x 7,00	półtoratraktowy	Forma nowsza	Osobna sień i boisko, sąsiadujące ze sobą
Bartne 4	1880	15,00 x 6,00	- brak -	półtoratraktowy	nieistniejąca	Osobna sień i boisko, sąsiadujące ze sobą
Bartne 5	1880	15,50 x 6,00	- brak -	półtoratraktowy	-	Osobna sień i boisko, sąsiadujące ze sobą
Bartne 6	1877	23,00 x 8,00	25,00 x 8,00		Forma prymi- tywna	Sień połączona z boi- skiem
Bartne 9	1929	16,50 x 6,50	18,50 x 6,50	półtoratraktowy	Forma nowsza	Osobna sień i boisko, nie sąsiadujące ze sobą
Bartne 11	1904	16,50 x 7,00	16,50 x 9,00	półtoratraktowy	Zachowana bez istotnych zmian	Osobna sień i boisko, sąsiadujące ze sobą
Bartne 13	1870	18,00 x 6,00	18,00 x 8,00	półtoratraktowy	nieistniejący	Osobna sień i boisko
Bartne 16	1926	brak pomiarów	- brak -	półtoratraktowy	Forma prymi- tywna	Sień połączona z boi- skiem
Bartne 18	1938	18,00 x 4,50	18,00 x 6,00	półtoratraktowy	Forma nowsza, dwie izby w dwutrakcie, kuchnia i komora w półtrakcie	Osobna sień i boisko, sąsiadujące ze sobą
Bartne 24	XIX w.	16,00 x 7,00	- brak -	półtoratraktowy	-	Osobna sień i boisko
Bartne 27	1906	16,50 x 7,00	- brak -	półtoratraktowy	Zachowana w stanie pierwotnym	Sień połączona z boi- skiem
Bartne 34	1910	15,00 x 6,50	15,00 x 8,00	półtoratraktowy	Nieistniejąca, układ pierwot- ny	Sień połączona z boi- skiem
Bartne 37	1932	15,50 x 6,50	- brak -	półtoratraktowy	Odmiana „młodsza”	Sień połączona z boi- skiem; dwie izby
Bartne 38	1905	16,00 x 6,50	- brak -	półtoratraktowy	nieistniejąca	Sień i boisko wspólne
Bartne 40	1927	16,00 x 7,00	- brak -	półtoratraktowy	-	Osobna sień i boisko
Bartne 42	1927	14,00 x 6,00	16,00 x 6,00	dwutraktowa	Przybudowana wiata na narzędzia	Sień połączona z boi- skiem
Bartne 44	1924	18,00 x 6,00	18,00 x 8,00	półtoratraktowy	Forma nowsza	Sień i boisko osobne
Bartne 46	1927	15,00 x 8,00	18,00 x 8,00	półtoratraktowy	Tradycyjny z przeróbkami	Sień niewyodrębniona
Bartne 47	pocz. XX w.	14,00 x 8,00	- brak -	półtoratraktowy	-	-
Bartne 54	1927	16,00 x 7,00	18,00 x 7,00	półtoratraktowy	-	-
Bartne 56	1910/ 1911	16,00 x 7,00	18,00 x 7,00	półtoratraktowy	-	-

Tabela 1 (cd.). Zestawienie chałup z wybranych miejscowości łemkowskich

Table 1 (cont.). Comparison on chosen cottages of Lemkos' homeland

Miejsco- wość i numer	Rok po- wstania	Wymiary dł. x szer.	Wymiary z przybudów- kami, szopami lub zahatami dł. x szer.	Rodzaj budynku	Uwagi	
Komańcza 25 34	1932	15,20 x 6,05	16,00 x 7,25	półtoratraktowy	H= ~7,00 (2,15 / ~4,85)	Osobna sień i boisko, oddzielone izbą; Budynek skrócony o stajenkę
Komańcza 27	1921	20,90 x 7,20	21,95 x 7,90	półtoratraktowy	H= ~7,90 (2,60 / ~5,30)	Osobna sień i boisko, sąsiadujące ze sobą
Komańcza 32	1922	15,90x 6,80	19,30 x 7,75	-	H= ~6,95 (1,95 / ~5,00)	rozebrano cz. mieszkal- ną, gospodarcza z dobudowaną szopą
Komańcza 34	1932	15,20 x 6,05	-	półtoratraktowa	-	Osobna sień i boisko
Komańcza 34	1913	21,35 x 6,85	22,05 x 6,85	półtoratraktowa	H= ~7,20 (2,50 / ~4,70)	Osobna sień i boisko; b. rozebrany
Komańcza 35-115	1885	13,70 x 7,90	-	półtoratraktowa	H= ~7,30 (2,80 / ~4,50)	Tylko część mieszkalna; b. krócony
Komańcza 37-117	1924	15,65 x 5,00	16,15 x 5,00	półtoratraktowy	H= ~4,80 (1,80 / ~3,00)	Osobna sień i boisko, oddzielone izbą b. skrócony
Komańcza 41-149	1919	14,10 x 6,80	16,90 x 7,60	półtoratraktowy	-	Osobna sień i boisko, oddzielone izbą
Komańcza 42	1902-04	11,20 x 4,60	11,20 x 5,50	jednotraktowy	H= ~5,40 (2,30 / ~3,10)	b. gospodarczy, do 1958 b. mieszkalny,
Komańcza 42-150	1902-04	20,10 x 6,60	-	jednotraktowy	H= ~7,60 (2,90 / ~4,70)	tylko cz. mieszkalna
Komańcza 44	1909	18,80 x 6,50	22,85 x 7,35	półtoratraktowy	H= ~6,00 (2,10 / ~3,90)	Osobna sień i boisko, dzielone komórką
Komańcza 57 162	1920	17,40 x 6,10	20,15 x 7,70	półtoratraktowy	H= ~6,25 (2,35 / ~3,90)	Osobna sień i boisko, sąsiadujące ze sobą; nieprzebudowywany
Komańcza 58-163	1929	17,05 x 6,20	18,90 x 7,00	półtoratraktowy	H= ~6,20 (2,30 / ~3,90)	Osobna sień i boisko, oddzielone izbą; prze- budowywany
Komańcza 60 160	1912	19,50 x 6,95	21,80 x 7,65	półtoratraktowy	H= ~6,50 (2,30 / ~4,20)	Osobna sień i boisko, oddzielone izbą nie przebudowywany
Komańcza 61	1925	20,80 x 6,30	-brak-	półtoratraktowy	H= ~6,60 (2,40 / ~4,20)	Osobna sień i boisko, oddzielone izbą przebudowywany
Komańcza 62	1925	17,40 x 6,90	-brak-	półtoratraktowy	H= ~7,05 (2,35 / ~4,70)	Osobna sień i boisko, sąsiadujące ze sobą; przebudowywany
Komańcza 62	1919	21,90 x 7,30	24,70 x 9,10	półtoratraktowy	H= ~6,85 (2,35 / ~4,50)	Osobna sień i boisko, oddzielone izbą
Komańcza 63-155	1935	9,90 x 7,65	-brak-	półtoratraktowy	-	Dom i osobny budynek gospodarczy nieprzebu- dowywany
Komańcza 66 152	1916	17,10 x 6,10	17,85 x 6,80	półtoratraktowy	H= ~6,40 (2,30 / ~4,10)	Osobna sień i boisko, oddzielone izbą; prze- budowywany
Komańcza 69	1905	16,45 x 6,70	-brak-	półtoratraktowy	H= ~6,75 (2,45 / ~4,30)	Osobna sień i boisko, sąsiadujące ze sobą; przebudowywany

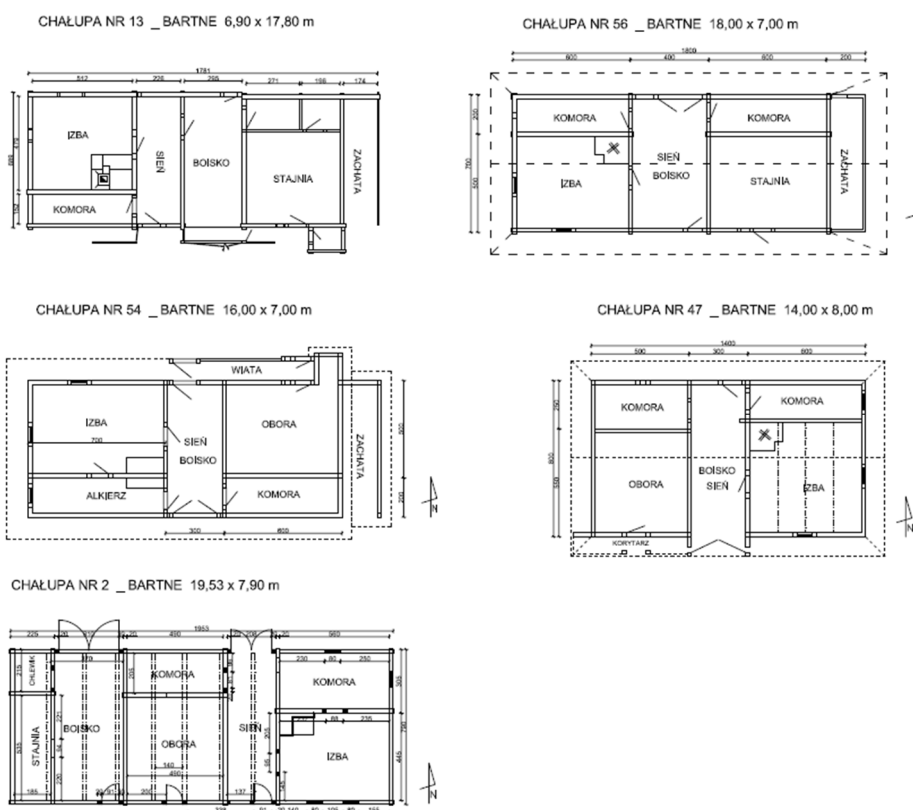
Tabela 1 (cd.). Zestawienie chałup z wybranych miejscowości lemkowych

Table 1 (cont.). Comparison on chosen cottages of Lemkos' homeland

Miejscowość i numer	Rok powstania	Wymiary dł. x szer.	Wymiary z przybudówkami, szopami lub zahatami dł. x szer.	Rodzaj budynku	Uwagi	
Komańcza 70-141	1920	23,60 x 6,54	24,50 x 7,44	półtoratraktowy	H= ~6,75 (2,45 / ~4,30)	Osobna sień i boisko, oddzielone izbą nie przebudowywany
Komańcza 74-139	1938	22,55 x 6,25	24,25 x 7,05	półtoratraktowy	H= ~6,75 (2,45 / ~4,30)	Osobna sień i boisko, oddzielone izbą sień krótsza o komorę od boiska; nie przebudowywany
Komańcza 72-138	1935	19,65 x 7,50	-brak-	półtoratraktowy	H= ~7,70 (2,20 / ~5,50)	Osobna sień i boisko, oddzielone izbą
Komańcza 73	1915	20,05 x 6,45	20,60 x 6,45	półtoratraktowy	H= ~7,70 (2,20 / ~5,50)	Osobna sień i boisko, oddzielone izbą, przebudowywany
Komańcza 74-137	1910	16,40 x 6,45	18,20 x 8,80	półtoratraktowy	H= ~6,10 (2,40 / ~3,70)	Osobna sień i boisko, sąsiadujące ze sobą; przebudowywany
Komańcza 77-135	1920	21,20 x 5,60	23,20 x 6,55	półtoratraktowy	H= ~6,45 (2,35 / ~4,10)	Osobna sień i boisko, oddzielone izbą, sień krótsza o komorę
Komańcza 79	1920	19,80 x 6,55	19,80 x 8,05	półtoratraktowy	H= ~7,20 (2,30 / ~4,90)	Osobna sień i boisko, sąsiadujące ze sobą; przebudowywany
Komańcza 84-131	1925	19,85 x 6,45	21,25 x 6,45	półtoratraktowy	H= ~6,35 (2,20 / ~4,15)	Osobna sień i boisko, sąsiadujące ze sobą; osobny budynek spichlerza, przebudowany
Komańcza 88	1921	20,90 x 7,20	21,95 x 7,90	półtoratraktowy	H= ~7,90 (2,60 / ~5,30)	Osobna sień i boisko, sąsiadujące ze sobą
Komańcza 96	XX w.				H= ~6,00 (2,20 / ~3,80)	nie przebudowywany
Komańcza 113	1919	21,90 x 7,30	24,70 x 8,20	półtoratraktowy	H= ~6,85 (2,35 / ~4,50)	Osobna sień i boisko, oddzielone izbą nie przebudowywany
Komańcza 129-82	1920	17,00 x 6,55	17,90 x 6,55	półtoratraktowy	H= ~6,70 (2,30 / ~4,40)	Osobna sień i boisko, sąsiadujące ze sobą; sień jako wydzielone pomieszczenie w boisku
Komańcza obok 135	1920	19,80 x 6,55	19,80 x 8,05	półtoratraktowy	H= ~7,20 (2,30 / ~4,90)	Sień dobudowana, boisko między cz. mieszkalną a gospod.
Królik Polski 15	XIX w.	23,00 x 7,00	25,70 x 9,90	półtoratraktowy/ dwutraktowy	H=7,40 (2,50 / 4,50)	Osobna sień i boisko, pomiędzy stajnia
Olchowiec 23	1910/1939	21,60 x 6,15	21,60 x 6,85	półtoraktowa	-	dom i osobny spichlerz
Równe 70	1831	22,50 x 7,50	- brak -	półtoratraktowy/ dwutraktowy	H=7,40 (3,00 / 4,40)	Osobna sień i boisko, pomiędzy stajnia
Zdymia 26	pocz. XX w.	21,50 x 8,00	21,50 x 13,00	półtoratraktowy/ dwutraktowy?	H=6,80 (2,80 / 4,00)	Osobne boisko i sień, dwie izby, przybudówki
Zydranowa 1	ok. 1860	15,05 x 7,97	15,80 x 11,64	dwutraktowa	-	Osobna sień i boisko, przybudówki

Z przeprowadzonych badań wynika, że chałupy łemkowskie z końca XIX i początku XX wieku najczęściej budowano jako półtraktowe. Czasem w półtraktach znajdowała się jedynie część mieszkalna - izba z komorą, a część gospodarcza pozostawała w układzie jednoraktowym (rys. 1, 2).

Kwestia półtora czy dwutraktowości chałup łemkowskich nie jest jednoznaczna we wszystkich przypadkach. Budynki te były często rozbudowywane o dodatkowe komory, szopy czy zahaty. Na skutek urozmaicenia planów, zmiany kolejności pomieszczeń i dodawania nowych, wykształciły się lokalne odmiany łemkowskich chałup. Często przy przebudowach zmieniano ściany, przesuając je w nowe miejsca. Powiększono w ten sposób komory, które zamieniano na izby. Nowa komora powstawała z przedzielenia sieni dodatkową ścianką. W ten sposób sień stawała się o połowę krótsza (np. Komańcza 135). W budynkach, gdzie sień nie była wyodrębniona, w niektórych przypadkach, podczas



Rys. 1. Plany łemkowskich chałup z miejscowości Bartne, opracowanie A. Mikrut na podstawie inwentaryzacji i kart ewidencyjnych obiektów

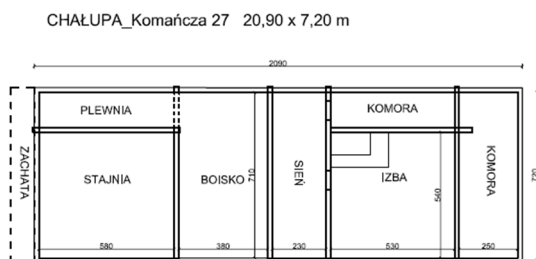
Fig. 1. Plans of Lemkos' cottages from the Bartne, autor A. Mikrut based on stocktaking and white cards of objects

przebudowy dostawiano ją przed wejściem jako niezależne pomieszczenie lub wydzielano ją ściankami z boiska.

Długość budynków w Bartnem wahała się od 13,70 do 23 metrów. Badania pokazały, że dominowały budynki o długości szesnastu metrów. Ich szerokość wynosiła od 5 do 8 metrów. Najczęściej były to budynki o szerokości 6,5 m. Rozbudowy o dodatkowe komory, szopy lub zahaty zmieniały wymiary chyży maksymalnie o dwa metry względem jej szerokości lub długości.

W Komańczy budowano chałupy o długości 14,10÷23,60 m. Najczęściej były to budynki o długości około dwudziestu metrów i szerokości zbliżonej do siedmiu metrów.

Z badań wynika, że budynki w tych dwóch miejscowościach nie różniły się znacząco szerokością ale długością już tak. Chałupy z Komańczy były średnio o cztery metry dłuższe niż w Bartnem. Chyże o planach wydłużonego prostokąta, podobne do tych z Komańczy, pochodzą również ze Zdyni, Olchowca, Równego i Królika Polskiego. Z kolei chałupa z Turzańska wymiarami odpowiada chałupom z Bartnego.



Rys. 2. Plan chałupy łemkowskiej z miejscowości Komańcza, opracowanie A. Mikrut na podstawie karty ewidencyjnej obiektu

Fig. 2. Plan of Lemkos' cottage from the Komańcza, autor A. Mikrut based on stocktaking and white cards of object

Porównanie wysokości chałup z Komańczy potwierdza tezę o dominującej wysokości dachów, stanowiących nawet 2/3 wysokości całego budynku. Całkowita wysokość domów w tej miejscowości sięgała około 7 m. Znaczną część tej wartości stanowiła wysokość dachu- około 3,5÷4m, podczas gdy wysokość części mieszkalnej nie przekraczała 2,5 m.

Podczas analizowania układu pomieszczeń zauważono, charakterystyczne rozwiązania dotyczące sieni i boiska. Dlatego wzięto to pod uwagę przy porównywaniu planów obiektów. Wyróżniono trzy typy z czego jeden był spotykany jedynie w Bartnem a inne pojawiały się zarówno w Komańczy jak i w Bartnem. Do tych typów należą: oddzielna sień i boisko sąsiadujące ze sobą, oddzielna sień i boisko z pomieszczeniami między nimi oraz jedno pomieszczenie pełniące funkcję sieni i boiska.

Na obszarze środkowej Łemkowszczyzny sieni i boisko były zazwyczaj osobne. W układzie, znajdowały się obok siebie (np. Bartne 40, 24) lub były rozdzielone pomieszczeniami gospodarczymi, najczęściej stajnią z komorą (Bartne 44). W wielu budynkach jedno pomieszczenie pełniło zarówno funkcję sieni jak i boiska. Pomieszczenie to znajdowało się pośrodku, dzieląc chałupę na część mieszkalną po stronie wschodniej i gospodarczą po stronie zachodniej. Łączenie funkcji sieni i boiska w jednym pomieszczeniu nie było powszechne w Komańczy (rys. 3, 4).



Rys. 3. Bartne 40. Chałupa półtoratraktowa z 1927 roku. Widok od frontu. Autor: A. Mikrut, 06.2016

Fig. 3. Bartne 40. Cottage from 1927. View at the front. Author: A. Mikrut, 06.2016



Rys. 4. Bartne 27. Chałupa z 1906r. Widok na elewację tylną. Autor: A. Mikrut, 06.2016

Fig. 4. Bartne 27. Cottage from 1906r. View on back elevation. Author: A. Mikrut, 06.2016

Inaczej były rozplanowane chałupy na wschodniej Łemkowszczyźnie. Tam najczęściej spotykanym układem była osobna sień i boisko, przedzielone izbą, którą podczas późniejszych zmian przekształcano na kuchnię. W takiej chacie znajdowały się zazwyczaj dwie izby. Różnica względem rozplanowania wnętrza, dwie izby, charakteryzuje nowszą formę tradycyjnych łemkowskich chałup. Taka forma budynków była popularna po drugiej połowie wieku XIX. Formy bardziej prymitywne, w części mieszkalnej posiadały jedynie izbę, w której znajdował się piec kuchenny. W tej miejscowości spotykane były również obiekty, które zostały skrócone jedynie do części mieszkalnej, a część gospodarcza została przeniesiona do osobnego budynku w zagrodzie.

Zarówno w Bartnem jak i Komańczy, chałupy reprezentowały powtarzalny typ budownictwa łemkowskiego z terenów Beskidu Niskiego. Chałupy w poszczególnych miejscowościach są do siebie podobne względem układu funkcjonalnego pomieszczeń, mają także zbliżone wymiary. W Komańczy budowano chałupy o bardzo wydłużonym kształcie przekraczającym długością nawet dwadzieścia metrów. Różnice w budynkach mieszkalno-gospodarczych występują w odniesieniu do sieni i boiska. W dużej mierze mogły one wynikać ze względów ekonomicznych – stopnia zamożności gospodarzy lub były wynikiem, panującej w danym regionie, tradycji budownictwa. Niezależnie od tego, funkcja gospodarcza w chałupach łemkowskich niewątpliwie dominowała nad funkcją mieszkalną.

Literatura

- [1] Czajkowski J., *Budownictwo Ludowe Podkarpacia*, Krajowa Agencja Wydawnicza, Sanok 1997.
- [2] Czajkowski J., *Łemkowie w historii i kulturze Karpat. Cz. I*, Muzeum Budownictwa Ludowego, Sanok 1995.
- [3] Czajkowski J., *Zagroda i dom w Beskidzie Niskim, Bieszczadach i na Pogórzu*, [w:] *Łemkowie-Kultura-Sztuka-Język*, Wyd. PTTK KRAJ, Sanok 1983.
- [4] Czajkowski J., *Studia nad Łemkowszczyzną*, Muzeum Budownictwa Ludowego, Sanok 1999.
- [5] Czajkowski J., *Materiały Muzeum Budownictwa Ludowego w Sanoku*, Sanok 1966, nr 4.
- [6] Gajur J., *Od Magury po Oslawę. Podróż sentymentalna po Łemkowszczyźnie*, Wyd. Arete II, Krosno 2007.
- [7] Karczmarzewski A., *Świat Łemków. Etnograficzna podróż po Łemkowszczyźnie.*, Wyd. Libra, Rzeszów 2014.
- [8] Lew S., *Budownictwo ludowe dorzecza Sanu w XIX i XX wieku*, Wyd. Mitel, Rzeszów 2003.
- [9] Reinfuss R., *Materiały Muzeum Budownictwa Ludowego w Sanoku*, Sanok 1998, nr 34.
- [10] Reinfuss R., *Śladami Łemków*, Wydawnictwo PTTK „Kraj”, Warszawa 1990.
- [11] Smoczkiewicz L., *Materiały Muzeum Budownictwa Ludowego w Sanoku*, Sanok 1968, nr 7.

Archiwum Delegatury Wojewódzkiego Urzędu Ochrony Zabytków w Nowym Sączu, *Karty ewidencyjne zabytków architektury i budownictwa*, chałupy z miejscowości Bartne, gmina Sękowa:

1. M. Dańczyszyn, chałupa nr 2, PP. PKZ o. Kraków, VIII.1977 r.
2. Taż, chałupa nr 6, PP. PKZ o. Kraków, VIII.1977 r.
3. Taż, chałupa nr 16, PP. PKZ o. Kraków, VIII.1977 r.
4. Taż, chałupa w zagrodzie nr 22, PP. PKZ o. Kraków, VIII.1977 r.
5. M. Dańczyszyn, M. Wierchosławska, chałupa w zagrodzie nr 1, PP. PKZ o. Kraków, VIII.1977 r.
6. M. Dańczyszyn, M. Wierchosławska, chałupa nr 3, PP. PKZ o. Kraków, VIII.1977 r.
7. M. Dańczyszyn, M. Wierchosławska, chałupa nr 9, PP. PKZ o. Kraków, VIII.1977 r.
8. M. Dańczyszyn, M. Wierchosławska, chałupa nr 13, PP. PKZ o. Kraków, VIII.1977 r.
9. M. Dańczyszyn, M. Wierchosławska, chałupa nr 18, PP. PKZ o. Kraków, VIII.1977 r.
10. M. Dańczyszyn, M. Wierchosławska, chałupa nr 24, PP. PKZ o. Kraków, VIII.1977 r.
11. M. Dańczyszyn, M. Wierchosławska, chałupa nr 38, PP. PKZ o. Kraków, VIII.1977 r.
12. M. Dańczyszyn, M. Wierchosławska, chałupa nr 40, PP. PKZ o. Kraków, VIII.1977 r.
13. M. Dańczyszyn, M. Wierchosławska, chałupa nr 44, PP. PKZ o. Kraków, VIII.1977 r.
14. M. Dańczyszyn, M. Wierchosławska, chałupa nr 47, PP. PKZ o. Kraków, VIII.1977 r.
15. M. Dańczyszyn, M. Wierchosławska, chałupa nr 54, PP. PKZ o. Kraków, VIII.1977 r.
16. M. Majka, chałupa w zagrodzie nr 4, PP. PKZ o. Kraków, X.1977 r.
17. Taż, chałupa w zagrodzie nr 5, PP. PKZ o. Kraków, X.1977 r.
18. Taż, chałupa nr 27, PP. PKZ o. Kraków, X.1977 r.
19. Taż, chałupa nr 34, PP. PKZ o. Kraków, X.1977 r.
20. Taż, chałupa w zagrodzie nr 37, PP. PKZ o. Kraków, X.1977 r.
21. Taż, chałupa w zagrodzie nr 42, PP. PKZ o. Kraków, X.1977 r.
22. Taż, chałupa w zagrodzie nr 46, PP. PKZ o. Kraków, X.1977 r.
23. Taż, chałupa nr 56, PP. PKZ o. Kraków, X.1977 r.
24. chałupa w zagrodzie nr 11, Fot. Janusz Gajdziński, 28.IV.1978 r., skreślony 16.11.2006 r.
25. Bartne, inwentaryzacja budynku mieszkalnego nr 13, pomiar: luty 1961, autorzy: J. Jonopnicki, A. Romanowicz, M. Chwalik sygn./nr. 416.
26. Inwentaryzacja architektoniczna drewnianej chałupy łemkowskiej, Bartne nr. 2, sygn. 2349.

Archiwum Delegatury Wojewódzkiego Urzędu Ochrony Zabytków w Krośnie, *Karty ewidencyjne zabytków architektury i budownictwa*, chałupy z miejscowości Komańcza:

1. Z. Malinowski, dom mieszkalny nr 25, lipiec 1965 r.
2. dom mieszkalny nr 27, lipiec 1965 r.
3. dom mieszkalny nr 32, lipiec 1965 r.
4. dom mieszkalny nr 34, lipiec 1965 r.
5. dom mieszkalny nr 42, lipiec 1965 r.
6. dom przy domie mieszkalnym nr 42, lipiec 1965 r.
7. dom mieszkalny nr 44, lipiec 1965 r.
8. dom mieszkalny nr 61, lipiec 1965 r.
9. dom mieszkalny nr 62, lipiec 1965 r.
10. dom mieszkalny nr 69, lipiec 1965 r.
11. dom mieszkalny nr 79, lipiec 1965 r.
12. dom mieszkalny nr 88, lipiec 1965 r.
13. dom mieszkalny nr 96, lipiec 1965 r.
14. dom mieszkalny nr 113, lipiec 1965 r.
15. dom mieszkalny nr 117, lipiec 1965 r.
16. dom mieszkalny nr 129, lipiec 1965 r.
17. dom mieszkalny nr 131, lipiec 1965 r.
18. dom mieszkalny nr 132, lipiec 1965 r.

19. dom mieszkalny nr 135, lipiec 1965 r.
20. dom mieszkalny obok nr 135, lipiec 1965 r.
21. dom mieszkalny nr 137, lipiec 1965 r.
22. dom mieszkalny nr 138, lipiec 1965 r.
23. dom mieszkalny nr 139, lipiec 1965 r.
24. dom mieszkalny nr 141, lipiec 1965 r.
25. dom mieszkalny nr 150, lipiec 1965 r.
26. dom mieszkalny nr 152, lipiec 1965 r.
27. dom mieszkalny nr 155, lipiec 1965 r.
28. dom mieszkalny nr 160, lipiec 1965 r.
29. dom mieszkalny nr 162, lipiec 1965 r.
30. dom mieszkalny nr 163, lipiec 1965 r.
31. B. Tondos, Chałupa Tadeusza Kielbasińskiego (Chyża), Olchowiec 23, A-94 z dn. 16.06.1986 r.
32. B. Tondos, J. Tur, Chałupa (Chyża), Zyndranowa 1, A-35 z dn. 29.04.1963 r., 09.2005 r.

Dokumenty archiwalne, Archiwum Delegatury Wojewódzkiego Urzędu Ochrony Zabytków w Krośnie:

1. W. Szulc, Chałupa z Królika Polskiego nr 15.
2. H. Olszański, fot. H. Szulc, Zagroda jednobudynkowa z Równie nr 70.
3. I. Kuczmowska, D. Urosa, Chałupa ze Zdyni nr 26, dokumentacja rozbiórkowa, 1975 r.

RESULTS OF RESEARCHES CONDUCTED ON CHOSEN PLANS OF THE LEMKOS' 'CHYŻE'

Summary

Article is a continuation of the previous part, in which Lemkos' folk architecture has been analyzed. In this part of the article the results of tests carried out on selected plans of the Lemkos' 'chyże' have been presented. These objects were from two historical Lemkos' villages-Komańcza and Bartne. The research was conducted on the cottages from the end of the 19th and beginning of the 20th century. The layout and the dimensions of the latter representing Central and Eastern Lemkos' homeland have been compared. By examining of the local varieties of 'chyże' conclusions regarding the layout of residential and commercial building were possible to be drawn, especially as regards their location for functional reasons. The width and length of the buildings, as well as the ratio of the roof to the height of the entire building have been compared accordingly. A significant part of the buildings documented in the 60's and the 70's of the 20th century is already non-existent. Cottages preserved to the present time, are usually extensively rebuilt or deteriorating, thus falling into disrepair.

Keywords: Lemkos, 'chyże', single building, residential buildings, wooden architecture, functional plans cottages

Przestano do redakcji: 2.10.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Marcin LEŚKO¹
Krzysztof BARAN²
Henryk WACHTA³

WIELOWARIANTOWA ILUMINACJA PAŁACU LUBOMIRSKICH W RZESZOWIE

Zadaniem iluminacji jest kreowanie nocnego obrazu oświetlanego obiektu, który powinien być spójny z obrazem dziennym. Iluminacja pełni też funkcję estetyczną, co powoduje, że może przyczynić się do uatrakcyjnienia nocnego obrazu obiektu. Możliwe jest wyeksponowanie charakterystycznych detali w budynkach zabytkowych, które stanowią ciekawe obiekty iluminacji. Osiągnięcie atrakcyjnego efektu wizualnego możliwe jest na wiele sposobów. Autorzy zaproponowali koncepcję iluminacji dla obiektu, jakim jest Letni Pałac Lubomirskich w Rzeszowie. Dokonano oceny widoczności obiektu z głównych kierunków obserwacji, które zależą od uwarunkowań lokalizacyjnych. Przedstawiono dwa wybrane warianty iluminacji, różniące się zastosowanym sprzętem oświetleniowym. W jednym zastosowano oprawy o asymetrycznym rozsyłe światłości, montowane w bliskim sąsiedztwie elewacji lub na niej. Drugi wariant wykorzystuje oprawy obrotowo symetryczne montowane w większej odległości. Wykonano wizualizacje oświetlenia budynku w obu wariantach oraz dokonano oceny widoczności i równomierności oświetlenia poszczególnych partii elewacji oraz poziomu wyeksponowania detali. Wybór odpowiedniego wariantu jest uzależniony od subiektywnej oceny wizualnej oraz od warunków ekonomicznych związanych z ilością i rodzajem specyfikowanego sprzętu oświetleniowego. Bez względu na ostateczną formę prawidłowo zaprojektowana iluminacja może w znaczącym stopniu uatrakcyjnić nocne postrzeganie obiektu oraz nadać mu nowy wizerunek.

Słowa kluczowe: oświetlenie dekoracyjne, obraz nocny, obiekt zabytkowy, wizualizacja

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Marcin Leško, Politechnika Rzeszowska, Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki, ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów; tel. 177432434; mlesko@prz.edu.pl

² Krzysztof Baran, Politechnika Rzeszowska, Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki, ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów; tel. 177432434; kbaran@prz.edu.pl

³ Henryk Wachta, Politechnika Rzeszowska, Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki, ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów; tel. 178651977; hwachta@prz.edu.pl

1. Wprowadzenie

Iluminacja jako oświetlenie dekoracyjne ma za zadanie kreowanie nocnego obrazu oświetlanego obiektu, który powinien być spójny z obrazem dziennym. Ponadto iluminacja pełni funkcję estetyczną, w związku z tym powinna być zaprojektowana i wykonana w sposób zapewniający wyeksponowanie charakterystycznych elementów budynku [2], dzięki czemu możliwe jest uatrakcyjnienie nocnego obrazu obiektu i wyróżnienie go na tle otoczenia. Niewątpliwie budynki zabytkowe stanowią bardzo ciekawe obiekty do iluminacji. Często osiągnięcie atrakcyjnego efektu wizualnego możliwe jest na kilka sposobów z wykorzystaniem różnorodnego sprzętu oświetleniowego oraz metod iluminacji [5]. Możliwe do osiągnięcia efekty autorzy pokazali na przykładzie Letniego Pałacu Lubomirskich w Rzeszowie, dla którego wykonane zostały koncepcje iluminacji w różnych wariantach.

2. Charakterystyka iluminowanego obiektu

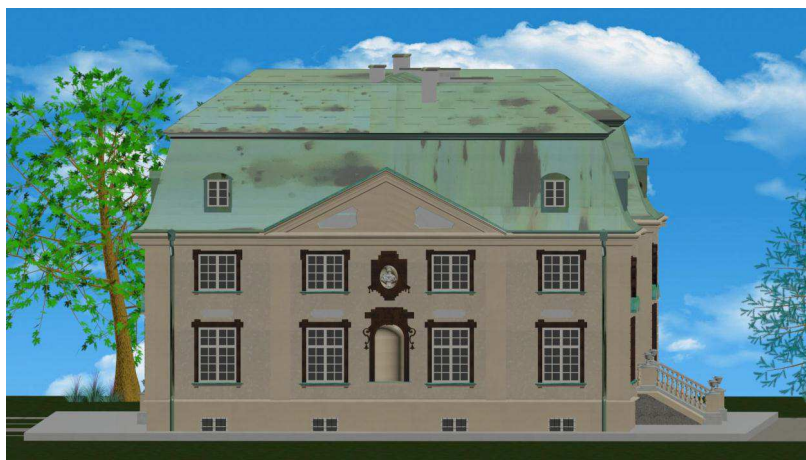
Letni Pałac Lubomirskich w Rzeszowie powstał w latach 90 XVII w. na terenie dawnej winnicy Mikołaja Spytka Ligęzy jako część dużego kompleksu ogrodowego wokół rezydencji na zamku [1]. Jest to późnobarokowa rezydencja z elementami stylu rokoko, posiadająca trzy kondygnacje, zbudowana na planie litery H. W środkowej części fasady (rys. 1) widoczne są trzy kolumny okien na trzech kondygnacjach. W skrzydłach wysuniętych względem centralnej części znajdują się po dwie pary okien w pierwszej kondygnacji, natomiast na piętrze zamiast okien umieszczone są nisze z popiersiami członków rodziny Lubomirskich. Wszystkie narożniki ścian posiadają pilastry, natomiast każda elewacja jest zdobiona pojedynczym centralnie umieszczonym ryzalitem. Zwieńczeniem każdej ściany jest trójdzielny gzyms biegnący dookoła budynku.



Rys. 1. Wizualizacja iluminowanego obiektu, fasada zachodnia [3]

Fig. 1. Visualization of illuminated object, west facade [3]

Ściany boczne (rys. 2) zostały ozdobione centralnym ryzalitem, który w odróżnieniu od elewacji głównej i tylnej posiada zwieńczenie w postaci trójkątnego tympanonu. W jego centralnej części znajduje się pusta podłużna nisza na parterze oraz owalna z popiersiem na piętrze. Po bokach nisz znajdują się po dwie kolumny okien analogicznych, jak na głównej ścianie. Wszystkie te elementy są istotne z punktu widzenia projektowanej iluminacji, w kontekście wyróżnienia charakterystycznych elementów budynku oraz ewentualnego rozmieszczenia sprzętu oświetleniowego.



Rys. 2. Wizualizacja iluminowanego obiektu, fasada północna [3]

Fig. 2. Visualization of illuminated object, north facade [3]

3. Koncepcja iluminacji

Przed podjęciem prac projektowych iluminacji konieczne jest określenie głównych kierunków obserwacji oświetlanego obiektu [7], co ma na celu określenie zasadności oświetlania całego budynku, bądź tylko jego wybranych elewacji. Analizowany obiekt jest budynkiem wolnostojącym, otoczony jest ogrodem, bez sąsiednich zabudowań znajdujących się w bliskiej odległości, które mogłyby przesłaniać widok, w związku z tym możliwe jest jego oświetlenie w całości. Usytuowanie budynku oraz główne kierunki obserwacji pokazano na rysunku 3.

Pałac wraz z ogrodem otoczony jest trzema ulicami, także każda z elewacji jest widoczna z bliskiej odległości. Ze względu na sąsiadujący od strony południowej plac wraz z fontanną multimedialną, największą widoczność z większej odległości posiadają elewacje południowa oraz zachodnia, w związku z czym zaprezentowane koncepcje iluminacji będą wykorzystywały południowo-zachodni kierunek obserwacji. Pozostałe dwie elewacje ze względu na bliskie sąsiedztwo zabudowy są mniej eksponowane, przez co nie wymagają wyraźnego akcentowania świetlnego.



Rys. 3. Usytuowanie iluminowanego obiektu, główne kierunki obserwacji [4]

Fig. 3. Situation of illuminated object, main directions of observation [4]

Koncepcja iluminacji obiektu opiera się na metodzie punktowej [5], która zakłada lokalizację sprzętu oświetleniowego w bliskim sąsiedztwie elewacji, bądź umieszczenie opraw także na samym budynku dla atrakcyjniejszego podkreślenia elementów charakterystycznych dla obiektu. Zaproponowane zostały dwa wybrane warianty iluminacji z wykorzystaniem opraw o rozsyle asymetrycznym oraz symetrycznym.

2.1. Iluminacja obiektu z wykorzystaniem opraw o rozsyle asymetrycznym

Wariant pierwszy wykorzystuje oprawy o asymetrycznym rozsyle światłości [6], głównie liniowe umieszczone przy elewacji budynku oraz na gzymsie, celem doświetlenia dachu. Rozmieszczenie opraw na poszczególnych elewacjach pokazano na rysunkach 4 i 5.



Rys. 4. Rozmieszczenie opraw, fasada zachodnia [3]

Fig. 4. Location of luminaires, west facade [3]



Rys. 5. Rozmieszczenie opraw, fasada południowa [3]

Fig. 5. Location of luminaires, south facade [3]

Efekt końcowy obrazuje wizualizacja pokazana na rysunku 6. Uzyskano względnie równomierne rozświetlenie ścian z zaakcentowaniem dachu oraz tympanonu na ścianie bocznej, a także centralnego ryzalitu na fasadzie.



Rys. 6. Wizualizacja iluminowanego obiektu, wariant 1 oświetlenia [3]

Fig. 6. Visualization of illuminated object, illumination variant 1 [3]

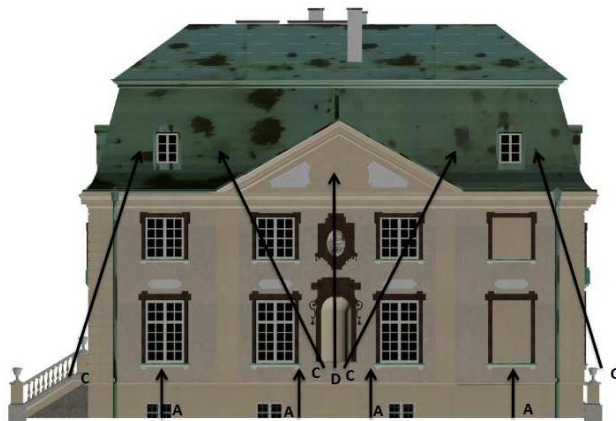
2.2. Iluminacja obiektu z wykorzystaniem opraw o rozsyle symetrycznym

Wariant drugi został zrealizowany z wykorzystaniem punktowych opraw o obrotowo symetrycznym rozsyle światłości [6], zlokalizowanych częściowo w nieco większej odległości od elewacji niż w wariantcie 1, ale nie na tyle dużej, jak w metodzie zalewowej oraz opraw doziemnych montowanych blisko elewacji. Rozmieszczenie opraw na poszczególnych elewacjach pokazano na rysunkach 7 i 8.



Rys. 7. Rozmieszczenie opraw, fasada zachodnia [3]

Fig. 7. Location of luminaires, west facade [3]



Rys. 8. Rozmieszczenie opraw, fasada południowa [3]

Fig. 8. Location of luminaires, south facade [3]

Wizualizację efektu końcowego pokazano na rysunku 9. Uzyskano bardziej równomierne rozświetlenie ścian oraz dachu budynku. Wariant ten nie wykorzystuje opraw montowanych na budynku, jednak może brakować w pewnym stopniu wyraźnych akcentów świetlnych na niektórych elementach.



Rys. 9. Wizualizacja iluminowanego obiektu, wariant 2 oświetlenia [3]

Fig. 9. Visualization of illuminated object, illumination variant 2 [3]

4. Wnioski

Przedstawiona koncepcja iluminacji obiektu zabytkowego, jakim jest Letni Pałac Lubomirskich w Rzeszowie została wykonana w dwóch wariantach, z wykorzystaniem sprzętu oświetleniowego o różnej charakterystyce rozsyłu światłości. Oba warianty różnią się także założeniami dotyczącymi możliwości lokalizacji sprzętu oświetleniowego na elewacji budynku, co jest uzależnione od decyzji konserwatora zabytków. Niezależnie od wariantu iluminowany obiekt pozostaje widoczny w warunkach nocnych, a jego obraz nocny jest spójny z obrazem dziennym. Realizowane rozkłady luminancji są zróżnicowane pod względem uwydatnienia charakterystycznych elementów obiektu. Zrealizowane zostały także warianty mieszane stanowiące kombinacje sprzętowe wariantów dwóch pierwszych wariantów, jednak nie zostały one zaprezentowane ze względu na zbyt małe zróżnicowanie. Wybór odpowiedniego wariantu jest zwykle uwarunkowany subiektywnymi odczuciami estetycznymi inwestora oraz często decydujące mogą być względy ekonomiczne, związane z ilością i typem specyfikowanego sprzętu oświetleniowego, a także realne możliwości lokalizacyjne. Bez względu na ostateczną formę prawidłowo zaprojektowana iluminacja może w znaczącym stopniu uatrakcyjnić nocne postrzeganie obiektu oraz nadać mu nowy wizerunek.

Literatura

- [1] Malczewski J.: Zamek w Rzeszowie, jego otoczenie i właściciele. Rzeszów 1995.
- [2] Ratajczak J.: Oświetlenie iluminacyjne obiektów architektonicznych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2009.
- [3] Wizualizacje komputerowe obiektu wykonane w ramach działalności Koła Naukowego Elektroenergetyk, Rzeszów, 2015.
- [4] Zdjęcie satelitarne analizowanego obiektu, <https://www.google.pl/maps/@50.0339693,22.0024099,126m/data=!3m1!1e3?hl=pl>, dostęp 20.05.2016.
- [5] Żagan W.: Iluminacja obiektów, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.
- [6] Żagan W.: Oprawy oświetleniowe. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2012.
- [7] Żagan W., Krupiński R.: Teoria i praktyka iluminacji obiektów, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2016.

MULTIVARIATE ILLUMINATION OF LUBOMIRSKI PALACE IN RZESZOW

Summary

The task of illumination is to create the night image of illuminated object, which should be consistent with the daylight image. Illumination also serves an aesthetic function, which means that it can contribute to the attractiveness of the night image of the object. It is possible to expose specific details in historic buildings that are interesting objects of illumination. Achieving an attractive visual effect is possible in many ways. The authors proposed the concept of illumination for the object, which is the Summer Lubomirski Palace in Rzeszow. The evaluation of the visibility of the object of the main directions of observation, which depends on the location conditions. There was shown two options of illumination, varying the applied lighting equipment. In one there was used luminaires with asymmetrical light distribution, mounted in close proximity to the facade or directly on the wall. The second variant uses the rotationally symmetrical luminaires mounted at a greater distance. There was taken visualizations of lighting a building in both variants and evaluated the visibility and uniformity of illumination of individual parts of the facade and the level of visibility of details. Choosing the right option depends on the subjective assessment of visual and economic conditions related to the amount and type of the specified lighting equipment. Regardless of the final form properly designed illumination can significantly attractive night perception of the object and give it a new image.

Keywords: decorative lighting, night picture, historic building, visualization

Przesłano do redakcji: 20.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Aleksandra MIERZEJOWSKA¹

ROLA GEODETY W PROCESIE INWESTYCYJNYM W ŚWIETLE OBOWIĄZUJĄCYCH PRZEPISÓW

W artykule poruszono tematykę związaną z pracami geodezyjnymi prowadzonymi w trakcie realizacji inwestycji budowlanych. Niemalże w każdym procesie inwestycyjnym obok inwestora, inspektora nadzoru, projektanta i kierownika budowy istotną rolę odgrywa geodeta. Po mimo tego jego osoba nie jest wymieniana jako pełnoprawny uczestnik procesu inwestycyjnego. W ramach artykułu autorka skupiła głównie uwagę na czynnościach wykonywanych bezpośrednio przez geodetę na każdym etapie prac.

Słowa kluczowe: inwestycja budowlana, prace geodezyjne, uczestnik inwestycji, etapy inwestycji

1. Wprowadzenie

W pracach związanych z realizacją inwestycji budowlanej, na każdym z jej etapów wyszczególnić można szereg czynności, które wykonuje geodeta. Przed rozpoczęciem inwestycji geodeta prowadzi pomiary w celu pozyskania niezbędnych informacji o nieruchomości oraz sporządza dokumentację geodezyjno-kartograficzną, w tym m.in. mapę do celów projektowych. Ponadto opracowuje geodezyjnie projekt zagospodarowania działki lub terenu określając dane potrzebne do wytyczenia poszczególnych elementów obiektu w terenie. W trakcie realizacji inwestycji jest on odpowiedzialny za obsługę geodezyjną budowy i montażu obiektu budowlanego, a także za badanie odkształceń i przemieszczeń w trakcie budowy. Po zakończeniu budowy geodeta sporządza geodezyjną inwentaryzację powykonawczą. Część sporządzonej przez geodetę dokumentacji wchodzi w skład projektu budowlanego. Biorąc powyższe pod uwagę można stwierdzić, że jest to osoba pełniąca bardzo ważną funkcję w całym procesie inwestycyjnym, bez udziału której realizacja inwestycji byłaby utrudniona a nawet niemożliwa.

W ramach niniejszego artykułu przeanalizowano przebieg procesu inwestycyjnego pod kątem prac wykonywanych przez geodetę. Problem ten jest o tyle

¹ Aleksandra Mierzejowska, Politechnika Śląska, Katedra Eksploatacji Złóż, Zespół Kartografii i Systemów Informacji Przestrzennej, ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice; tel. 693605258; aleksandra.mierzejowska@polsl.pl

istotny, że w obowiązujących przepisach [2] osoba geodety nie jest wymieniana jako uczestnik procesu budowlanego.

2. Charakterystyka podstawowych aktów prawnych regulujących prace geodezyjne związane z realizacją inwestycji budowlanych

Do najważniejszych aktów prawnych regulujących prace związane z geodezyjną obsługą inwestycji jest:

- Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane z późniejszymi zmianami,
- Ustawa z dnia 17 maja 1989 r. Prawo geodezyjne i kartograficzne z późniejszymi zmianami.

Oprócz ww. ustaw istotne znaczenie w tym zakresie mają akty wykonawcze. Do najważniejszych z nich należą:

- Rozporządzenie Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa z dnia 21 lutego 1995 r. w sprawie rodzaju i zakresu opracowań geodezyjno-kartograficznych oraz czynności geodezyjnych obowiązujących w budownictwie,
- Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowywania i przekazywania wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego.

Z punktu widzenia geodety istotne są zapisy czterech artykułów ustawy [2] tzn. artykułu 34, 41, 43 oraz 57. Zgodnie z artykułem 34 ustawy [2] projekt budowlany powinien zawierać m.in.: *projekt zagospodarowania działki lub terenu, sporządzony na aktualnej mapie, obejmujący: określenie granic działki lub terenu, usytuowanie, obrys i układy istniejących i projektowanych obiektów budowlanych, sieci uzbrojenia terenu, sposób odprowadzania lub oczyszczania ścieków, układ komunikacyjny i układ zieleni, ze wskazaniem charakterystycznych elementów, wymiarów, rzędnych i wzajemnych odległości obiektów, w nawiązaniu do istniejącej i projektowanej zabudowy terenów sąsiednich* [2].

Kolejny artykuł ustawy [2] (artykuł 41) określa rodzaj prac przygotowawczych, którymi są:

- *wytyczenie geodezyjne obiektów w terenie;*
- *wykonanie niwelacji terenu;*
- *zagospodarowanie terenu budowy wraz z budową tymczasowych obiektów;*
- *wykonanie przyłączy do sieci infrastruktury technicznej na potrzeby budowy* [2].

Artykuł 43 ustawy [2] określa rodzaje obiektów, które podlegają geodezyjnemu wyznaczeniu w terenie oraz geodezyjnej inwentaryzacji powykonawczej. Są nimi: *obiekty budowlane wymagające pozwolenia na budowę* oraz obiekty nie wymagające tego pozwolenia tj.:

- *wolno stojące budynki mieszkalne jednorodzinne, których obszar oddziaływania mieści się w całości na działce lub działkach, na których zostały zaprojektowane;*

- wolno stojące parterowe budynki stacji transformatorowych i kontenerowych stacji transformatorowych o powierzchni zabudowy do 35 m²;
- sieci:
 - a) elektroenergetyczne obejmujące napięcie znamionowe nie wyższe niż 1 kV,
 - b) wodociągowe,
 - c) kanalizacyjne,
 - d) ciepłne,
 - e) telekomunikacyjne;
- przyłącza: elektroenergetyczne, wodociągowe, kanalizacyjne, gazowe, ciepłne i telekomunikacyjne;
- telekomunikacyjne linie kablowe;
- kanalizacja kablowa.

Obowiązkowi geodezyjnego wyznaczenia nie podlega przyłączy jeżeli jego połączenie z siecią znajduje się na tej samej działce co przyłączy lub na działce do niej przyległej [2].

Zgodnie z treścią artykułu 57 do zawiadomienia o zakończeniu budowy obiektu budowlanego lub wniosku o udzielenie pozwolenia na użytkowanie inwestor jest obowiązany dołączyć również dokumentację geodezyjną, zawierającą wyniki geodezyjnej inwentaryzacji powykonawczej oraz informację o zgodności usytuowania obiektu budowlanego z projektem zagospodarowania działki lub terenu lub odstępstwach od tego projektu, sporządzoną przez osobę wykonującą samodzielne funkcje w dziedzinie geodezji i kartografii oraz posiadającą odpowiednie uprawnienia zawodowe [2].

W ustawie Prawo geodezyjne i kartograficzne w artykule 2 zdefiniowano pojęcie prac geodezyjnych, przez które należy rozumieć:

- projektowanie i wykonywanie pomiarów: geodezyjnych, grawimetrycznych, magnetycznych oraz astronomicznych, w związku z: realizacją zadań określonych w ustawie, opracowaniem dokumentacji geodezyjnej dotyczącej nieruchomości na potrzeby postępowań administracyjnych lub sądowych oraz czynności cywilnoprawnych, wykonywaniem opracowań geodezyjno-kartograficznych oraz czynności geodezyjnych na potrzeby budownictwa,
- projektowanie i wykonywanie zobrażeń lotniczych oraz zobrażeń satelitarnych w związku z realizacją zadań określonych w ustawie lub na potrzeby pomiarów i opracowań, o których mowa w lit. a,
- obliczanie lub przetwarzanie wyników pomiarów, opracowań i zobrażeń,
- tworzenie określonych w ustawie zbiorów danych, ortofotomapy oraz dokumentacji geodezyjnej na potrzeby postępowań administracyjnych, postępowań sądowych oraz czynności cywilnoprawnych związanych z nieruchomościami, a także wykonywanie opracowań geodezyjno-kartograficznych na potrzeby budownictwa [1].

Ustawa Prawo geodezyjne i kartograficzne definiuje również wykonawcę prac geodezyjnych, którym może być przedsiębiorca, jednostka organizacyjna, a także osoba legitymująca się uprawnieniami zawodowymi w dziedzinie geodezji i kartografii w przypadku wykonywania przez tę osobę funkcji biegłego sądowego, mierniczego górniczego lub asystenta mierniczego górniczego [1].

Zgodnie z artykułem 12 ustawy [1] *wykonawca prac geodezyjnych lub prac kartograficznych zgłasza prace geodezyjne lub prace kartograficzne przed ich rozpoczęciem*. W przypadku gdy wynikiem tych prac jest:

- utworzenie lub aktualizacja baz danych (ewidencji gruntów i budynków, geodezyjnej ewidencji sieci uzbrojenia terenu, szczegółowych osnów geodezyjnych, bazy danych obiektów topograficznych o szczegółowości zapewniającej tworzenie standardowych opracowań kartograficznych w skalach 1:500÷1:5000);
- wznowienie znaków granicznych, wyznaczenie punktów granicznych lub ustalenie przebiegu granic działek ewidencyjnych,
- geodezyjna inwentaryzacja obiektów budowlanych,
- wytyczenie budynku lub sieci uzbrojenia terenu,
- dokumentacja geodezyjna w postaci map, rejestrów lub wykazów na potrzeby postępowań administracyjnych, postępowań sądowych lub czynności cywilnoprawnych, dotyczących w szczególności: granic nieruchomości, praw do nieruchomości, zmiany struktury własności nieruchomości, pozwoleń na budowę, zmiany sposobu użytkowania obiektów budowlanych lub ich części oraz sposobu zagospodarowania nieruchomości wykonawca prac zgłasza je właściwym miejscowo starostom.

Wykonawca prac geodezyjnych lub prac kartograficznych zawiadamia organ Służby Geodezyjnej i Kartograficznej, do którego zostały zgłoszone prace geodezyjne lub prace kartograficzne, o zakończeniu tych prac, przekazując: zbiory nowych, zmodyfikowanych lub zweryfikowanych danych, które należą do zakresu informacyjnego baz danych oraz dokumenty wynikające z Rozporządzenia z 2011 roku (art. 12a) [1].

Obowiązek zawiadomienia o zakończeniu prac geodezyjnych oraz przekazania wyników tych prac nie dotyczy prac geodezyjnych związanych z wytyczaniem obiektów budowlanych, jeżeli w okresie nie dłuższym niż 30 dni od dnia wytyczenia tych obiektów zostaną przekazane do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego dokumenty zawierające wyniki geodezyjnej inwentaryzacji powykonawczej tych obiektów (art. 12c.2) [1].

Rozporządzenie Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa z dnia 21 lutego 1995 r. w sprawie rodzaju i zakresu opracowań geodezyjno-kartograficznych oraz czynności geodezyjnych obowiązujących w budownictwie określa rodzaje i zakres opracowań geodezyjno-kartograficznych i czynności geodezyjnych obowiązujących podczas projektowania, budowy, remontu i utrzymania obiektów budowlanych, dla których jest wymagane uzyskanie pozwolenia na budowę [4].

Rozporządzenie [4] wskazuje również osoby, które mogą sporządzać ww. opracowania i wykonywać ww. prace. Są to podmioty posiadające niezbędne uprawnienia zawodowe – wykonawcy prac geodezyjnych.

Standardy techniczne wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych, opracowywania i przekazywania wyników geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego na potrzeby: ewidencji gruntów i budynków, geodezyj-

nej ewidencji sieci uzbrojenia terenu, podziałów nieruchomości, postępowań sądowych i administracyjnych, zagospodarowania przestrzennego, budownictwa, w tym geodezyjnej obsługi inwestycji budowlanych określa Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowywania i przekazywania wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego [3].

Niezależnie od ww. aktów prawnych kwestię prac geodezyjnych związanych z procesem inwestycyjnym porusza norma [5]. Norma wymienia pięć charakterystycznych etapów realizacji obiektu budowlanego tj.: pozyskanie działki lub istniejącego budynku lub budynków, projektowanie inwestycji, etap przed rozpoczęciem budowy, budowa obiektu, zakończenie budowy. Ponadto szczegółowo określa zakres prac geodety w ramach tych etapów [5].

3. Etapy procesu inwestycyjnego oraz rola geodety w ich realizacji

Uczestnikami procesu inwestycyjnego (budowlanego) w świetle zapisów ustawy [prawo bud] (artykuł 17) są:

- inwestor;
- inspektor nadzoru inwestorskiego;
- projektant;
- kierownik budowy lub kierownik robót.

W ustawie [2] nie ma wymienionej osoby, która odpowiadałaby za wszelkie prace geodezyjne, bez której cały proces budowlany nie mógłby się odbyć. Pomimo pominięcia geodety w zapisach tej ustawy, odgrywa on ogromną rolę w trakcie realizacji poszczególnych etapów każdej inwestycji.

Zasadniczo można wyróżnić pięć charakterystycznych etapów każdej inwestycji budowlanej [4] tj.:

- Etap I – przygotowanie inwestycji,
- Etap II – projektowanie inwestycji,
- Etap III – realizacja inwestycji w terenie,
- Etap IV – zakończenie inwestycji,
- Etap V – eksploatacja obiektów budowlanych.

W ramach etapu pierwszego geodeta przygotowuje i przedstawia mapy poglądowe (topograficzne, tematyczne itp.). W oparciu o nie możliwe jest określenie lokalizacji danej inwestycji. Kolejnym krokiem w ramach tego etapu jest przygotowanie geodezyjnej dokumentacji do celów prawnych (związanej z rozgraniczeniem nieruchomości, podziałem nieruchomości, wznowieniem znaków granicznych czy też przygotowaniem dokumentacji geodezyjnej w celu dokonania wpisów do KW).

Etap ten kończy się przygotowaniem różnego rodzaju map, niezbędnych przy uzyskaniu akceptacji czy też pozwoleń związanych z daną inwestycją tj.

mapy do celów opiniodawczych (mapa zasadnicza) czy mapa stanu prawnego (mapa ewidencyjna).

Etap drugi związany jest z przygotowaniem dokumentacji geodezyjnej niezbędnej do wykonania projektu budowlanego, a więc z opracowaniem projektu zagospodarowania działki lub terenu oraz planu sytuacyjnego (dotyczy budowy przyłączy). Są to tzw. mapy do celów projektowych. W świetle przepisów [3, 4] mapę do celów projektowych sporządza wykonawca na kopii aktualnej mapy zasadniczej, a w przypadku jej braku na mapie jednostkowej, przyjętej do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego. Skalę map należy dostosować do rodzaju i wielkości obiektu lub zamierzenia budowlanego. W ramach tego etapu geodeta wykonuje pomiary sytuacyjne i wysokościowe związane z opracowaniem mapy do celów projektowych ale również pomiary mające na celu:

- *opracowanie przekrojów istniejących lub projektowanych tras, cieków lub zbiorników;*
- *obliczenie przemieszczeń mas ziemnych;*
- *ustalenie wielkości strzałki zwisu przewodów i prześwitu pod nimi;*
- *szczegółową inwentaryzację obiektów budowlanych planowanych do remontu, obejmującą w szczególności:*
 - a) *elewacje budowli,*
 - b) *rzuty poziome i pionowe pomieszczeń i elementów konstrukcyjnych obiektów budowlanych,*
 - c) *rozmieszczenie urządzeń wewnątrz pomieszczeń;*
- *określenie wysokości charakterystycznych punktów obiektów budowlanych oraz terenu [3].*

Wyniki geodezyjnego opracowania projektu zagospodarowania działki lub terenu oraz planu sytuacyjnego geodeta utrwała na szkicu dokumentacyjnym. Treść szkicu stanowią:

- *dane dotyczące osnowy realizacyjnej;*
- *rysunek istniejących w terenie obiektów powierzchniowych mających znaczenie w procesie tyczenia;*
- *rysunek istniejących w terenie obiektów podziemnego uzbrojenia mających znaczenie w procesie tyczenia;*
- *dane niezbędne do wytyczenia projektowanych obiektów, w tym dane obliczone;*
- *miary kontrolne;*
- *współrzędne punktów głównych, punktów osiowych, punktów charakterystycznych obiektu, punktów przecięcia projektowanych elementów sieci uzbrojenia terenu z elementami istniejącej sieci, obliczone w wyniku geodezyjnego opracowania projektu [3].*

Geodezyjne opracowanie projektu zagospodarowania działki lub terenu pozwala określić dane liczbowe potrzebne do wytyczenia w terenie położenia poszczególnych elementów projektowanych obiektów budowlanych (punktów głównych budowli, przebiegu osi, linii rozgraniczających, linii zabudowy, usytuowania obiektów budowlanych oraz projektowanego ukształtowania terenu [4].

Mając przygotowane dane geodeta może rozpocząć prace w ramach etapu trzeciego, a więc realizację inwestycji w terenie. Prace rozpoczyna od wytyczenia obiektów. Zgodnie z rozporządzeniem [3] *tyczenie to zespół czynności pomiarowych (geodezyjnych) mających na celu wskazanie w terenie lub na realizowanym obiekcie budowlanym punktów o założonym położeniu w przyjętym układzie odniesienia oraz oznaczenia tych punktów w sposób trwały lub tymczasowy* [3].

Rozporządzenie [4] określa czemu służy geodezyjne wytyczenie obiektów budowlanych w terenie tj. *przestrzennemu usytuowaniu tych obiektów zgodnie z projektem budowlanym, a w szczególności zachowaniu przewidzianego w projekcie położenia wyznaczanych obiektów względem obiektów istniejących i wznoszonych oraz względem granic nieruchomości* [4]. Zgodnie z wyżej wymienionym rozporządzeniem wytyczeniu i utrwaleniu na gruncie podlegają *geodezyjne elementy określające usytuowanie w poziomie oraz posadowienie wysokościowe budowanych obiektów, w szczególności:*

- *główne osie obiektów budowlanych naziemnych i podziemnych;*
- *charakterystyczne punkty projektowanego obiektu;*
- *stałe punkty wysokościowe* [4].

Wykonanie ww. czynności geodeta potwierdza wpisem w dzienniku budowy.

Po wytyczeniu obiektu geodeta sporządza szkic tyczenia na którym zamieszcza m.in. rezultaty pomiaru kontrolnego wytyczonych elementów. Oryginał szkicu tyczenia dołączany jest do dziennika budowy [3].

W trakcie realizacji inwestycji do czynności geodezyjnych poza *geodezyjną obsługą i montażem obiektu budowlanego, należy również pomiar przemieszczeń obiektu i jego podłoża oraz pomiar odkształceń obiektu, a także geodezyjna inwentaryzacja powykonawcza obiektów lub elementów obiektów* [4].

Bieżący monitoring daje możliwość oceny zgodności geometrii wznoszonych obiektów z projektem pod kątem nie przekroczenia pewnych wartości dopuszczalnych.

Etap IV obejmuje geodezyjną inwentaryzację powykonawczą, której celem jest *zebranie aktualnych danych o przestrzennym rozmieszczeniu elementów zagospodarowania działki lub terenu* [4]. W ramach tego etapu wykonywany jest również pomiar stanu wyjściowego obiektów, które w trakcie użytkowania wymagają okresowych pomiarów przemieszczeń i odkształceń. Z czynności tych sporządzany jest operat, który dołączany jest do dokumentacji budowy. Dokumentacja geodezyjno-kartograficzna, sporządzana w wyniku geodezyjnej inwentaryzacji powykonawczej powinna zawierać dane umożliwiające aktualizację baz danych w tym m.in. bazę EGiB oraz GESUT.

Etap V obejmuje prace prowadzone w trakcie użytkowania danego obiektu. Jest to geodezyjna, okresowa kontrola m.in. kształtu i usytuowania, pionowości, przemieszczeń i odkształceń.

4. Podsumowanie i wnioski końcowe

Analizując od początku do końca cały proces związany z realizacją inwestycji budowlanej można zauważyć, że geodeta jest jedną z tych osób bez której

poszczególne jej etapy są niemożliwe do zrealizowania. Bierze on udział w pracach związanych zarówno z przygotowaniem inwestycji oraz z jej realizacją jak również z jej zakończeniem, w myśl powiedzenia „geodeta pierwszy wchodzi na plac budowy i ostatni z niego schodzi”.

Pomimo ważnej funkcji jaką pełni geodeta, w szczególności w aspekcie bezpieczeństwa wznoszenia jak i użytkowania obiektów budowlanych, jego osoba nie jest wymieniana jako uczestnik procesu inwestycyjnego.

Podjęcie powyższej tematyki miało na celu zasygnalizowanie istotnej roli prac geodezyjnych w procesie inwestycyjnym, a tym samym roli geodety w tym procesie. Pozwala wysnuć wniosek, że obok inwestora, inspektora nadzoru inwestorskiego, projektanta i kierownika budowy geodeta powinien być wymieniany jako pełnoprawny uczestnik procesu inwestycyjnego. Wiąże się to ze zmianami obowiązujących przepisów regulujących prace geodezyjne związane z realizacją inwestycji budowlanych.

Literatura

- [1] Ustawa z dnia 17 maja 1989 r. Prawo geodezyjne i kartograficzne z późniejszymi zmianami.
- [2] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane z późniejszymi zmianami.
- [3] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowywania i przekazywania wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego.
- [4] Rozporządzenie Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa z dnia 21 lutego 1995 r. w sprawie rodzaju i zakresu opracowań geodezyjno-kartograficznych oraz czynności geodezyjnych obowiązujących w budownictwie.
- [5] PN-ISO 4463-3:2001 Metody pomiarowe w budownictwie – Tyczenie i pomiar. Wykazy sprawdzające dla realizacji zadań geodezyjnych i usług pomiarowych.

THE ROLE OF SURVEYOR IN THE INVESTMENT PROCESS WITHIN THE FRAMEWORK OF THE APPLICABLE REGULATIONS

Summary

The article addresses issues, related to geodetic work, carried out during the realization of construction investments. Nearly in every investment process, surveyor plays an important role, right next to investor, supervisor, designer and construction manager. Even so, his person is not listed as a full participant in the investment process. Within the article, the author focused mainly on the activities performed directly by the surveyor at each stage of the work.

Keywords: construction investment, geodetic work, investment participant, investment stages

Przesłano do redakcji: 24.11.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Michał JUREK¹

ZASTOSOWANIE TERMOGRAFII AKTYWNEJ W BADANIU STANU POWIERZCHNI ELEMENTÓW STALOWYCH

Powszechność w budownictwie stali, jako materiału konstrukcyjnego, przy jej jednoczesnej podatności na korozję wymusza opracowywanie i stosowanie metod oraz procedur diagnostycznych, pozwalających na możliwie jak najwcześniejsze wykrycie i zlokalizowanie ognisk korozji. Obok szeregu dobrze znanych i skutecznych na tym polu badań metod nieniszczących (ang. Non Destructive Testing, NDT), jak badania ultradźwiękowe, rentgenografia, badania penetracyjne, czy też ocena wizualna, co raz większe uznanie zyskuje termografia aktywna. W pracy przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych, których celem było określenie skuteczności metody termografii aktywnej w detekcji i lokalizacji korozji i innych wad powierzchni elementów stalowych. Przeprowadzono pomiary na próbkach laboratoryjnych w postaci blachy stalowej, o powierzchni zarówno nie malowanej, jak i pokrytej zróżnicowanymi powłokami. Przeanalizowano szereg zaburzenia w postaci korozji, otworu wypełnionego masą szpachlową, wżerów, zabrudzenia klejem epoksydowym. Pomiary wykonano z wykorzystaniem wymuszenia w postaci lampy halogenowej oraz głowicy generującej prądy wirowe. Przeanalizowano zróżnicowane czasy wymuszenia i rejestracji odpowiedzi analizowanych próbek laboratoryjnych. Zarejestrowane sekwencje termogramów podlegały przetwarzaniu poprzez wyznaczenie funkcji aproksymujących o zróżnicowanych parametrach. Uzyskane wyniki przedstawiono w postaci map wartości, określonych współczynników funkcji aproksymujących.

Słowa kluczowe: metody nieniszczące, termografia aktywna, konstrukcje stalowe, korozja

1. Wprowadzenie

Zalety stali jako materiału konstrukcyjnego powodują, iż jest ona obecnie jednym z najpopularniejszych budulców stosowanych w nowoczesnych oraz tradycyjnych obiektach inżynierskich. Jednak, obok wielu zalet, najpoważniejszą wadą stali jest podatność na korozję. Problem ten dotyczy zarówno elementów stanowiących konstrukcję nośną, jak i elementów powierzchniowych, z któ-

¹ Michał Jurek, Politechnika Rzeszowska, Katedra Mechaniki Konstrukcji, ul. Poznańska 2, 35-959 Rzeszów; tel. 178651622; mjurek@prz.edu.pl

rych wykonywane są pokrycia i obudowy. Pomimo stosowania, często bardzo skutecznych powłok zabezpieczających, problem korozji ciągle stanowi istotne zagadnienie z punktu widzenia zabezpieczenia i ochrony, a także renowacji konstrukcji stalowych [1]. Istotnym jest, aby możliwie na jak najwcześniejszym etapie wykryć i zlokalizować ogniska korozji. Ciągłe najpowszechniejszą metodą oceny stanu powierzchni narażonej na korozję jest inspekcja wizualna. Istnieją jednakże zaawansowane metody badań nieniszczących (ang. Non Destructive Testing, NDT), jak badania ultradźwiękowe, rentgenografia, badania penetracyjne pozwalające na ocenę stanu analizowanej konstrukcji, wykrycie wad i anomalii, w tym również stref skorodowanych.

Opracowanie skutecznej metody diagnostycznej pozwala na dostatecznie szybką reakcję, to jest renowację powłok malarskich lub też naprawę uszkodzeń, np. uzupełnienie ubytków czy wymianę uszkodzonych fragmentów. Istotne jest uzyskanie na podstawie badań informacji, które strefy konstrukcji wymagają ingerencji, gdyż nie zawsze konieczna jest renowacja całej zabezpieczanej powierzchni. W przypadku dużych powierzchni (zbiorniki, rurociągi) podejście takie przynieść może znaczne oszczędności.

Innym aspektem, który podlegać może analizie jest stan powierzchni pokrytej warstwą ochronną oraz sama warstwa ochronna. Ma to znaczenie w przypadku kontroli jakości powłok zabezpieczających, a także w przypadku lokalizacji stref wcześniej naprawianych (uzupełnienia ubytków, wielokrotnie nałożone warstwy farby).

Celem przeprowadzonych badań było sprawdzenie przydatności metody termografii aktywnej w diagnostyce powierzchni płaskich elementów metalowych.

2. Termografia aktywna

Jedną z metod diagnostyki konstrukcji, której znaczenie istotnie wzrosło w ostatnim czasie jest termografia aktywna. Szczególnie dużą popularność tej metody można zaobserwować w przypadku konstrukcji kompozytowych [2, 3], szczególnie lotniczych [4], gdzie aspekty bezpieczeństwa konstrukcji odgrywają niezwykle istotną rolę. Znane są również zastosowania tej metody w budownictwie [5, 6].

Można stwierdzić, że termografia jest to technika zajmująca się pomiarem i analizą rozkładu temperatury na powierzchni badanego obiektu. Pomiar polega na rejestracji natężenia promieniowania podczerwonego, które jest emitowane przez wszystkie obiekty o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego. Wynikiem przeprowadzonego pomiaru jest obraz zwany termogramem, będący mapą odwzorowującą rozkład natężenia promieniowania na powierzchni badanego obiektu. Intensywność emitowanego promieniowania podczerwonego, jest proporcjonalna do temperatury ciała, zatem mierząc ilość emitowanego promieniowania podczerwonego, mierzymy jego temperaturę.

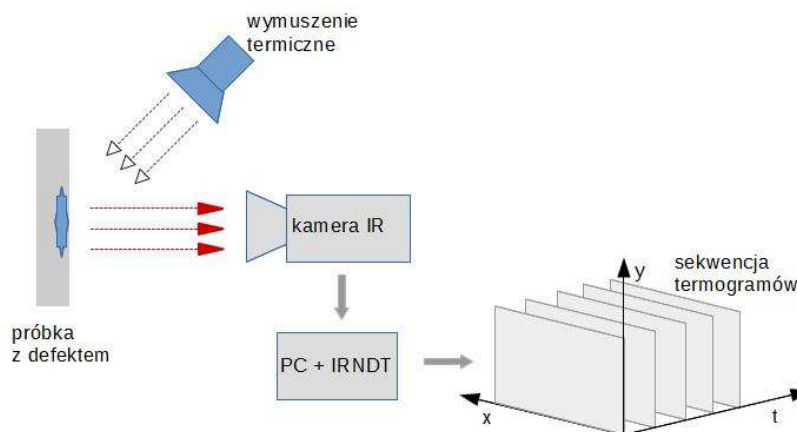
Wyróżnić można dwa zasadnicze podejścia wykorzystujące pomiary promieniowania podczerwonego [7]:

- termografię pasywną – rejestracja naturalnego promieniowania obiektu, bez dodatkowego zewnętrznego źródła ciepła;
- termografię aktywną – rejestracja promieniowania podczerwonego, będącego odpowiedzią analizowanego obiektu na konkretne wymuszenie termiczne.

W typowych zestawach pomiarowych stosowane są następujące źródła ciepła, stanowiące wymuszenie termiczne:

- lampy halogenowe;
- nagrzewnice i dmuchawy ciepłego powietrza;
- lampy błyskowe;
- głowice ultradźwiękowe;
- prądy wirowe, i inne.

Algorytm metody pomiarowej przedstawia Rys. 1. Badany obiekt, znajdujący się w polu widzenia kamery termowizyjnej, poddawany jest oddziaływaniu wymuszenia cieplnego o ściśle określonym charakterze. Odpowiedź analizowanego obiektu w postaci promieniowania podczerwonego rejestrowana jest przez kamerę termowizyjną i przekazywana do komputera wyposażonego w dedykowane oprogramowanie. Rejestracja doświadczenia, w postaci sekwencji termogramów podlega przetwarzaniu, którego efektem są mapy rozkładu określonych parametrów zarejestrowanych sygnałów. Na etapie przetwarzania stosowane są zaawansowane numeryczne metody obróbki sygnałów oraz przetwarzania obrazów.



Rys. 1. Schemat algorytmu termografii aktywnej

Fig. 1. Algorithm of the active thermography method

Jednakże, należy podkreślić, iż oprócz właściwie skonfigurowanego wzajemnego rozmieszczenia poszczególnych elementów układu pomiarowego,

tj. próbki, źródła wymuszenia, kamery termowizyjnej z właściwie dobranym obiektywem, kluczową rolę odgrywa trafny dobór parametrów wymuszenia. Kluczową rolę odgrywa tutaj doświadczenie osoby przeprowadzającej badanie. Należy uwzględnić rodzaj analizowanego materiału, typ, wielkość i rozmieszczenie defektów, których detekcji dotyczy badanie.

Wyróżnić można dwie podstawowe techniki pomiarowe wykorzystywane w termografii aktywnej [8]:

- *pulsed-phased* – wymuszenie stanowią impulsy fali cieplnej, których czas trwania oscyluje od kilku milisekund do kilku sekund;
- *lock-in* – wymuszenie stanowi zmienna, harmoniczna fala cieplna; w analizie uwzględniane są zamiany amplitudy i fazy odpowiedzi.

3. Badania laboratoryjne

3.1. Stanowisko pomiarowe

Pomiary laboratoryjne przeprowadzono w Pracowni Diagnostyki Maszyn i Urządzeń Laboratorium Zastosowań Systemów Informatycznych w Diagnostyce, które działa w ramach Laboratorium Badawczego Aeropolis.

W skład stanowiska pomiarowego (Rys. 2) wchodzi:

- kamera termowizyjna FLIR SC 6540 o rozdzielczości 640 x 480 pikseli i zakresie spektralnym 1.5 – 5.1 μm ;
- moduł sterujący wraz ze wzmacniaczem i kontrolerem napięcia;



Rys. 2. Stanowisko pomiarowe

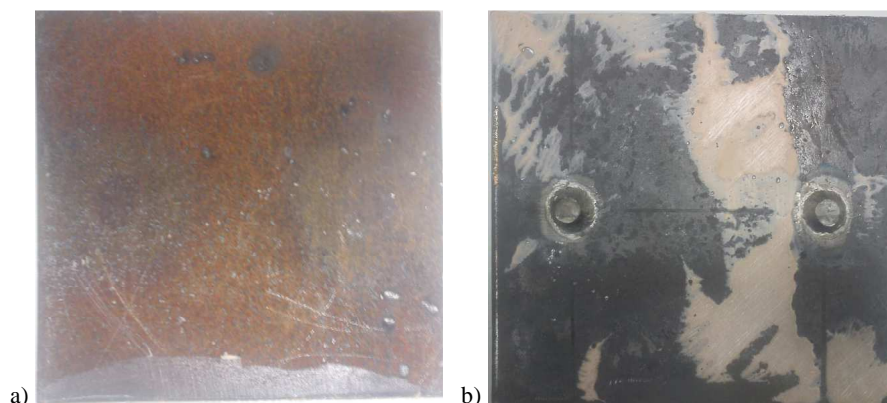
Fig. 2. Laboratory setup

- moduły wzbudzenia:
 - ultradźwiękowego o częstotliwości 15–25 kHz o mocy wyjściowej 2 kW,
 - laserowego
 - generator flash z lampą błyskową o energii błysku 3.0 kJ,
 - lampa halogenowa o mocy 2.5 kW,
 - generator prądów wirowych z głowicą.

W ramach testów wstępnych przetestowano przydatność wszystkich wymienionych źródeł fali termicznej, jednakże w pracy ograniczono się do prezentacji wyników uzyskanych z wykorzystaniem lampy halogenowej oraz generatora prądów wirowych.

3.2. Próbki laboratoryjne

W doświadczeniach wykorzystano dwa kwadratowe fragmenty blachy stalowej o wymiarach 250 x 250 oraz 300 x 300 mm i grubości 8 mm. W przypadku mniejszej próbki, analizie poddano stronę umownie określoną jako zewnętrzną, o powierzchni z widoczną gołym okiem korozją, uszkodzeniami w postaci ubytków materiału na powierzchni próbki oraz zabrudzeniem klejem epoksydowym (Rys. 3a). Należy zaznaczyć, że widoczna korozja miała charakter powierzchniowy. Dodatkowo, na wewnętrznej powierzchni próbki znajdowały się krótkie, około 6 milimetrowe fragmenty trzpieni stalowych (Rys. 3b) oraz pozostałości po kleju epoksydowym grubości od 1 do 3 mm.



Rys. 3. Widok próbki laboratoryjnej I: a) strona zewnętrzna – poddana analizie; b) strona wewnętrzna z widocznymi pozostałościami trzpieni stalowych

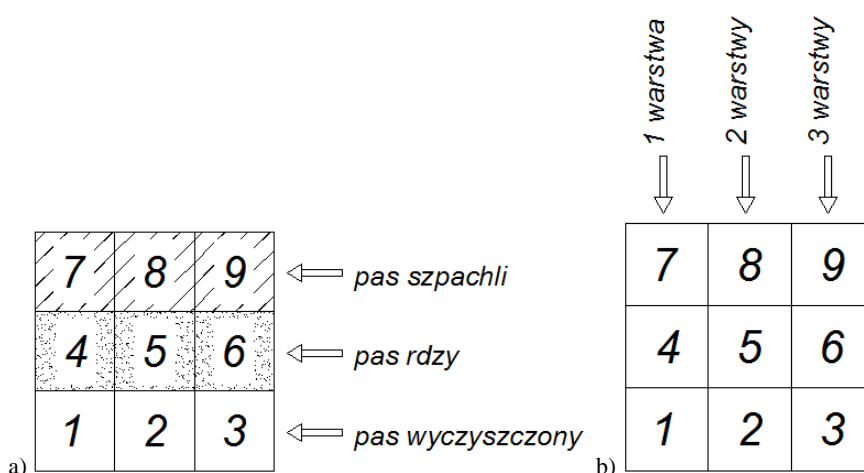
Fig. 3. A view of a laboratory sample I: a) analyzed external side; b) internal side with visible rests of steel bar

Przed przystąpieniem do badań strona zewnętrzna strona próbki pokryta została warstwą czarnego matowego lakieru akrylowego. Miało to na celu ujednoczyć emisyjność powierzchni, a także zakryć defekty widoczne ludzkim okiem.

W przypadku próbki II, powierzchnia poddawana analizie została przygotowana w zróżnicowany sposób, wg schematu przedstawionego na Rys. 4. W pierwszym etapie powierzchnia próbki podzielona została na trzy poziome pasy o jednakowej szerokości. Próbkę w części dolnej (Rys. 4.a) została przy pomocy elektronarzędzia dokładnie wyczyszczona, w części środkowej usunięto jedynie zgrubnie luźną warstwę skorodowaną, natomiast części górną próbki pokryto warstwą masy szpachlowej o grubości około 1 mm.

Następnie w drugim etapie (Rys. 4.b) przygotowania, powierzchnię próbki podzielono na trzy pionowe pasy również o jednakowej szerokości. Pas pierwszy patrząc od strony lewej powleczony został jedną warstwą lakieru akrylowego, pas środkowy dwiema warstwami, natomiast pas po stronie lewej pomalowano 3-krotnie.

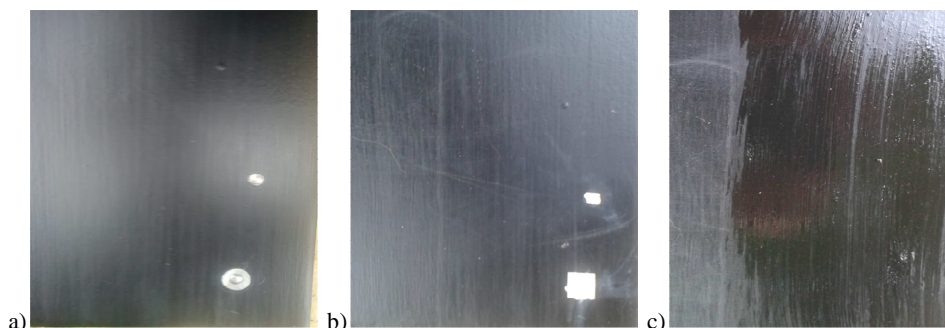
Uzyskana w ten sposób 9 powierzchni zróżnicowanych pod względem sposobu przygotowania powierzchni próbki oraz liczby warstw lakieru.



Rys. 4. Przygotowanie próbki: a) etap I – przygotowanie powierzchni, b) etap II – nakładanie warstw lakieru

Fig. 4. Sample preparation: a) stage I – surface preparation, b) stage II – lacquering

Dodatkowo w prawym dolnym rogu próbki wg schematu z Rys. 4, (pole oznaczonym cyfrą 3) wykonano dwa otwory (Rys. 5.a) – o średnicy 5 i głębokości 3 mm oraz o średnicy 13 i głębokości 6 mm. Następnie otwory zostały wypełnione masą szpachlową (Rys. 5.b) i polakierowane (Rys 5.c).

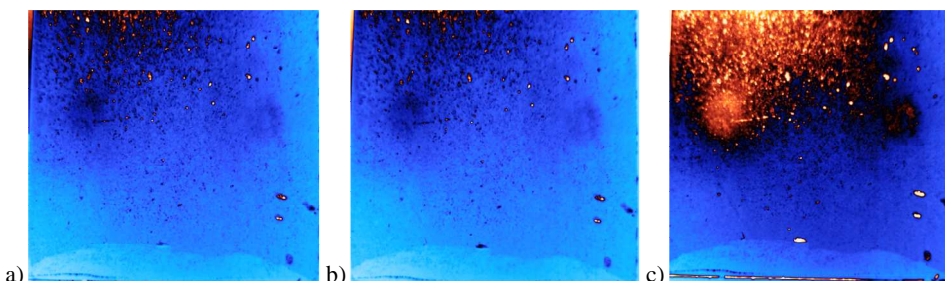


Rys. 5. Etapy wykonania otworów w próbce laboratoryjnej: a) otwory niewypełnione, b) otwory wypełnione masą szpachlową; c) wygląd po ponownym polakierowaniu

Fig. 5. Preparation of holes: a) unfilled holes; b) filled with putty; c) the view after repainting

3.3. Wyniki pomiarów

Zarówno próbkę I jak i II poddano działaniu wymuszenia w postaci fali cieplnej generowanej przez lampę halogenową. Przeprowadzono szereg pomiarów, których celem było dobranie optymalnych parametrów wymuszenia tzn. intensywności, czasu trwania, a także ułożenia źródła ciepła względem analizowanej powierzchni. Uwzględniono ponadto wpływ czasu rejestracji odpowiedzi badanego elementu. Przykładowe rezultaty przedstawiono w postaci map określonych parametrów przetworzonych sygnałów (Rys. 6).



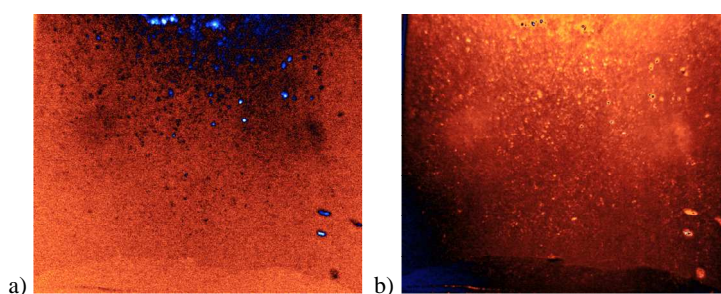
Rys. 6. Próbkę I - mapa wartości współczynników wielomianu aproksymującego dla różnych czasów trwania wymuszenia i rejestracji odpowiedzi odpowiednio: a) 2 i 3 sekundy; b) 6 i 10 sekund; c) 15 i 20 sekund

Fig. 6. Sample I – map of approximation polynomial coefficients for excitation and response measurement time respectively: a) 2 I 3 seconds; b) 6 i 10 seconds; c) 15 I 20 seconds

Można zauważyć, iż niezależnie od czasu trwania wymuszenia oraz czasu rejestracji odpowiedzi próbki widoczne są zarówno zaburzenia powierzchniowe, to jest ubytki materiału na powierzchni próbki, jak i zabrudzenie klejem (w dolnej części próbki). Ponadto widoczna jest lokalizacja zamontowanych po prze-

ciwnej stronie trzpieni stalowych. O ile w przypadku zaburzeń powierzchniowych wydłużenie czasu badania nie miało wyraźnego wpływu na jego wynik, o tyle w przypadku problemu lokalizacji trzpieni najdłuższy czas nagrzewania i rejestracji pozwolił uzyskać zdecydowanie lepszy rezultat.

Pomiary wykonano również dla innych rodzajów technik termografii aktywnej, tj. *pulsed-phase* oraz *lock-in*. Wybrane wyniki przedstawiają mapy na Rys. 7. Również w tym przypadku możliwe jest wskazanie lokalizacji defektów powierzchniowych. Mniej widoczne są natomiast strefy odpowiadające lokalizacji pozostałościom trzpieni.

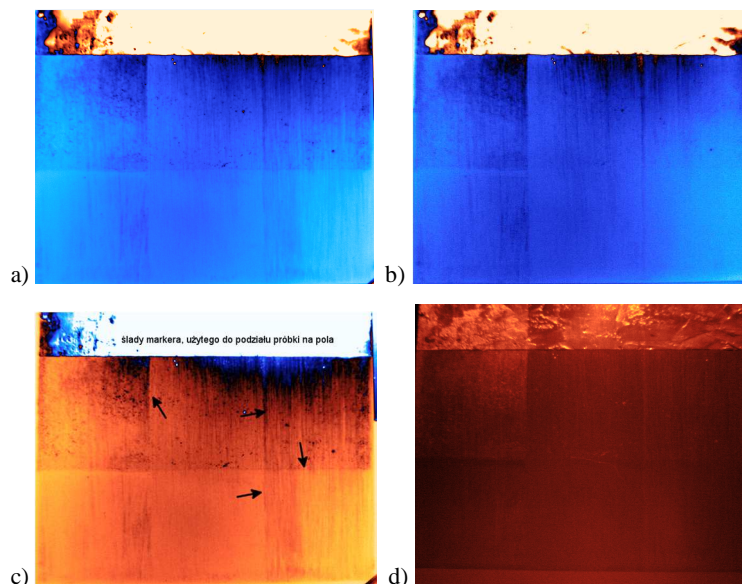


Rys. 7. Próbkę I: a) mapa wartości współczynnika wielomianu aproksymującego st. 3, wymuszenie metodą *pulsed-phase*; b) mapa wartości amplitudy fali, wymuszenie metodą *lock-in*

Fig. 7. Sample I: a) map of approximation 3 rd degree polynomial coefficient, excitation *pulsed-phase* method; b) map of wave amplitude value, excitation *lock-in* method

Rezultaty uzyskane w wyniku analizy próbki II przedstawia Rys. 8. W pierwszym etapie celem badań było uzyskanie informacji dotyczących stanu powłoki malarskiej – sposobu przygotowania podłoża (oczyszczone, nieoczyszczone, pokryte masą szpachlową) oraz liczby warstw (1, 2, 3 warstwy).

Uzyskane wizualizacje pozwalają stwierdzić, że na podstawie odpowiedzi termicznej próbki, możliwa jest ocena stanu jej powierzchni. Bezspornie, wskazanie obszaru pokrytego masą szpachlową nie stanowi problemu. Trudniej jest natomiast zróżnicować obszary próbki z oczyszczoną i nieoczyszczoną powierzchnią, jest to jednak możliwe. Również rozróżnienie pomiędzy powierzchnią z pojedynczą warstwą lakieru (lewy pas próbki) jest jak najbardziej możliwe. Natomiast bardzo trudnym jest rozdzielenie powierzchni z podwójną i potrójną warstwą lakieru.

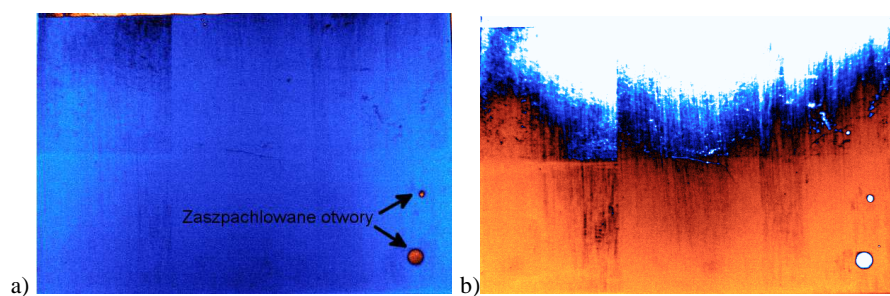


Rys. 8. Próbką II: mapa wartości współczynnika wielomianu aproksymującego: a) st. 3; b) st. 4; c) mapa wartości drugiej pochodnej w wybranej chwili czasu; d) mapa wartości amplitudy fali, wymuszenie metodą lock-in

Fig. 8. Sample I: a) map of approximation 3 rd degree polynomial coefficient, excitation pulsed-phase method; b) map of wave amplitude value, excitation lock-in method

W drugim etapie badań próbki II podjęto próbę zlokalizowania wcześniej przygotowanych otworów (Rys. 5). W tym celu zastosowano wymuszenie termiczne w postaci fali cieplnej generowanej przez lampę halogenową.

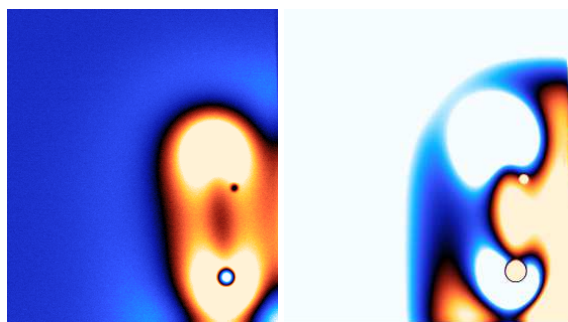
Jak widać na Rys. 9, wskazanie położenia otworów niewidocznych gołym okiem nie stanowi większego problemu. Oczywiście mając na uwadze znaczne różnice w charakterystykach termicznych stali i masy szpachlowej, jest wynik, którego można było się spodziewać.



Rys. 9. Lokalizacja otworów: a) mapa współczynnika wielomianu aproksymującego st.3; b) mapa wartości amplitudy fali, wymuszenie metoda lock-in

Fig. 9. Holes localization: a) map of approximation 3 rd degree polynomial coefficient; b) map of wave amplitude value, excitation lock-in method

W kolejnym doświadczeniu fala cieplna wzbudzona została przy użyciu generatora prądów wirowych. Odpowiedzi zarejestrowane na różnych etapach doświadczenia próbki pokazano na Rys. 10. Podobnie jak, w poprzednim teście, wskazanie lokalizacji otworów nie stanowi problemu. Zgodnie z oczekiwaniami, w przeciwieństwie do stalowej blachy, oddziaływanie prądów wirowych na masę szpachlową nie spowodowało powstania ciepła.



Rys. 10. Lokalizacja otworów, odpowiedź próbki na wzbudzenie prądami wirowymi (różne etapy badania)

Fig. 10. Holes localization, sample response to eddy currents excitation (various measurement stages)

4. Wnioski

Przeprowadzone badania laboratoryjne potwierdziły skuteczność termografii aktywnej w analizie stanu powierzchni elementów stalowych. Możliwe jest, nie tylko wskazanie obszarów z występującą pod powłoką malarską korozją, lecz również uzyskanie informacji na temat grubości samej powłoki. Należy zauważyć, iż analizowana próbka charakteryzowała się niewielkim stopniem korozji, można zatem wnioskować, iż wykrycie poważnie skorodowanych stref konstrukcji nie powinno stanowić problemu.

Trzeba jednak zwrócić uwagę na pewne trudności, dotyczące właściwego doboru techniki oraz parametrów wymuszenia. Uzyskanie wiarygodnej diagnozy wymaga doświadczenia w pomiarach i analizach materiałów i defektów określonego rodzaju.

Zastosowana metoda pomiarowa stanowi alternatywę dla technik wykorzystywanych dotychczas w badaniach elementów stalowych i może być z sukcesem wykorzystywana w rzeczywistych pomiarach prowadzonych w ramach badań naukowych oraz ekspertyz i raportów komercyjnych.

Literatura

- [1] Możaryn, T., Bobryk, H., Wójtowicz, M.: Wymagania techniczne utrzymania konstrukcji stalowych w kontekście ochrony przed korozją, *Materiały Budowlane*, nr 9, 2012, 84-85.

- [2] Majewska K., Mieloszyk M., Ostachowicz W.: Glass fibre composite elements with embedded fibre Bragg grating sensors inspected by thermography techniques, e-journal of NDT, ISSN 1435-4934, 2016.
- [3] Jurek M., Majewska K., Mieloszyk M., Ostachowicz W., Ziemiański L.: Analiza połączenia płyta GFRP – usztywnienie z wykorzystaniem wibrotermografii, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA, z. 64 (2/1/2017), pp. 271-280. DOI:10.7862/rb.2017.71.
- [4] Meola C., Carlomagno G. M., Valentino M. and Bonavolontà C.: Non destructive evaluation of impact damage in CFRP with infrared thermography and squid, 2nd International Conference on Buckling and Postbuckling Behaviour of Composite Laminated Shell Structures, 2008, Germany.
- [5] Maierhofer Ch., Arndt R., Röllig M., Rieck C., Walther A., Scheel H., Hillemeier B.: Application of impulse-thermography for non-destructive assessment of concrete structures, Cement and Concrete Composites, vol.28, no. 4, 2006, pp. 393-401.
- [6] Noszczyk P., Nowak H.: Termografia aktywna jako nowoczesna metoda badań elementów żelbetowych, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA, z. 63 (3/2016), pp. 279-286. DOI:10.7862/rb.2016.211.
- [7] Vollmer M., Möllman K.-P.: Infrared Thermal Imaging, Wiley-Vch, 2010.
- [8] Uhl T.: Termografia dynamiczna jako narzędzie diagnostyki konstrukcji, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska, z. 45 (243), 2007, pp. 157-171.

APPLICATION OF ACTIVE THERMOGRAPHY IN STEEL ELEMENT SURFACE TESTING

Summary

The commonality of steel as a structural material, with its simultaneous corrosion susceptibility, require the development and application of diagnostic methods and procedures to detect and locate corrosion at the earliest stage.. Apart from a number of well known and effective non-destructive testing (NDT) such as ultrasound, penetration method or visual assessment, active thermography is becoming increasingly popular. The paper presents the results of laboratory tests aimed at determining the effectiveness of the active thermography method in the detection and localization of corrosion and other defects in the surface of steel elements. Measurements were made on laboratory specimens in the form of sheet steel, both unpainted and covered with varied coatings. A number of defects in form of corrosion, holes filled, pitting, dirt with epoxy adhesive were analyzed. The measurements were made using the halogen lamp and the eddy currents generator. Varies times of excitation and measurements were analyzed. Recorded sequences of thermograms were processed by assigning approximation functions with different parameters. The obtained results are presented in the form of maps of values, certain approximation coefficients.

Keywords: non destructive testing, active thermography, steel structures, corrosion

Przesłano do redakcji: 20.09.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Galina KALDA¹
Anna RAJCHEL²

ANALIZA STANU GOSPODARKI ODPADAMI W POWIECIE LESKO

W artykule zaprezentowano analizę stanu gospodarki odpadami w powiecie Lesko województwa podkarpackiego. Przeanalizowano gospodarkę odpadami komunalnymi na poziomie gminnym, a także gospodarkę odpadami przemysłowymi i medycznymi wytwarzanymi na terenie omawianego powiatu. Pokazano, że w przeciągu ostatnich 5 lat powstało około 117-125 mln Mg odpadów przemysłowych, z których około 72% zostało poddane odzyskowi; około 26% zostało unieszkodliwione; około 2% zmagazynowano. Produkcja mniejszych ilości odpadów komunalnych przez mieszkańców powiatu może być spowodowana większą świadomością ekologiczną mieszkańców poprzez wykorzystywanie materiałów wielokrotnego użytku. Prawdopodobnie może mieć to również związek ze zużyciem odpadów do ogrzewania poprzez spalanie ich w gospodarstwach domowych. Zjawisku temu sprzyja konieczność segregacji odpadów przez mieszkańców. Zmniejszenie ilości odpadów może być związane ze zmniejszającą się liczbą mieszkańców powiatu. Zauważalne są zmiany w ilości wyprodukowanych odpadów na terenie gminy, a także zmiany w składzie odpadów. Ilość odpadów stale spada, natomiast zawartość odpadów segregowanych w strumieniu odpadów komunalnych stale wzrasta. W powiecie zauważono wprowadzenie zorganizowanego systemu zbiórki odpadów, obejmującego wszystkich mieszkańców poszczególnych gmin; spadek ilości wytwarzanych odpadów komunalnych; wzrost ilości odpadów zbieranych w sposób selektywny w stosunku do łącznej masy odpadów. Utworzono punkty zbiórki przeterminowanych leków oraz odpadów elektrycznych i elektronicznych. Zauważono wysoki poziom uświadomienia pracowników zakładów w Lesku w sprawie segregacji odpadów medycznych poprzez jasną instrukcję postępowania z odpadami.

Słowa kluczowe: analiza, gospodarka, powiat, odpady, ochrona

1. Wprowadzenie

Gospodarowanie odpadami komunalnymi w Polsce stało się jednym z priorytetowych zadań samorządów terytorialnych. W parze z tym idą szybki rozwój technik i technologii unieszkodliwiania odpadów oraz nowe regulacje prawne.

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Galina Kalda, Politechnika Rzeszowska, 35-959 Rzeszów, al. Powstańców Warszawy 12, tel. +48 17 8651068, kaldagal@prz.edu.pl

² Anna Rajchel, Pratt Whitney AeroPower Rzeszów

Powstawanie odpadów powinno być ograniczane lub całkowicie eliminowane przez wytwarzającego odpady i ich odbiorców, bez względu na ilość i miejsce powstawania, a także stopień uciążliwości.

Aktualnie w Polsce rocznie powstaje około 120 mln Mg odpadów przemysłowych. Problem zagospodarowania tych odpadów należy zaliczyć do bardzo istotnych, ale jednocześnie trudnych, których jak dotąd w całości nie udało się rozwiązać w Polsce.

Obecnie racjonalna gospodarka odpadami jest niezbędnym warunkiem zrównoważonego rozwoju każdej społeczności. Najnowocześniejsze rozwiązania racjonalnej gospodarki odpadami muszą spełniać fundamentalne wymogi zgodności z zasadami ochrony środowiska, a także zgodności z zasadami gospodarki materiałowej [16].

W artykule wykonano analizę gospodarki odpadami w powiecie Lesko, gdzie zostanie przeanalizowana gospodarka odpadami komunalnymi na poziomie gminnym, a także gospodarka odpadami przemysłowymi i medycznymi wytwarzanymi na terenie omawianego powiatu.

2. Charakterystyka odpadów

2.1. Odpady komunalne

Za odpady komunalne przyjmuje się odpady powstające w gospodarstwach domowych, obiektach infrastruktury, np.: usługi i rzemiosło, handel, targowiska, obiekty turystyczne i szkolnictwo.

Odpady komunalne charakteryzują się dużym zróżnicowaniem pod względem składu chemicznego i fizycznego. W ich skład wchodzi mieszanina różnorodnych rodzajów odpadów. Skład ich jest zmienny i najczęściej jest uzależniony od [1-3]:

- terenu powstawania odpadów (tereny miejskie lub wiejskie) – wiąże się to z możliwością zagospodarowania niektórych frakcji odpadów, w szczególności frakcji organicznej;
- wyposażenia budynków w urządzenia sanitarno-techniczne – sposób ogrzewania;
- rodzaju zabudowy i gęstość infrastruktury;
- zamożności mieszkańców – związane jest to z poziomem konsumpcji;
- wysokości opłat za wywóz odpadów;
- pory roku;
- świadomości ekologicznej mieszkańców – świadome wielokrotne użycie opakowań, a także selektywna zbiórka poszczególnych frakcji odpadów;
- struktury wiekowej społeczeństwa;
- sektora zatrudnienia.

Prawo ochrony środowiska stawia wzrastające wymagania, które prowadzą do ustalenia odpowiedniej ścieżki postępowania z odpadami. Posiadanie wiedzy na

temat składu i właściwości odpadów jest konieczne, aby zastosować prawidłowe technologie unieszkodliwiania odpadów. Niezbędnych informacji dostarcza analiza odpadów [4]. Zakres badań obejmuje cztery grupy wskaźników [2]:

- ilościowe nagromadzenie odpadów (wskaźnik nagromadzenia odpadów: objętościowy, wagowy i nierównomierności nagromadzenia);
- właściwości fizyczne (ciężar objętościowy, analiza sitowa, skład grupowy);
- właściwości nawozowe (zawartość substancji organicznej, azotu, węgla, fosforu, potasu, metali ciężkich);
- właściwości paliwowe (zawartość wody, części palnych, części niepalnych, części lotnych, wartość opałowa, ciepło spalania, składniki agresywne, skład elementarny części palnych).

2.2. Odpady przemysłowe

Pozostałości po procesach przemysłowych nazywamy odpadami przemysłowymi. Należą do nich między innymi [5]: żużle, popioły, fosfogipsy, pozostałości destylacyjne, odpady z przemysłu energetycznego, wydobywczego, chemicznego, motoryzacyjnego, hutniczego.

Skład i ilość odpadów przemysłowych można ocenić na podstawie rodzaju produkcji bądź profilu danej gałęzi przemysłu. Największa ilość odpadów powstaje podczas wydobycia i uzdatniania kopalin [2].

W 2014 roku zostało wytworzone około 121 mln Mg odpadów przemysłowych, z czego około 58% masy powstało w przemyśle wydobywczym, a w energetycznym około 23% z całości masy wyprodukowanych odpadów [5]. W 2014 roku na składowiskach zalegało 1,7 mld ton odpadów przemysłowych. W przeciągu ostatnich 5 lat powstało około 117-125 mln Mg odpadów przemysłowych, z których około 72% zostało poddane odzyskowi; około 26% zostało unieszkodliwione; około 2% zmagazynowano [2].

2.3. Odpady niebezpieczne

Odpady niebezpieczne stanowią odrębną grupę odpadów przemysłowych. Właściwości powodujące, że odpady są odpadami niebezpiecznymi, określa załącznik nr 3 do ustawy [6].

Odpady niebezpieczne mogą pochodzić z zakładów przemysłowych, gospodarstw domowych, rolnictwa, służby zdrowia, transportu oraz laboratoriów badawczych, są to także wybrane frakcje odpadów komunalnych. Bezpieczne unieszkodliwianie odpadów niebezpiecznych jest podstawowym krokiem do eliminacji zagrożeń, jakie stwarzają.

Głównym zadaniem systemu gospodarki odpadami niebezpiecznymi jest wykorzystanie ich w taki sposób, aby zapewnić ochronę środowiska. Stopień ochrony środowiska jest uzależniony od warunków społeczno-gospodarczych w danym regionie i w całym kraju.

2.4. Odpady medyczne

Odpady medyczne znajdują się w grupie odpadów niebezpiecznych. Mają one specyficzne własności oraz w odmienny sposób stwarzają zagrożenie dla środowiska [7].

Odpady medyczne są to substancje ciekłe, stałe lub gazowe, które zostały wytworzone w związku z działalnością leczniczą. Do miejsc powstawania odpadów zalicza się obiekty lecznictwa otwartego, zamkniętego, kliniki, obiekty badawcze oraz eksperymentujące na organizmach żywych, instytuty, czy też lecznice zwierząt i punkty weterynaryjne [6].

Odpady medyczne są problemem dla środowiska naturalnego ze względu na:

- 1) niebezpieczeństwo infekcyjne wszystkich rodzajów odpadów, które wchodzi w skład specyficznych odpadów medycznych;
- 2) obecność niebezpiecznych substancji chemicznych, które pochodzą z przeterminowanych lub niezutytych odczynników chemicznych i leków;
- 3) występowanie tkanki i konieczność właściwego postępowania przez jej spalenie bądź grzebanie [8].

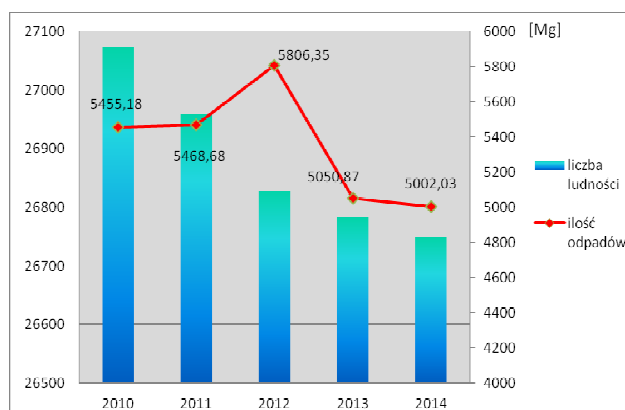
Odpady medyczne specjalne stanowią odrębną grupę odpadów. W ich skład wchodzi: odpadowe środki lecznicze zawierające metale ciężkie (kadm, selen, cynk, ołów, rtęć); cytostatyki; środki dezynfekcyjne; opakowania zawierające resztki substancji szkodliwych. Należy zwrócić uwagę na odpady szklane i ceramiczne, które zostały skażone substancjami toksycznymi i niebezpiecznymi [7].

3. Odpady komunalne powstałe na terenie powiatu Leskiego

Na terenie powiatu leskiego w latach 2010-2014 nastąpiła redukcja ilości zbieranych odpadów komunalnych w ciągu roku.

W 2010 r. zostało zebranych 5455,18 Mg odpadów komunalnych, natomiast w 2014 r. ilość odpadów wynosiła 5002,03 Mg. Spadek ilości odpadów, zanotowany w ciągu 5 lat, wynosi 9,04 % w stosunku do całkowitej masy odpadów komunalnych. Jedynie w 2012 r. zanotowano wyraźny wzrost ilości wytworzonych odpadów komunalnych, było to aż 5806,68 Mg. W latach 2013 i 2014 można zaobserwować wyraźny spadek ilości odpadów.

Produkcja mniejszych ilości odpadów komunalnych przez mieszkańców powiatu może być spowodowana większą świadomością ekologiczną mieszkańców poprzez wykorzystywanie materiałów wielokrotnego użytku. Prawdopodobnie może mieć to również związek ze zużyciem odpadów do ogrzewania, poprzez spalanie ich w gospodarstwach domowych. Zjawisku temu sprzyja konieczność segregacji odpadów przez mieszkańców. Zmniejszenie ilości odpadów może być związane ze zmniejszającą się liczbą mieszkańców powiatu. Zależność tę przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Ilość odpadów komunalnych wytworzonych w latach 2010-2014 w powiecie leskim na tle zmian liczby ludności, na podst. [9, 10]

Fig. 1. The amount of municipal waste produced between 2010-2014 in Lesko county against the background of changing number of residents, based on [9, 10]

Jak wynika z rys. 1, ilość wyprodukowanych odpadów jest zależna od liczby mieszkańców powiatu. Liczba ludności permanentnie spada oraz ilość wytworzonych odpadów komunalnych w ciągu 5 lat spada, jednakże w 2012 r. wystąpiła znaczna anomalia analizowanego zjawiska. Mimo spadającej liczby ludności, nastąpił wzrost ilości odpadów komunalnych do wartości 5806,35 Mg. Ilość odpadów w porównaniu do 2011 r. wzrosła o 337,67 Mg, a następnie w 2013 r. zmalała o wartość 755,48 Mg, co daje 13% spadek ilości odpadów.

Odpady komunalne, zebrane z terenu Gminy Lesko, są wywożone do Stacji Segregacji Odpadów w Ustrzykach Dolnych, dotyczy to odpadów zmieszanych, tworzyw sztucznych, odpadów wielkogabarytowych oraz biodegradowalnych. Natomiast odpady takie, jak słuźczka szklana, makulatura i folia, elektroodpady oraz opony są sprzedawane przez LPK Sp. z o.o. firmom prywatnym. Zebrany gruz jest wykorzystywany na użytek własny przedsiębiorstwa, np. do utwardzania dróg i parkingów.

Dodatkowo odpady segregowane można oddawać do Gminnego Punktu Selektywnej Zbiórki Odpadów Komunalnych, który mieści się w Lesku. W PSZOK odpady przyjmowane są w każdej ilości i usługa ta jest nieodpłatna. Odpady, jakie można oddawać, to zużyte opony, zużyty sprzęt elektroniczny i elektryczny, zużyte baterie i akumulatory, odpady biodegradowalne, chemikalia, a także odpady niebezpieczne, które zostały wydzielone ze strumienia odpadów komunalnych. Zbiórka przeterminowanych leków, które są też odpadami niebezpiecznymi, organizowana jest we wszystkich aptekach na terenie Gminy [9].

W latach 2010-2014 zauważalne są zmiany w ilości wyprodukowanych odpadów na terenie Gminy, a także zmiany w składzie odpadów. Ilość odpadów stale spada, natomiast zawartość odpadów segregowanych w strumieniu odpadów

Tabela 1. Odpady komunalne zebrane w Gminie Lesko w latach 2010-2014

Table 1. The municipal waste collected In Lesko commune between 2010-2014

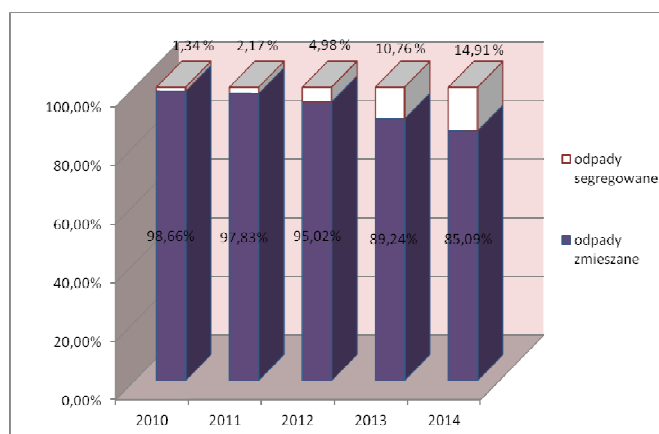
Łączna ilość zebranych odpadów [Mg]	2010	2011	2012	2013	2014
		2576,53	2475,38	2390,68	2157,59
Odpady segregowane [Mg]	34,4	53,71	119,01	232,08	312,86

komunalnych stale wzrasta. Tabela 1 obrazuje zmiany ilości odpadów komunalnych, włącznie z odpadami zbieranymi selektywnie.

Łączna ilość odpadów komunalnych, zebranych w latach 2010-2014, stale się zmniejsza. W 2010 r. zostało wytworzone 2576,53 Mg odpadów komunalnych, natomiast w 2014 r. było 2098,56 Mg. Procentowa wartość ilości wytworzonych odpadów spadła o 18,6% w porównaniu do 2010 roku. Jest to bardzo pozytywna prognoza na kolejne lata. Zmniejszona ilość zebranych odpadów może być spowodowana zmniejszającą się liczbą mieszkańców w Gminie Lesko, a także większą świadomością ekologiczną mieszkańców. Mniejsza ilość wytwarzanych odpadów, a zarazem większa ilość odpadów zbieranych selektywnie jest dowodem na to, że mieszkańcy wywiązują się z podpisanych z LPK Sp. z o.o. umów i świadomie wybierają opakowania wielokrotnego użytku.

Również odpady zbierane selektywnie stanowią coraz większą część łącznej masy odpadów komunalnych. Od 2010 r. do 2014 r. ilość tych odpadów wzrosła prawie 10-krotnie. Dokładnie zostało to zobrazowane na rys. 2.

Dane, przedstawione na rys. 2, pokazują, że ilość odpadów segregowanych z roku na rok wzrasta. Przy zmniejszającej się łącznej liczbie odpadów stanowi to podstawę do pozytywnych prognoz na kolejne lata. W roku 2010 było to zaledwie 1,34% łącznej ilości odpadów komunalnych. Liczba ta stale się zwiększała, nato-



Rys. 2. Procentowy udział odpadów segregowanych w całkowitej ilości odpadów komunalnych

Fig. 2. The percentage of segregated waste in proportion to total amount of municipal waste

miast w 2013 r. nastąpił wyraźny wzrost i było to 10,76%. W 2014 r. selektywnie zostało zebranych aż 312,86 Mg odpadów.

Od roku 2012 zmieniła się także frakcja odpadów zbieranych selektywnie, obecnie są to odpady zmieszane, szkło, tworzywa sztuczne, makulatura.

4. Odpady przemysłowe powstałe na terenie powiatu Leskiego

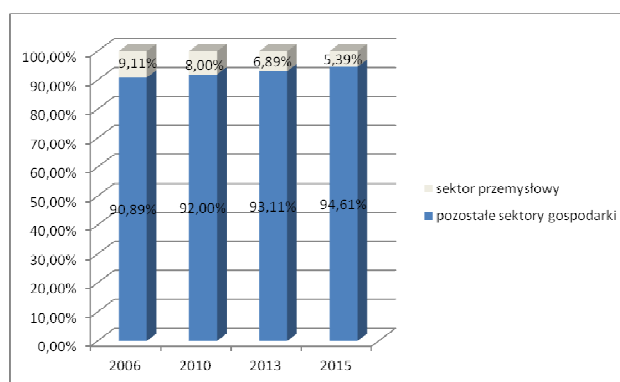
W 2015 r. zarejestrowanych podmiotów gospodarki narodowej w sektorze przemysłowym było 158, o 70 podmiotów mniej, niż w 2006 r. (rys. 3).

Na rys. 4 przedstawiono procentowy udział sektora przemysłowego w ogólnej ilości podmiotów gospodarczych w wybranych latach w powiecie leskim.



Rys. 3. Zmiana ilości podmiotów gospodarki narodowej w sektorze przemysłowym na przestrzeni lat 2006-2015 (opracowanie własne, na podstawie [10])

Fig. 3. The change in amount of subjects national management in industry sector over the years 2006-2015 (own elaboration based on [10])



Rys. 4. Udział sektora przemysłowego w ogólnej ilości podmiotów gospodarczych w wybranych latach (opracowanie własne, na podstawie [11-13])

Fig. 4. Part of industrial sector in general quantity of economical branches in chosen year (own elaboration based on [11,12,14,15])

Odpady przemysłowe stanowią największy strumień odpadów wyprodukowanych w województwie podkarpackim. Ilości odpadów przemysłowych wytworzonych w województwie podkarpackim i powiecie leskim zostały przedstawione w tabeli 2.

Tabela 2. Ilość odpadów przemysłowych wytworzonych w latach 2010-2013 (opracowanie własne, na podstawie [11,12,14,15])

Table 2. The amount of industrial waste produced between 2010-2013 (own elaboration based on [11,12,14,15])

Ilość odpadów [tys. Mg]	2010	2011	2012	2013
powiat leski	2,0	2,0	1,8	1,6
województwo podkarpackie	1049,5	2093,7	1439,1	1649,5

W 2013 r. w województwie wytworzono 1649,5 tys. Mg odpadów. Liczba ta w porównaniu do 2012 r. zwiększyła się o 12,8%. Największy zauważalny skok ilości wyprodukowanych odpadów miał miejsce w 2011 r., gdzie liczba odpadów zwiększyła się dwukrotnie w porównaniu do roku ubiegłego.

Odpady przemysłowe, wytwarzane na terenie powiatu leskiego, stanowią niewielki procent łącznej ilości odpadów w województwie. W 2013 r. zostało wytworzone 1,6 tys. Mg odpadów i jest to 0,97% odpadów w województwie. W latach 2010-2013 ilość odpadów z sektora przemysłowego na terenie powiatu leskiego spadała od wartości 2,0 tys. Mg do 1,6 tys. Mg. Jest to spadek o 20%.

Do najważniejszych strumieni odpadów przemysłowych powstających na terenie powiatu leskiego należy zaliczyć:

- *Odpady z przemysłu chemicznego.* Są to odpady z produkcji, przygotowania, obrotu i stosowania powłok ochronnych (lakierów, farb, emalii), kitu, farb drukarskich. Odpady z tej grupy powstają w miejscach takich, jak zakłady lakiernicze, blacharskie, zakłady produkujące sztalugi podobrazia oraz w zakładach meblarskich. Charakteryzują się dużą toksycznością i łatwopalnością. Biorąc pod uwagę różnorodność branż wytwarzających ten rodzaj odpadów, trudne jest dokładne określenie ilości powstających odpadów. Wytwórcy odpadów tej grupy przekazują je firmom zajmującym się unieszkodliwianiem odpadów i posiadającym odpowiednie do tego celu instalacje. Do największych wytwórców tej grupy odpadów na terenie powiatu zaliczany jest „TALENS POLSKA” Sp. z o.o. w Lesku.
- *Odpady z przemysłu rolno-spożywczego.* Są to odpady pochodzące z zakładów przetwórstwa mięsnego oraz z ubojni owiec i kóz, znajdujących się na terenie powiatu. W grupie tych odpadów wyróżnia się odpadową tkankę zwierzęcą, odchody zwierzęce oraz odpady pochodzenia zwierzęcego posiadające właściwości niebezpieczne. Zostały one podzielone na odpady niskiego ryzyka (LRM), odpady wysokiego ryzyka (HRM) oraz odpady szczególnego ryzyka (SRM). Źródłem powstawania tej frakcji odpadów są Ubojnia Owiec i Kóz „POŁONINA” Sp. z o.o. w Lesku i Masarnia „MARAK” w Średniej Wsi.

- *Odpady z przemysłu piekarniczego i cukierniczego.* Są to surowce i produkty nieprzydatne do spożycia i przetwórstwa, odpady z konserwantów oraz nieprzydatne do wykorzystania tłuszcze spożywcze. Odpady z tej grupy powstają w piekarniach i cukierniach. Dużym zakładem wytwarzającym odpady z tej gałęzi przemysłu jest Piekarnia-Cukiernia „SZELCÓW” w Lesku.
- *Odpady z przemysłu drzewnego i papierniczego.* Są to odpady z przetwórstwa drewna oraz z produkcji płyt i mebli, masy celulozowej, papieru i tektury, źródłem ich powstawania są tartaki, zakłady stolarskie i meblarskie, a także zakłady przetwórstwa drzewnego. Największy udział w łącznej masie odpadów mają kawałki drewna, ścinki, wióry i trociny. Około 80% tych odpadów poddawane jest odzyskowi, są to cele energetyczne na terenach zakładów wytwarzających odpady bądź są oddawane osobom prywatnym na ich potrzeby własne. Na terenie powiatu istnieje kilka większych zakładów przetwarzających drewno, głównie są to tartaki oraz zakład produkujący sztalugi i podobrazia. Należą do nich Przedsiębiorstwo Przemysłu Drzewnego Sp. z o.o. w Łukawicy; Zakład Drzewny „KORA” Sp. z o.o. w Olszanicy i „TALENS POLSKA” Sp. z o.o. w Lesku.
- *Odpady z przemysłu remontowo-budowlanego.* Są to odpady z budowy, remontów i demontażu obiektów budowlanych. Pod względem składu jest to głównie beton i gruz. Materiały te są często przekazywane osobom prywatnym do wykorzystania w ich własnym zakresie. Do tego rodzaju odpadów zalicza się również odpady drewna, tworzyw sztucznych czy szkła, a także stopy metali i złom. Na terenie powiatu najlepiej rozwija się rynek odzysku stopów metali i złomów metalicznych. Działają dwa punkty skupu tego typu surowców wtórnych. Do większych zakładów remontowo-budowlanych na terenie powiatu zalicza się „PROHANBUD” Sp. z o.o. w Uhercach; „DARJAN” Sp. z o.o. w Hoczwi i Przedsiębiorstwo Budowlane „ORLEF” w Lesku.

Zmniejszająca się ilość odpadów przemysłowych na terenie powiatu wiąże się ze zmianami w gospodarce. Coraz większy udział tworzeniu gospodarki powiatu mają usługi oraz handel, a najmniejszą skalę przemysł.

5. Odpady medyczne powstałe na terenie powiatu Leskiego

Na podstawie Uchwały Nr LI/247/55 z dnia 01.12.1955 r. Prezydium Powiatowej Rady Narodowej w Lesku został utworzony Szpital Powiatowy w Lesku. Wydział Zdrowia P.P.R.N. w Lesku został zobligowany do uruchomienia Izby Chorych w Lesku.

Na terenie powiatów leskiego i bieszczadzkiego znajdują się dwie placówki szpitalne. Szpital w Lesku świadczy usługi medyczne na terenie całego powiatu leskiego. Drugi ze szpitali znajduje się w Ustrzykach Dolnych w powiecie bieszczadzkim. W sezonie letnim oraz zimowym w Bieszczadach pojawia się zwiększona liczba turystów. W okresach największego napływu turystów na tereny bieszczadzkie, na terenie działania SP ZOZ w Lesku przebywa dziennie nawet 40 000 osób. Wiąże się to z ogromną liczbą wytwarzanych odpadów medycznych.

Samodzielny Publiczny Zespół Opieki Zdrowotnej w Lesku podpisał umowę z Firmą Usługowo-Handlowa „EKO-TOP” Sp. z o.o., której zadaniem jest zbiórka, obróbką, usuwanie i unieszkodliwianie odpadów medycznych wyprodukowanych przez SP ZOZ w Lesku.

Na każdym oddziale oraz w każdej komórce organizacyjnej SP ZOZ w Lesku prowadzi się segregację odpadów medycznych. Wszystkie worki i pojemniki jednorazowego użycia muszą być widocznie oznakowane, w celu łatwego rozpoznania rodzaju odpadów w nich zawartych. Oznaczenie zawiera: kod odpadów; datę zamknięcia; nazwę zakładu, który wytworzył odpady [17].

Odpady medyczne zakaźne

Do odpadów medycznych zakaźnych wytwarzanych przez SP ZOZ w Lesku zalicza się odpady o kodach:

- 18 01 02 – części ciała i organy oraz pojemniki na krew i konserwanty, które służą do jej przechowywania;
- 18 01 03 – materiał zakaźny zainfekowany, na przykład opatrunki, podpaski, sprzęt jednorazowy, pieluchomajtki itp.

Odpady te umieszcza się w pojemnikach pedałowych, w których jest wyłożony worek nieprzezroczysty, w kolorze czerwonym, którego krawędź jest wywinięta na około 20 cm. Natomiast odpady z grupy 18 01 03, które mają ostre krawędzie, przykładowo igły, obligatoryjnie muszą być umieszczone w odpornych na przekłucie pojemnikach jednorazowego użytku.

Wypełnienie worka powinno wynosić do 2/3 jego objętości i powinien być szczelnie zamknięty. Transportowany jest on do magazynu odpadów medycznych. Worki powinno się wymieniać na nowe nie rzadziej niż co 72 godziny, a także od razu po wypełnieniu.

Odpady medyczne specjalne

Do odpadów medycznych specjalnych wytwarzanych przez SP ZOZ w Lesku zalicza się odpady o kodach:

- 18 01 06 – chemikalia, a w tym chemiczne odczynniki, które zawierają substancje niebezpieczne;
- 18 01 08 – leki cytostatyczne oraz leki cytotoksyczne.

Odpady te umieszczane są również w pojemnikach pedałowych, wyłożonych workiem nieprzezroczystym, w żółtym kolorze, krawędź worka wywinięta jest na około 20 cm. Worki te są transportowane do magazynu wtedy, gdy napełnienie wynosi 2/3 jego objętości. Musi być on szczelnie zamknięty.

Odpady medyczne niezakaźne

Do odpadów medycznych niezakaźnych wytwarzanych przez SP ZOZ w Lesku zalicza się odpady o kodach:

- 18 01 01 – narzędzia zabiegowe i chirurgiczne oraz ich pozostałości;
- 18 01 04 – materiał medyczny niezakaźny, są to worki oraz butelki po płynach infuzyjnych, opakowania po lekach z wyłączeniem cytostatyków, ręczniki jednorazowe;

- 18 01 07 – chemikalia;
- 18 01 09 – leki, poza cytostatykami i cytotoksykami.

Odpady te są umieszczane w pojemnikach kubłach pedałowach, wyłożonych niebieskim workiem. Wszystkie te odpady są transportowane do kontenera, opisanego kodem 18 01 04. Transport następuje po napełnieniu worka do 2/3 jego objętości, następnie szczelnym zamknięciu albo zawiązaniu [6].

6. Miejsce i sposób magazynowania odpadów

Na terenie SP ZOZ w Lesku jest pomieszczenie, którego zadaniem jest magazynowanie odpadów niebezpiecznych, nim zostaną oddane do utylizacji, zabezpieczone przed dostępem owadów, gryzoni i innych zwierząt. Dezynfekcję ścian umożliwia zmywalny materiał, jakimi zostały wyłożone te ściany. Wejściem do pomieszczenia są dwuskrzydłowe drzwi bez progu, żeby umożliwić swobodne poruszanie się wózka transportującego odpady. W środku znajduje się boks z umieszczoną w nim zamrażarką (pojemność 180 litrów), waga oraz miejsce na składowanie świetlówek. W miejscu magazynowania odpadów mogą być przechowywane wyłącznie odpady medyczne zakaźne i specjalne, które są zbierane do worków w kolorach czerwonym i żółtym.

Odpady o kodach: 18 01 02, 18 01 04, 18 01 07, 18 01 09 mogą być magazynowane maksymalnie 30 dni, natomiast odpady medyczne o kodzie 18 01 02 magazynowane mogą być maksymalnie 72 godziny, w chłodni, w temperaturze nieprzekraczającej 10°C. Dodatkowo pojemniki po krwi oraz odczynnikach krwiopochodnych muszą być przechowywane w chłodziarce, przeznaczonej do tego celu.

Odpady o kodach 18 01 03 oraz 18 01 06 wymagają przechowywania i magazynowania w pomieszczeniu specjalnie do tego przygotowanym według następujących warunków:

- w temperaturze do 10°C – maksymalnie 30 dni;
- w temperaturze od 10°C do 18°C - maksymalnie 72 godziny.

Wymagania dotyczące worków i pojemników na odpady są dość jasne. Zabrania się ponownego ich otwierania, jeśli zostały już zamknięte, a jeżeli zostaną uszkodzone, należy w całości włożyć je w większy worek lub pojemnik.

Dezynfekcja i sprzątanie pojemników transportowych oraz wózków powinny być prowadzone zawsze po usunięciu z nich odpadów medycznych. Czynności te odbywają się w pomieszczeniu, które przeznaczone jest do dekontaminacji.

Wszyscy pracownicy, którzy zajmują się transportem odpadów medycznych, powinni mieć założoną odzież ochronną w czasie wykonywania swojej pracy, tj. fartuch i rękawice gospodarcze [6].

7. Podsumowanie

Z danych, przedstawionych w artykule, można stwierdzić, że system gospodarowania odpadami komunalnymi w powiecie leskim jest dobrze rozwinięty, jednakże w systemach gospodarowania odpadami przemysłowymi oraz medycznymi powinny zostać ulepszone poprzez wprowadzenie odpowiednich zmian.

W powiecie zauważono wprowadzenie zorganizowanego systemu zbiórki odpadów, obejmującego wszystkich mieszkańców poszczególnych gmin, spadek ilości wytwarzanych odpadów komunalnych, wzrost ilości odpadów zbieranych w sposób selektywny w stosunku do łącznej masy odpadów, utworzone punkty zbiórki przeterminowanych leków oraz odpadów elektrycznych i elektronicznych.

Zauważono spadek ilości wytwarzanych odpadów przemysłowych w porównaniu do poprzednich lat oraz wysoki poziom uświadomienia pracowników SP ZOZ w Lesku w sprawie segregacji odpadów medycznych poprzez jasną instrukcję postępowania z odpadami.

Literatura

- [1] Bilitewski B., Hardtle G., Marek K.: Podręcznik gospodarki odpadami. Teoria i praktyka, Wyd. Seidel-Przywecki Sp. z o.o., Warszawa, 2003.
- [2] Rosik-Dulewska Cz.: Podstawy gospodarki odpadami, Wyd. PWN, Warszawa, 2015.
- [3] Tałała J.A.: Gospodarowanie odpadami komunalnymi: wybrane zagadnienia T.1, Wyd. Politechniki Białostockiej, Białystok, 2008.
- [4] Koszelnik P.: Technologia utylizacji odpadów. Laboratorium, Wyd. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2013.
- [5] Baran S., Łabętowicz J., Krzywy E.: Przyrodnicze wykorzystanie odpadów. Podstawy teoretyczne i praktyczne, Wyd. Powszechne Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 2011.
- [6] Dz.U. z 2013r. poz.21, z późniejszymi zmianami; Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r.
- [7] Wandrasz J.W.: Gospodarka odpadami medycznymi, Wyd. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, Poznań, 2000.
- [8] Wielgosiński G.: Gospodarka odpadami medycznymi, Polska Akademia Nauk, Łódź, 2004.
- [9] Materiały udostępnione przez LPK Sp. z o.o. w Lesku, 2013.
- [10] Strona internetowa: www.stat.gov.pl, (kwiecień 2015 r.).
- [11] Raport o stanie środowiska w województwie podkarpackim w 2010 roku, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Rzeszów, 2011.
- [12] Raport o stanie środowiska w województwie podkarpackim w 2013 roku, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Rzeszów, 2014.
- [13] Strona internetowa: www.wios.rzeszow.pl, (maj 2015 r.).
- [14] Raport o stanie środowiska w województwie podkarpackim w 2011 roku, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Rzeszów, 2012.
- [15] Raport o stanie środowiska w województwie podkarpackim w 2012 roku, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Rzeszów, 2013.
- [16] Kalda G., Wilk, M. Analiza gospodarki odpadami przemysłowymi na terenie Podkarpacia, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil

Engineering, Environment and Architecture, JCEEA, 2014 z. 61, nr 4, s. 109-123.
DOI:10.7862/rb.2014.130.

[17] Materiały udostępnione przez SP ZOZ w Lesku, 2014.

ANALYSIS ON THE CONDITION OF WASTE MANAGEMENT IN THE LESKO COUNTY

S u m m a r y

The article presents the analysis on the condition of waste management in the Lesko county, the Podkarpackie voivodship. There is presented an examination of the municipal waste on the commune level, and also the industrial and medical waste production in the aforementioned county. It was shown that during the last 5 years there has been produced about 117-125 mln Mg of industrial waste, out of which approximately 72% was recycled, nearly 26% was incapacitated and about 2% was warehoused. It was scrutinized, that the lesser production of municipal waste might be caused by the increased level of ecological awareness among the residents, who use significantly more reusable materials. The usage of waste in the household might also be the cause, due to the fact that the refuse is frequently incinerated for sake of heating the building. What also favors mentioned phenomenon, is the introduced necessity of segregating the rubbish. What is more, the depletion of the amount of refuse might also be connected to decreasing number of residents. There are also various, visible shifts in the amount of produced waste in the commune area and changes in the refuse's components. The amount of waste is constantly decreasing, while the content of the segregated refuse in the flow of municipal waste is steadily increasing. The introduction of organized system of refuse collection, engaging all residents from the communes was remarked very quickly; there was visible diminish of municipal waste and the increment of the refuse collected selectively in proportion to combined quantity of waste. There were established special collection points for overdue medications, and also for electrical and electronic waste. Owing to clear instructions for refuse management, there was noticed a high level of waste segregation awareness among the employees of SPZOZ (Independent Public Complex of Health Care Facilities).

Keywords: analysis, management, county, waste, protection

Przesłano do redakcji: 15.12.2016 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Arkadiusz KAMPCZYK¹

POMIAR STRZAŁEK W TORZE ZWROTNYM ROZJAZDU PRZYKŁADNICĄ MAGNETYCZNO- -POMIAROWĄ

W artykule zawarto wyniki badań możliwości użycia autorskiej przykładnicy magnetyczno-pomiarowej w pomiarach strzałek na stałej cięciwie 14.0 m. Pomiar wykonano w torze zwrotnym rozjazdu zwyczajnego typu S60 – 1:9 – 300, kierunku lewego o promieniu $R_p=300$ m w trybie z linką pomiarową oraz z dalmierzem laserowym. Dokonano konfrontacji z wynikami pomiarów uzyskanych za pomocą przyrządu drutowego – strzałkomierza stosowanego przez Zespoły Diagnostyczne Nawierzchni i Podtorza Kolejowego oraz Geodezji Kolejowej w tego typu pomiarach. Badania przeprowadzono w odniesieniu do pomiarów strzałek montażowych i eksploatacyjnych. Pomiar strzałek na stałej cięciwie umożliwił sprawdzenie stanu krzywizny toru zwrotnego rozjazdu. Badania wykazały praktyczność i uniwersalność zastosowania przykładnicy, prowadzącego do poprawy jakości prac montażowych i eksploatacyjnych oraz aktualizowania dokumentacji technicznej. Wyniki pomiarów strzałek są elementem składowym badań technicznych rozjazdów, rejestrowanych w arkuszach uzupełniających pomiaru strzałek na stałej cięciwie. Pomiar wykazał, że dla strzałki teoretycznej krzywizna toru zwrotnego równa 82 mm w środkowej części łuku posiada strzałkę praktyczną 96 mm. Przekroczona jest ona w środkowej części łuku o 14 mm, co odpowiada promieniowi istniejącemu w eksploatacji $R_f=255$ m (teoretyczna wartość promienia wynosi $R_p=300$ m). Przykładnica zapewnia prowadzenie pomiarów 14 mm poniżej górnej powierzchni tocznej szyny, jak również do dolnej krawędzi główki szyny dla pomiarów wartości strzałek. W artykule przedstawiono autorskie spostrzeżenia i wnioski. Praca niniejsza została wykonana w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.150.005.

Słowa kluczowe: strzałkomierz, krzywizna w rozjazdach, strzałki łuku toru, rozjazd zwyczajny, przykładnica magnetyczno-pomiarowa, MMS, dalmierz laserowy

1. Wprowadzenie

Sprawdzenie stanu krzywizny w rozjazdach przeprowadza się z zastosowaniem metody pomiaru strzałek na stałej cięciwie o długości zależnej od typu roz-

¹ Arkadiusz Kampczyk, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Katedra Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: kampczyk@agh.edu.pl lub arkadiusz.kampczyk@gmail.com

jazdu. Pomiar strzałek wykonuje się za pomocą przyrządów pomiarowych zwanych strzałkomierzami lub z wykorzystaniem sprzętu geodezyjnego lub innego sprzętu dopuszczonego do stosowania przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Wyniki pomiarów strzałek są elementem składowym badań technicznych rozjazdów. J. Gocał w pracy Geodezja inżyniersko-przemysłowa, część II [3] w odniesieniu do torów kolejowych przedstawił pomiar strzałek z zastosowaniem:

- przyrządu drutowego (klocki drewniane oraz z uchwytami metalowymi);
- przyrządu optycznego;
- teodolitu.

Prace pomiarowe na czynnych rozjazdach, na których odbywa się ciągła eksploatacja taboru kolejowego (w tym przekładanie rozjazdów w tzw. drugie położenie), są utrudnione w zakresie zastosowania przyrządu optycznego oraz teodolitu. Pomiar strzałek z użyciem teodolitu są podatne na błędy pomiarowe ze względu na trudności w identyfikacji punktów pomiarowych określających wartości strzałek. W razie nagłej konieczności opuszczenia stanowiska pomiarowego z teodolitem z uwagi na przejeżdżający tabor kolejowy – wymagane jest ponowne: centrowanie, celowanie, przyłożenie łąty (podziałki milimetrowej) – które odbywa się w nieco inny sposób. Powstałe błędy pomiarowe mają charakter systematyczny. Jednocześnie potrzeba wielokrotnego i bardzo dokładnego centrowania teodolitu bardzo wydłuża czas pomiaru.

Z. Kędra w pracy [7] w rozdziale 10.1 pt. Montaż rozjazdów oraz H. Bałuch, J. Czubaczyński, S. Pelc w pracy pt. Montaż i wymiana rozjazdów [2] wskazują, że w praktyce możemy wyróżnić trzy rodzaje montażu rozjazdów kolejowych:

- terenowy;
- bazowy;
- bazowo-terenowy.

Bez względu na rodzaj montażu kolejność następujących po sobie czynności przy montowaniu rozjazdów tego samego rodzaju jest jednakowa [7]. Z. Kędra w pracy [7] oraz H. Bałuch, J. Czubaczyński, S. Pelc w pracy [2] stwierdzają, że dokładne ukształtowanie krzywizny toru zwrotnego jest jednym z najważniejszych warunków dobrego montażu rozjazdu, od niego bowiem zależy szybkość bocznego zużycia szyn, zmiana szerokości toru zwrotnego, zużycie podrozjazdnic i spokojność jazdy. Podczas montażu należy sprawdzić krzywiznę toru zwrotnego, posługując się dwiema metodami [7, 2]:

- współrzędnych prostokątnych (oparta na metodzie rzędnych i odciętych z_i, y_i);
- strzałek odmierzanych od nieruchomej cięciwy (x_i, f_i) . Pomiar strzałek opiera się na cięciwie wspartej o tok łukowy i jest pomiarem sprawdzającym. Zaletą tego pomiaru jest uniezależnienie się od toku toru zasadniczego.

Pomiar strzałek w torze zwrotnym w praktyce jest prowadzony jako:

- pomiar strzałek montażowych w torze zwrotnym rozjazdu według Instrukcji o organizacji i wykonywaniu pomiarów w geodezji kolejowej D-19 [9], zwany

pomiarem strzałek montażowych, w odniesieniu do wyłukowania rozjazdów zwyczajnych. Instrukcja D-19 została zastąpiona Standardem technicznym „O organizacji i wykonywaniu pomiarów w geodezji kolejowej” GK-1 [10]. Jednak GK-1 nie określa zasad pomiaru strzałek w torach zwrotnych rozjazdów – ani strzałek montażowych, ani eksploatacyjnych;

- pomiar strzałek eksploatacyjnych w torze zwrotnym rozjazdu według zaleceń Instrukcji o oględzinach, badaniach technicznych i utrzymaniu rozjazdów Id-4 (D-6) [8], zwany pomiarem strzałek eksploatacyjnych.

Pomiar strzałek prowadzi do utrzymania właściwego kształtu toków szynowych, a tym samym i osi toru. Jednak utrzymanie eksploatowanych rozjazdów kolejowych jest znacznie trudniejsze niż eksploatowanych torów. Większe oddziaływania dynamiczne pojazdów szynowych i zmiany sztywności w różnych strefach rozjazdów stanowią przyczynę szybszego pojawiania się w nich widocznych odkształceń i form zużycia, co stwierdza J. Bałuch w pracy pt. System oceny nierówności poziomych w rozjazdach kolejowych [1].

Pomiar strzałek na stałej cięciwie w torze zwrotnym rozjazdu z użyciem przykładowej magnetyczno-pomiarowej przeprowadzono w rozjeździe zwyczajnym nr 1 zlokalizowanym w miejscowości Borowiany na terenie województwa śląskiego (pomiar z dnia: 2.11.2016 r., opracowanie danych: 17.01.2017 r.), w kilometrze 20,821 linii kolejowej 144 Tarnowskie Góry – Opole Główne w torze nr 1, zakwalifikowanym jako tor główny zasadniczy czynny i eksploatowany. Rozjazd nr 1 jest typu S60 – 1:9 – 300, kierunku lewego. Charakteryzuje się zamknięciem suwakowym i krzyżownicą z dziobem zgrzewano – spawanym. Rozjazd wyprodukowano i wbudowano w 1980 r., podsypką jest tłuczeń naturalny, zastosowano podrozjazdnice drewniane.

Celem przeprowadzonych badań było sprawdzenie, czy istnieje możliwość użycia autorskiej przykładowej magnetyczno-pomiarowej (zgłoszenie patentowe: P.420214 [4]) w pomiarach strzałek w torze zwrotnym rozjazdu typu S60 – 1:9 – 300 w trybie:

- z linką pomiarową;
- z dalmierzem laserowym.

Dodatkowo wykonano pomiary z zastosowaniem przyrządu drutowego – strzałkomierza, wykorzystywanego w tego typu pomiarach przez Zespoły Diagnostyczne Nawierzchni i Podtorza Kolejowego oraz Geodezji Kolejowej. Pomiary te stanowiły odniesienie kontrolne dla pomiarów z zastosowaniem przykładowej magnetyczno-pomiarowej. Podczas prac mierzono strzałki montażowe i eksploatacyjne. W trakcie prowadzenia prac pomiarowych nie odbywał się ruch taboru kolejowego, co zapewniło wiarygodność i prawidłowość porównania wartości strzałek uzyskanych za pomocą różnych przyrządów i w różnych trybach pomiarowych. Wyniki pomiarów udzieliły również odpowiedzi na pytanie, w jakim stanie znajduje się krzywizna toru zwrotnego rozjazdu typu S60 – 1:9 – 300. W artykule przedstawiono autorskie spostrzeżenia i wnioski. Praca niniejsza została wykonana w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.150.005.

2. Regulacje prawne pomiaru strzałek na stałej cięciwie

Zgodnie z zaleceniami instrukcji Id-4 (D-6) [8] położenie torów zwrotnych w płaszczyźnie poziomej ocenia się na podstawie pomiarów strzałek na stałej cięciwie o długości zależnej od promienia toru zwrotnego. Pomiaru te są elementem składowym badań technicznych rozjazdów, które należy każdorazowo rejestrować w dzienniku oględzin i badań technicznych rozjazdów, tzw. D831, w arkuszach badań technicznych rozjazdów [5, 6] oraz w następujących arkuszach uzupełniających:

- pomiaru parametrów współpracy napęd–rozjazd – każdorazowo podczas badań technicznych rozjazdów;
- pomiaru drugich różnic (gradientów) wysokości rozjazdów/skrzyżowań toru przy kroku niwelacji 4 m – z częstotliwością określoną w § 7 ust. 4 Id-4 (D-6);
- pomiaru strzałek na stałej cięciwie – z częstotliwością określoną w § 7 ust. 4 Id-4 (D-6).

Pomiar strzałek, który od cięciwy umożliwia sprawdzenie prawidłowości krzywizny toru zwrotnego rozjazdu, należy wykonywać z dokładnością ± 1 mm. Przy odbiorze nowo zabudowywanych rozjazdów należy stosować tolerancje dopuszczalne określone w warunkach odbioru rozjazdu ODB lub warunkach technicznych wykonania i odbioru opracowanych przez producenta rozjazdu (tolerancje zaokrąglone) [8].

Według przepisów Instrukcji o oględzinach, badaniach technicznych i utrzymaniu rozjazdów Id-4 (D-6) [8] długości cięciw są uzależnione od typu i rodzaju rozjazdu, a ich długość wynosi odpowiednio: $l=10.0$ m, $l=14.0$ m, $l=18.0$ m, $l=21.0$ m, $l=30.0$ m. Natomiast według zaleceń instrukcji D-19 [9] długości cięciw dla rozjazdów wynoszą odpowiednio: $l=10.0$ m, $l=14.0$ m, $l=18.0$ m, $l=23.0$ m, $l=31.0$ m, $l=15.0$ m, $l=19.0$ m.

3. Pomiar strzałek montażowych w torze zwrotnym rozjazdu według instrukcji D-19

Pomiar strzałek montażowych w torze zwrotnym wykonano na cięciwie stałej o długości 14.0 m w łuku o promieniu 300 m. Pomiar przeprowadzono według zaleceń instrukcji D-19 [9]. Wartości strzałek odczytywano co 1.0 m, dodatkowo wyznaczając i odczytując jedną strzałkę nadliczbową f_s , występującą w miejscu łączenia zespołu szyn łączących z zespołem krzyżownicy (elementy złącza szynowego izolowanego klejono-sprężonego). Pomiar wykonano dwukrotnie (różnica dwukrotnego pomiaru nie wykazała rozbieżności większych niż 2 mm – tabela 1÷3), uzyskując uśrednione wartości strzałek za pomocą:

- przyrządu drutowego – strzałkomierza (rys. 1);
- przykładnicy magnetyczno-pomiarowej lewej i prawej wyposażonej w trzpień (bolec) z prowadnicą, płytkę krawędziową oraz w linkę pomiarową (rys. 2) i smyczek pomiarowy;

- przykładnicy magnetyczno-pomiarowej z nasadką dalmierza laserowego, sworzniem mocowania nasadki, uchwytem stabilizatora, płytką krawędziową, dalmierzem laserowym (rys. 3) oraz smyczkiem pomiarowym z adapterem smyczka pomiarowego (rys. 4).



Rys. 1. Przyrząd drutowy – strzałko-
mierz

Fig. 1. Versine Measuring Device –
a wire device



Rys. 2. Przykładnica magnetyczno-pomiarowa
z linką pomiarową

Fig. 2. A magnetic-measuring square with taut –
measuring line



Rys. 3. Przykładnica magnetyczno-pomiarowa z dalmierzem laserowym

Fig. 3. A magnetic-measuring square with the Laser Distance Measuring Device (rangefinder laser)



Rys. 4. Smyczek pomiarowy z adapterem
smyczka pomiarowego

Fig. 4. A measuring archet with an embedded adapter of the measuring archet

W tabelach 1÷3 kolorem czerwonym oznaczono wartości strzałek projektowanych wraz z obliczonym promieniem $R_p=301\text{ m} \approx 300\text{ m}$. W odniesieniu do pomiarów wykonanych w poszczególnych trybach wyniki pomiarów oznaczono dla przyrządu:

- drutowego – strzałkomierza – kolorem szarym (tabela 1);
- magnetyczno-pomiarowego z linką pomiarową – kolorem czerwonym (tabela 2);
- magnetyczno-pomiarowego z dalmierzem laserowym – kolorem niebieskim (tabela 3).

Tabela 1. Arkusz pomiaru strzałki montażowej istniejącej - pomiar przyrządem drutowym

Table 1. Sheet for the measurement of the existing mounting arrow (Versines Assembly) - measurement with a wire device

Lp.	Miejsce pomiaru (pomiar co 1 m)	Wartość strzałki projektowanej [mm]	Wartość strzałki istniejącej - pomiar przyrządem drutowym		Wartość strzałki średniej istniejącej - pomiar przyrządem drutowym
			(Pomiar 1) [mm]	(Pomiar 2) [mm]	(Średnia) [mm]
0	f_0	0	0	0	0
1	f_1	21.6	21	23	22
2	f_2	39.9	40	42	41
3	f_3	54.9	57	58	58
4	f_4	66.5	73	75	74
5	f_5	74.8	87	87	87
6	f_6	79.8	92	91	92
7	f_7	81.5	94	96	95
8	f_8	79.8	92	91	92
9	f_9	74.8	88	89	89
10	f_{10}	66.5	81	83	82
11	f_s	56.3	74	74	74
12	f_{11}	54.9	72	72	72
13	f_{12}	39.9	55	53	54
14	f_{13}	21.6	30	28	29
15	f_{14}	0	0	0	0
	R_p	301		R_i	258

Tabela 2. Arkusz pomiaru strzałki montażowej istniejącej - pomiar przykładnicą z linką pomiarową

Table 2. Sheet for the measurement of the existing mounting arrow (Versines Assembly) - MMS with taut – measuring line

Lp.	Miejsce pomiaru (pomiar co 1 m)	Wartość strzałki projektowanej [mm]	Wartość strzałki istniejącej - pomiar przykładnicą z linką pomiarową		Wartość strzałki średniej istniejącej - pomiar przykładnicą z linką pomiarową
			(Pomiar 1) [mm]	(Pomiar 2) [mm]	(Średnia) [mm]
0	f_0	0	0	0	0
1	f_1	21.6	20	22	21
2	f_2	39.9	39	40	40
3	f_3	54.9	56	58	57
4	f_4	66.5	72	73	73
5	f_5	74.8	85	86	86
6	f_6	79.8	93	91	92
7	f_7	81.5	94	96	95
8	f_8	79.8	92	93	93
9	f_9	74.8	89	90	90
10	f_{10}	66.5	81	83	82
11	f_8	56.3	74	74	74
12	f_{11}	54.9	71	71	71
13	f_{12}	39.9	54	53	54
14	f_{13}	21.6	30	28	29
15	f_{14}	0	0	0	0
	R_p	301		R_i	258

Tabela 3. Arkusz pomiaru strzałki montażowej istniejącej - pomiar przykładnicą z dalmierzem laserowym

Table 3. Sheet for the measurement of the existing mounting arrow (Versines Assembly) - MMS with Laser Distance Measuring Device (laser rangefinder)

Lp.	Miejsce pomiaru (pomiar co 1 m)	Wartość strzałki projektowanej [mm]	Wartość strzałki odczytana z offsetem równoległym f_{off} - pomiar przykładnicą z dalmierzem laserowym	Wartość strzałki geodezyjnej f_g - pomiar przykładnicą z dalmierzem laserowym	Wartość strzałki odczytana z offsetem równoległym f_{off} - pomiar przykładnicą z dalmierzem laserowym	Wartość strzałki geodezyjnej f_g - pomiar przykładnicą z dalmierzem laserowym	Wartość strzałki średniej istniejącej - pomiar przykładnicą z dalmierzem laserowym
			(Pomiar 1) [mm]	(Pomiar 1) [mm]	(Pomiar 2) [mm]	(Pomiar 2) [mm]	(Średnia) [mm]
0	f_0	0	-32	0	-32	0	0
1	f_1	21.6	-5	27	-7	25	26
2	f_2	39.9	15	47	14	46	47
3	f_3	54.9	32	64	30	62	63
4	f_4	66.5	47	79	46	78	79
5	f_5	74.8	57	89	55	87	88
6	f_6	79.8	63	95	61	93	94
7	f_7	81.5	65	97	64	96	97
8	f_8	79.8	63	95	61	93	94
9	f_9	74.8	58	90	58	90	90
10	f_{10}	66.5	51	83	51	83	83
11	f_s	56.3	42	74	41	73	74
12	f_{11}	54.9	40	72	40	72	72
13	f_{12}	39.9	21	53	23	55	54
14	f_{13}	21.6	-4	28	-5	27	28
15	f_{14}	0	-32	0	-32	0	0
	R_p	301				R_i	254

Rysunek 5 zawiera interpretację graficzną strzałek montażowych w torze zwrotnym rozjazdu nr 1 w postaci wykresu strzałek teoretycznych, uzyskanych na podstawie wartości strzałek projektowanych oznaczonych kolorem czerwonym. Zawiera również wykres strzałek montażowych istniejących (uśrednionych) z pomiaru poszczególnymi przyrządami.

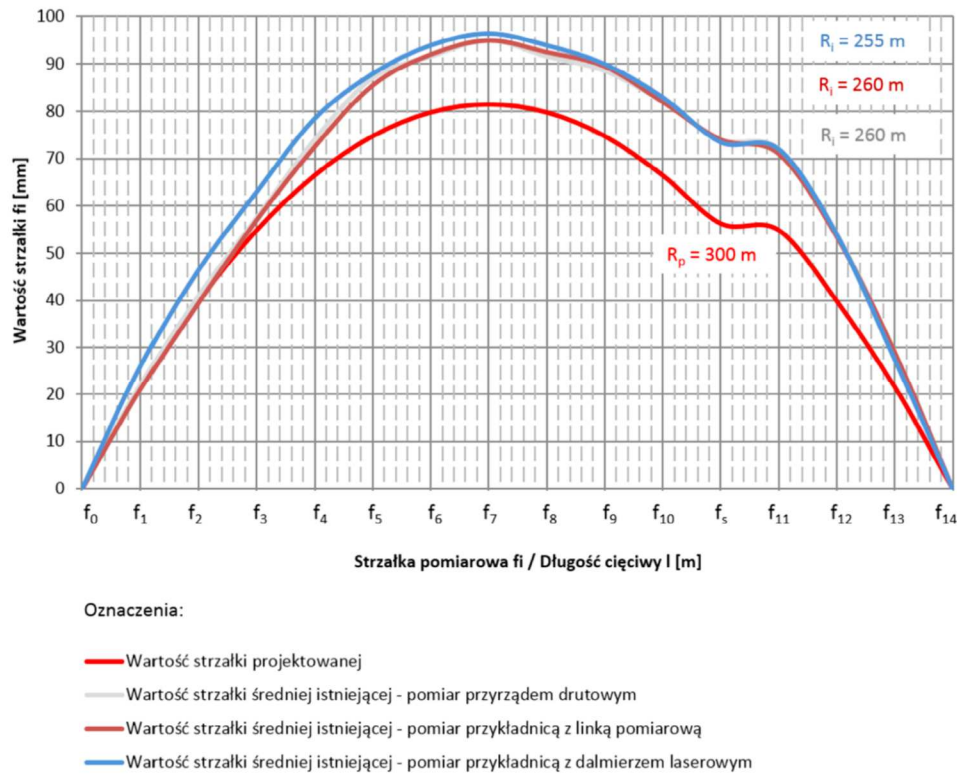
Wartość promienia łuku projektowanego toru zwrotnego rozjazdu obliczono na podstawie wzoru (1):

$$R_p = \frac{x^2}{8 \cdot f_p} \quad (1)$$

gdzie: x – długość cięciwy [m];

R_p – projektowana wartość promienia łuku toru zwrotnego [m];

f_p – projektowana wartość strzałki łuku toru zwrotnego rozjazdu [m];



Rys. 5. Wykresy strzałki montażowej istniejącej w torze zwrotnym rozjazdu

Fig. 5. Charts Versines Assembly in diverging routes - tracks

otrzymując $R_p=301 \text{ m} \approx 300 \text{ m}$. Wartość promienia łuku istniejącego toru zwrotnego rozjazdu obliczono na podstawie wzoru (2):

$$R_i = \frac{x^2}{8 \cdot f_i} \quad (2)$$

gdzie:

- x – długość cięciwy [m];
- R_i – istniejąca wartość promienia łuku toru zwrotnego [m];
- f_i – istniejąca wartość strzałki łuku toru zwrotnego rozjazdu [m];

otrzymując:

- z pomiarów wykonanych przyrządem drutowym $R_i=258 \text{ m} \approx 260 \text{ m}$;
- z pomiarów wykonanych przykładnicą magnetyczno-pomiarową z linką pomiarową $R_i=258 \text{ m} \approx 260 \text{ m}$;
- z pomiarów wykonanych przykładnicą magnetyczno-pomiarową z dalmierzem $R_i=254 \text{ m} \approx 255 \text{ m}$.

Porównanie wartości strzałek (tabela 1÷2, b, rys. 5) otrzymanych za pomocą:

- przyrządu drutowego – strzałkomierza (kolor szary);
- przykładnicy magnetyczno-pomiarowej z linką pomiarową (kolor brązowy);

wykazało, że maksymalna różnica wyniosła 1 mm, co potwierdza prawidłowość zastosowanego przyrządu w postaci przykładnicy magnetyczno-pomiarowej wyposażonej w akcesoria umożliwiające zabudowę linki pomiarowej w pomiarach strzałek. Analiza wyników pomiarów strzałek uzyskanych (tabela 1 i 3, rys. 5) przy użyciu:

- przyrządu drutowego – strzałkomierza (kolor szary);
- przykładnicy magnetyczno-pomiarowej z dalmierzem laserowym (kolor niebieski);

wykazała zgodność pomiarów (przy maksymalnej różnicy nieprzekraczającej wartości 2 mm) maksymalnie do punktu f_5 , tj. w odległość do 9 m. Przykładnica magnetyczno-pomiarowa z dalmierzem laserowym (rys. 3) była zabudowana (zlokalizowana na stanowisku bazowym) w punkcie strzałki f_{14} . Pomiarów wykonane w punktach $f_{13}÷f_5$ charakteryzują się maksymalną różnicą wynoszącą 1÷2 mm, co potwierdza prawidłowość zastosowanego przyrządu w postaci przykładnicy magnetyczno-pomiarowej wyposażonej w akcesoria umożliwiające zabudowę dalmierza laserowego. Przy cięciwie pomiarowej o długości 14.0 m wartości strzałek odczytane w odległości ≥ 10 m (tabela 3 – kolor żółty, rys. 5 – wykres kolorem niebieskim w punktach $f_4÷f_1$) posiadają średnią różnicę wynoszącą 5 mm. Zalecane jest zastosowanie dalmierza o podwyższonej dokładności i z dodatkowym wyposażeniem, w tym w celownik z powiększeniem, i co najważniejsze: o małej wartości średnicy plamki lasera. Plamka lasera powoduje zaburzenia odczytu na smyczku pomiarowym. Bardziej efektywnym rozwiązaniem jest zastosowanie specjalistycznego wskaźnika laserowego o średnicy plamki lasera 1 mm.

Strzałce teoretycznej krzywizny toru zwrotnego równej 81.5 mm \approx 82 mm w środkowej części łuku odpowiada strzałka praktyczna 96 mm. Strzałka teoretyczna krzywizny toru zwrotnego równa 82 mm jest przekroczona w środkowej części łuku o 14 mm, co odpowiada promieniowi istniejącemu w eksploatacji $R_i=255$ m.

4. Pomiar strzałek eksploatacyjnych w torze zwrotnym rozjazdu według instrukcji Id-4 (D-6)

Wartości dopuszczalne strzałek krzywizny i krok pomiaru zawarto w tabelach 4 i 5. W instrukcji Id-4 (D-6) [8] zostały przedstawione dopuszczalne wartości strzałek, które różnią się pod względem wartości strzałek w rozjeździe R-300 na cięciwie pomiarowej $l=14.0$ m, posiadając rozbieżności w wartościach maksymalnych i minimalnych (tabela 4 i 5).

Tabela 4. Dopuszczalne wartości strzałek w rozjeździe R-300 (tablica 20-6 Id-4 (D-6)) [8]

Table 4. Acceptable values versines in single turnout R-300 (Table 20-6 Id-4 (D-6)) [8]

Dopuszczalne strzałki f_i [mm] w punkcie o odciętej x_i [m]					
$x=3.5$		$x=7.0$		$x=10.5$	
$f_{max}=67$	$f_{min}=55$	$f_{max}=90$	$f_{min}=73$	$f_{max}=67$	$f_{min}=55$

Tabela 5. Dopuszczalne wartości strzałek w rozjeździe R-300 (załącznik E „Arkusz uzupełniający badania technicznego” Id-4 (D-6)) [8]

Table 5. Acceptable values versines in single turnout R-300 (Annex E "Sheet complementary technical examination of" Id-4 (D-6)) [8]

Dopuszczalne strzałki f_i [mm] w punkcie o odciętej x_i [m]					
$x=3.5$		$x=7.0$		$x=10.5$	
$f_{max}=67.0$	$f_{min}=55.3$	$f_{max}=89.4$	$f_{min}=73.7$	$f_{max}=67.0$	$f_{min}=55.3$

Pomiar strzałek eksploatacyjnych w rozjeździe nr 1 typu S60 – 1:9 – 300 w torze zwrotnym przeprowadzono w trzech punktach znajdujących się w stałych odległościach x_i , mieszczących się cyklicznie co 3.5 m, czyli 3.5 m, 7.0 m i 10.5 m. Pomiar wykonano w zaznaczonych punktach identyfikowalnych. Identycznie jak w przypadku pomiaru strzałek montażowych pomiar przeprowadzono dwukrotnie (różnica dwukrotnego pomiaru nie wykazała rozbieżności większych niż 2 mm), uzyskując uśrednione wartości strzałek z:

- przyrządu drutowego – strzałkomierza (rys. 1);
- przykładnicy magnetyczno-pomiarowej z linką pomiarową (rys. 2) oraz smyczkiem pomiarowym;
- przykładnicy magnetyczno-pomiarowej z nasadką dalmierza laserowego (rys. 3) oraz smyczkiem pomiarowym z adapterem smyczka pomiarowego (rys. 4).

Tabela 6 zawiera arkusz uzupełniający badania technicznego – pomiarów strzałek eksploatacyjnych na stałej cięciwie o długości wynoszącej 14.0 m, z wartościami strzałek odczytywanych w odległościach cyklicznych 3.5 m. Wyniki pomiarów wykonanych w poszczególnych trybach oznaczono dla przyrządu:

- drutowego – strzałkomierza – kolorem szarym;
- magnetyczno-pomiarowego z linką pomiarową – kolorem brązowym;
- magnetyczno-pomiarowego z dalmierzem laserowym – kolorem niebieskim.

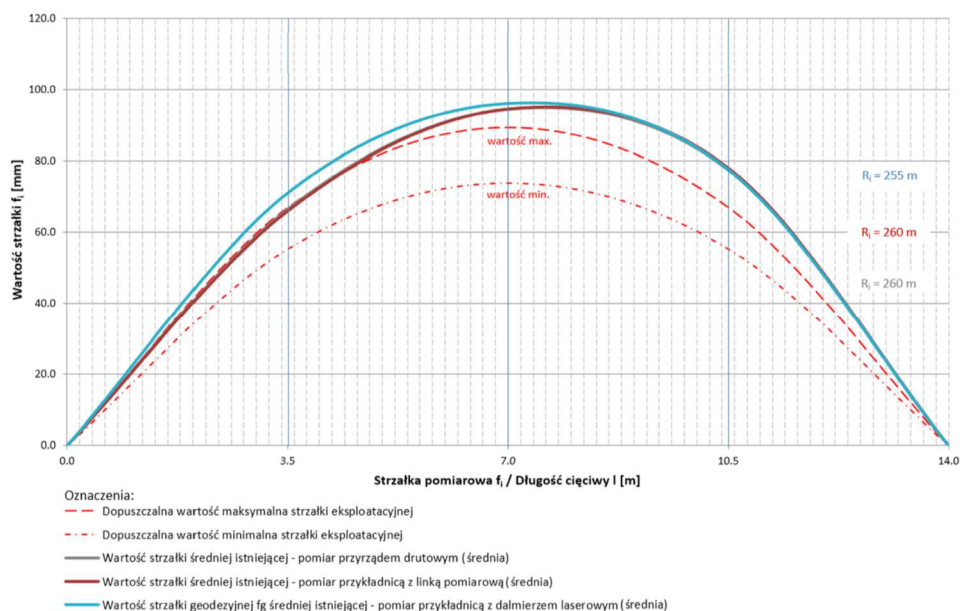
Dla uzyskanych wartości strzałek pomiarowych eksploatacyjnych opracowano wykres sprawdzenia poprawności krzywizny (rys. 6). Linie przerywane czerwone na wykresie określają dopuszczalną górną i dolną granicę wartości strzałek toru zwrotnego.

Przykładnica magnetyczno-pomiarowa z dalmierzem laserowym (rys. 3) była zabudowana (zlokalizowana na stanowisku bazowym) w punkcie końcowym 14.0 m. Pomiar strzałek prowadzono z punktu 0.0 w kierunku punktu

Tabela 6. Arkusz uzupełniający badania technicznego – pomiar strzałek eksploatacyjnych

Table 6. Sheet complementary technical examination – measurement Versines in exploitation

Odcięta x_i [m]:		3.5	7.0	10.5
Dopuszczalna wartość maksymalna strzałki eksploatacyjnej		67.0	89.4	67.0
Dopuszczalna wartość minimalna strzałki eksploatacyjnej		55.3	73.7	55.3
Wartość strzałki istniejącej - pomiar przyrządem drutowym	(Pomiar 1)	67	95	77
	(Pomiar 2)	66	94	78
Wartość strzałki średniej istniejącej - pomiar przyrządem drutowym	(Średnia)	67	95	78
Wartość strzałki istniejącej - pomiar przykładnicą z linką pomiarową	(Pomiar 1)	65	94	79
	(Pomiar 2)	67	95	77
Wartość strzałki średniej istniejącej - pomiar przykładnicą z linką pomiarową	(Średnia)	66	95	78
Wartość strzałki odczytana z offsetem równoległym f_{off} - pomiar przykładnicą z dalmierzem laserowym	(Pomiar 1)	40	64	45
Wartość strzałki geodezyjna f_g - pomiar przykładnicą z dalmierzem laserowym	(Pomiar 1)	72	96	77
Wartość strzałki odczytana z offsetem równoległym f_{off} - pomiar przykładnicą z dalmierzem laserowym	(Pomiar 2)	38	64	46
Wartość strzałki geodezyjna f_g - pomiar przykładnicą z dalmierzem laserowym	(Pomiar 2)	70	96	78
Wartość strzałki geodezyjnej f_g średniej istniejącej - pomiar przykładnicą z dalmierzem laserowym	(Średnia)	71	96	78



Rys. 6. Wykresy strzałki eksploatacyjnej w torze zwrotnym rozjazd

Fig. 6. Charts Versines in exploitation in diverging routes - tracks

końcowego 14.0 (w obu punktach wartość strzałki wynosiła 0 mm). Analiza wartości strzałek średnich (tabela 6, rys. 6) otrzymanych za pomocą:

- przyrządu drutowego – strzałkomierza (kolor szary);
 - przykładnicy magnetyczno-pomiarowej z linką pomiarową (kolor brązowy);
- wykazała maksymalną jednopunktową różnicę 1 mm, co potwierdza prawidłowość zastosowanego przyrządu w postaci przykładnicy magnetyczno-pomiarowej wyposażonej w akcesoria umożliwiające zabudowę linki pomiarowej w pomiarach strzałek eksploatacyjnych. Z kolei analiza wyników pomiarów strzałek uzyskanych (tabela 6, rys. 6) przy użyciu:
- przyrządu drutowego – strzałkomierza (kolor szary);
 - przykładnicy magnetyczno-pomiarowej z dalmierzem laserowym (kolor niebieski);

wykazała zgodność w przypadku odczytów w punktach najbliższych lokalizacji przykładnicy z dalmierzem, w których różnica wynosi 1 mm. W punkcie najbardziej odległym od przykładnicy z dalmierzem różnica wyniosła 5 mm. Stan krzywizny toru zwrotnego rozjazdu w punktach pomiarowych (odcięte x_i) jest poza wartościami dopuszczalnymi.

5. Wnioski

Wyniki pomiarów przedstawione w artykule świadczą o tym, że wykorzystana do pomiarów strzałek przykładnica magnetyczno-pomiarowa jest przyrządem posiadającym praktyczne zastosowanie. Zakres jego zastosowania to m.in. sprawdzenie krzywizny w rozjazdach z możliwością doboru stałej i nieruchomej cięciwy zależnej od rodzaju i typu rozjazdu zwyczajnego. Użycie przykładnicy do pomiaru strzałek w rozjazdach poprawia jakość prac montażowych i eksploatacyjnych. Zaletą przykładnicy jest jej uniwersalność. Przyrząd pozwala na pomiar strzałek w następujących wariantach:

- przykładnica magnetyczno-pomiarowa lewa/prawa z trzpieniem z prowadnicą, płytką krawędziową oraz z linką pomiarową i smyczkiem pomiarowym, umożliwia pomiar strzałek dla różnych długości cięciw. Przy czym dla pomiarów wykonanych na cięciwie o długości $l=10$ m umożliwia odczytanie dla średniej wartości strzałki f_i wyrażonej w milimetrach odpowiedniej wartości promienia istniejącego R ; łuku wyrażonego w metrach bezpośrednio w terenie;
- przykładnica magnetyczno-pomiarowa z nasadką dalmierza laserowego, sworzniem mocowania nasadki, uchwytem stabilizatora, płytką krawędziową, dalmierzem laserowym lub specjalistycznym wskaźnikiem laserowym oraz smyczkiem pomiarowym z adapterem smyczka pomiarowego umożliwia pomiar strzałek f_i dla różnych długości cięciw.

Uniwersalność przykładnicy magnetyczno-pomiarowej pozwala również na identyfikację punktów pomiarowych poprzez podzielenie badanego toru na odcinki x_i za pomocą dalmierza laserowego, taśmy lub metra zwijanego (poprzez zaczepienie ich w specjalnym rowku poprzecznym przykładnicy). Przykładnica

może być stosowana zarówno w pomiarach strzałek wykonywanych ręcznie z użyciem linki pomiarowej, z zabudowaniem minipryzmatów, przyzmatów, dalmierzem laserowym lub innym wskaźnikiem laserowym.

Wdrożenie przykładnicy magnetyczno-pomiarowej prowadzi do poprawy jakości pozyskiwania danych o położeniu torów zwrotnych w płaszczyźnie poziomej oraz ułatwia prowadzenie i aktualizowanie dokumentacji technicznej.

Do pomiarów geometrii toru (szerokość toru, gradient szerokości toru, nierówności poziome i podłużne, przechyłka, wichrowatość) [5, 6] według zaleceń Instrukcji o dokonywaniu pomiarów, badań i oceny stanu torów Id-14 (D-75) [11] lub Warunków technicznych Id-1 (D-1) [12] definiuje się punkt położony 14 mm poniżej górnej powierzchni tocznej szyny. Natomiast w przypadku pomiaru strzałek pomiar przeprowadza się do dolnej krawędzi główki szyny (najbardziej wystający punkt główki szyny). Istnieje różnica pomiędzy wynikiem pomiaru parametrów na wysokości 14 mm poniżej górnej powierzchni tocznej szyny a wartościami strzałek mierzonymi do dolnej krawędzi główki szyny. Różnica ta jest znacząca, zwłaszcza gdy występują zużycia boczne i pionowe szyn lub tzw. spłaszczenia – „wargi” szyny nierównomierne na mierzonym odcinku toru poddawanego badaniom. Przykładnica umożliwi prowadzenie pomiarów zdefiniowanych 14 mm poniżej górnej powierzchni tocznej szyny, jak również do dolnej krawędzi główki szyny dla pomiarów wartości strzałek. Pomiaru należy wykonywać z dokładnością ± 1 mm. Dokładność pomiarów decyduje o bezpieczeństwie w transporcie lądowym oraz umożliwia poprawne prowadzenie analiz i ocen przez komisje wypadkowe.

Przedstawione wyniki prac dotyczących pomiaru strzałek w torze zwrotnym rozjazdu z zastosowaniem przykładnicy magnetyczno-pomiarowej wpisują się w tematykę współczesnych badań w dyscyplinie geodezji inżyniersko-przemysłowej i diagnostyce budownictwa komunikacyjnego.

Literatura

- [1] Bałuch J.: System oceny nierówności poziomych w rozjazdach kolejowych, Problemy Kolejnictwa, z. 142, 2006.
- [2] Bałuch H., Czubaczyński J., Pelc S.: Montaż i wymiana rozjazdów, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1975.
- [3] Gocał J.: Geodezja inżyniersko-przemysłowa. Część II, Wydawnictwo AGH, Kraków 2005.
- [4] Kampczyk A.: Przykładnica magnetyczno-pomiarowa i jej zastosowanie. Zgłoszenie patentowe P.420214.
- [5] Kampczyk A.: Geodezyjno-analityczne opracowanie projektów połączeń torowych. Cz. 1. Geodetic-and-analytical design of track connections. Part 1, Przegląd Geodezyjny, ISSN 0033-2127, R. 82, nr 4, 2010, s. 3-8.
- [6] Kampczyk A.: Punkty charakterystyczne rozjazdów i skrzyżowań kolejowych. Characteristic points of switches and train intersections, TTS. Technika Transportu Szynowego, ISSN 1232-3829, R. 20, nr 10, 2013, s. 33-40.

- [7] Kędra Z.: Technologia Robót Torowych, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2015.
- [8] Id-4 (D-6) Instrukcja o oględzinach, badaniach technicznych i utrzymaniu rozjazdów, PKP PLK S.A., Warszawa 2015.
- [9] D-19 Instrukcja o organizacji i wykonywaniu pomiarów w geodezji kolejowej. Załącznik do Zarządzenia Nr 144 Zarządu PKP z dnia 23 października 2000 r.
- [10] GK-1 Standard techniczny „O organizacji i wykonywaniu pomiarów w geodezji kolejowej”. Uchwała Nr 8 Zarządu PKP S.A. z dnia 12 stycznia 2016 r. w sprawie przyjęcia Standardu technicznego „O organizacji i wykonywaniu pomiarów w geodezji kolejowej” GK-1, Warszawa 2015.
- [11] Id-14 (D-75) Instrukcja o dokonywaniu pomiarów, badań i oceny stanu torów, PKP PLK S.A., Warszawa 2005 (z późn. zm.).
- [12] Id-1 (D-1) Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych, PKP PLK S.A., Warszawa 2005 (z późn. zm.).

MEASUREMENT OF VERSINES IN A DIVERGING ROUTE WITH A MAGNETIC-MEASURING SQUARE

Summary

The article describes the results of studies on the possibility of applying the author's Magnetic - Measuring Square to measure the versines at a constant chord of 14.0 m. The measurement was carried out on a diverging route of a single turnout, type S60 - 1: 9 - 300, of the left direction with a radius of about $R_p = 300$ m with a scale and a laser distance meter. Those were confronted with the results obtained from the measurement conducted with a wire device, namely a Versine Measuring Device adopted in these types of measurements by Diagnostic Teams for Railway Surface and Subgrade and Railway Surveying. The tests were focused on the measurement of assembly and exploitation versines. The measurement of versines on a fixed chord allowed to check the curvature in the diverging route of the turnout. The performed studies have proved that the Magnetic - Measuring Square is both practical and versatile, leading to improved quality of assembly and exploitation works and updating of technical documentation. The results of measurements of the versines pose a component of technical examinations on turnouts, recorded in the complementary sheets for measurement of versines on a constant chord. The measurements have shown that the curvature of a diverging route for a theoretical versine reaching 82 mm in the central part of the arc has a practical versine of 96 mm. It is exceeded by 14 mm in the central part of the arc what corresponds to exploitation radius of $R_i = 255$ m (the theoretical radius value is $R_p = 300$ m). The Magnetic - Measuring Square allows to perform measurements at a level of 14 mm below the upper running surface of the rail as well as to the level of the lower edge of the rail for measuring the versines values. In the article, there are the author's observations and conclusions presented. The article was prepared as part of the AGH statutory research no. 11.11.150.005.

Keywords: Versine Measuring Device (Versine Measuring Instrument), Curvature in the Single turnout, Versines of arch railway track, Single turnout, Magnetic - Measuring Square, MMS, Laser Distance Measuring Device (laser rangefinder)

Przesłano do redakcji: 27.12.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Andżelika PIETRZYK¹
Dorota PAPCIAK²

WPŁYW WŁAŚCIWOŚCI ZWIĄZKÓW ORGANICZNYCH NA EFEKTYWNOŚĆ PROCESÓW UZDATNIANIA WODY - PODSTAWY TEORETYCZNE

Naturalną materię organiczną (NOM) można określić jako mieszaninę złożonych związków organicznych, które powszechnie występują w wodach powierzchniowych i podziemnych. Wysoka zawartość NOM w ujmowanych wodach przyczynia się m.in. do pogorszenia właściwości organoleptycznych wody, zmniejsza efektywność jednostkowych procesów uzdatniania, a także jest przyczyną powstawania ubocznych produktów utleniania i dezynfekcji (UPU/D), wykazujących właściwości kancerogenne i mutagenne. Skuteczna eliminacja NOM stanowi obecnie jeden z głównych problemów występujących na stacjach uzdatniania wody. W niniejszym artykule dokonano szczegółowej charakterystyki substancji organicznych, z uwzględnieniem rozdziału składników NOM na frakcje hydrofobowe (głównie wysokocząsteczkowe substancje humusowe) oraz frakcje hydrofilowe (związki niehumusowe). Rozdział substancji organicznych jest istotnym zagadnieniem, któremu obecnie poświęca się coraz więcej uwagi. Jedną z powszechnie stosowanych metod pozwalającą określić zawartość frakcji hydrofobowych i hydrofilowych jest metoda frakcjonowania z zastosowaniem żywic jonowymiennych. Rozdzielanie składników NOM stosuje się głównie w badaniach dotyczących określenia możliwości powstawania UPU/D, gdyż każda z wymienianych frakcji wykazuje odmienny stopień reaktywności ze środkami chemicznymi. W artykule oceniono wpływ właściwości związków organicznych na efektywność procesów technologicznych stosowanych w uzdatnianiu wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Stosowane technologie wykazują zróżnicowaną skuteczność w usuwaniu NOM, dlatego też przy wyborze odpowiedniej metody coraz większą uwagę powinno zwracać się m.in. na właściwości substancji organicznych zawartych w ujmowanych wodach.

Słowa kluczowe: naturalna materia organiczna, frakcja hydrofilowa, frakcja hydrofobowa, uzdatnianie wody

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Andżelika Pietrzyk, Politechnika Rzeszowska, Zakład Oczyszczania i Ochrony Wód, Al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, a.pietrzyk@prz.edu.pl

² Dorota Papciak, Politechnika Rzeszowska, Zakład Oczyszczania i Ochrony Wód, Al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, dpapciak@prz.edu.pl

1. Wprowadzenie

Naturalna materia organiczna (NOM) definiowana jest jako mieszanina złożonych związków organicznych, które powszechnie występują w wodach powierzchniowych i podziemnych [1, 2]. W składzie NOM wyróżnić można dwie podstawowe grupy: (a) substancje niehumusowe składające się ze związków takich jak aminokwasy, polisacharydy, węglowodory, węglowodany, tłuszcze, woski, żywice i kwasy organiczne małowcząsteczkowe oraz (b) skomplikowane heterogeniczne substancje humusowe [3, 4]. Zawartość związków organicznych w wodach naturalnych może być determinowana wieloma czynnikami m.in.: topografią terenu, porą roku, występowaniem ekstremalnych zjawisk pogodowych (tj. powódzie, susze) oraz działalnością antropogeniczną [5, 6]. Stężenie oraz właściwości NOM zależne są również od źródła pochodzenia oraz od procesów biogeochemicznych zachodzących w wodach naturalnych [3].

Analiza naturalnej materii organicznej występującej w wodach ujmowanych do celów spożywczych podzielona jest na dwa podstawowe kierunki badań. Pierwszy koncentruje się na właściwościach fizykochemicznych związków organicznych, ich frakcjonowaniu oraz reaktywności ze środkami chemicznymi takimi jak chlor, ditlenek chloru czy ozon [7, 8]. Drugi, dotyczy skuteczności usuwania NOM z zastosowaniem różnych procesów jednostkowych oraz ich kombinacji [9, 10]. Technologiczny układ uzdatniania wody powinien zapewnić możliwie jak największą eliminację związków organicznych, a tym samym ograniczyć możliwość powstawania ubocznych produktów utleniania/dezynfekcji (UPU/D). Technologie uzdatniania wody wykazują zróżnicowaną skuteczność usuwania NOM, dlatego przy wyborze odpowiedniej metody powinno zwracać się większą uwagę m.in. na właściwości substancji organicznych zawartych w ujmowanych wodach [11]. Należy jednak podkreślić, że przedsiębiorstwa wodociągowe nie dysponują odpowiednią aparaturą umożliwiającą określenie właściwości NOM, natomiast podczas projektowania nowych technologii rzadko wykonywane są szczegółowe badania dotyczące oceny wpływu właściwości NOM na efektywność jednostkowych procesów uzdatniania.

2. Frakcje substancji organicznych i ich właściwości

Naturalna materia organiczna może zawierać w swoim składzie tysiące różnych składników chemicznych, w związku z czym wykonanie dokładnej jakościowej analizy NOM jest zadaniem trudnym do zrealizowania. Charakterystyka związków organicznych polega przede wszystkim na pogrupowaniu NOM na frakcje wykazujące podobne właściwości fizykochemiczne [12].

Podstawowym parametrem służącym do określenia zawartości NOM jest ogólny węgiel organiczny (OWO), który składa się z rozpuszczonego węgla organicznego (RWO) oraz zawieszonego węgla organicznego (ZWO). RWO są to związki, które przechodzą przez filtr o wielkości porów 0,45 μm , które mogą

dzielić się na dwie zasadnicze grupy: substancje o charakterze hydrofobowym oraz hydrofilowym. Szacuje się, że w wodach ujmowanych do celów spożywczych zawartość frakcji hydrofobowej może wahać się w zakresie od 56% do 79% RWO, z kolei udział frakcji hydrofilowej kształtuje się na niższym poziomie wynoszącym 21% - 44% [1, 4, 10, 13-15]. Związki chemiczne wchodzące w skład frakcji hydrofobowej i hydrofilowej zaprezentowane zostały w Tabeli 1.

Tabela 1. Skład chemiczny frakcji hydrofobowej i hydrofilowej NOM, na podstawie [16, 17]

Table 1. Chemical composition of hydrophobic and hydrophilic fraction of NOM, based on [16, 17]

NOM			Związki chemiczne
FRAKCJA HYDROFOBOWA	Kwasy	Silne	kwasy humusowe (kwasy huminowe i fulwowe), kwasy karboksylowe (kwasy monokarboksylowe i dikarboksylowe, kwasy aromatyczne (o dużej masie cząsteczkowej))
		Słabe	fenole, taniny, kwasy monokarboksylowe i dikarboksylowe (o średniej masie cząsteczkowej)
	Zasady		białka, aminy aromatyczne, aminy alifatyczne (o dużej masie cząsteczkowej)
	Związki obojętne		węglowodory, aldehydy, ketony metylowe (o dużej masie cząsteczkowej), etery, furany, pirole
FRAKCJA HYDROFILOWA	Kwasy		hydroksykwasy, cukry, sulfoniany, kwasy monokarboksylowe i dikarboksylowe (o małej masie cząsteczkowej)
	Zasady		aminokwasy, puryny, pirydyny, aminy alifatyczne (o małej masie cząsteczkowej)
	Związki obojętne		polisacharydy, aldehydy i ketony (o małej masie cząsteczkowej)

Znaczącą częścią frakcji hydrofobowej są kwasy, które stanowią w wodzie ponad 50% RWO [18]. Kwasy hydrofobowe najczęściej opisywane są jako substancje humusowe, w składzie których wyodrębnić można trzy grupy związków: (1) kwasy huminowe – związki o zabarwieniu ciemnobrązowym/czarnym; rozpuszczalne tylko w roztworach zasadowych, (2) kwasy fulwowe – związki o zabarwieniu żółtym/żółtobrązowym; rozpuszczalne w całym zakresie pH, (3) huminy – związki o czarnym zabarwieniu; nierozpuszczalne w całym zakresie pH.

Wymienione frakcje substancji humusowych stanowią grupę związków organicznych różniących się między sobą nie tylko intensywnością zabarwienia i rozpuszczalnością ale również masą molową, zawartością węgla i tlenu, stopniem polimeryzacji czy liczbą grup funkcyjnych (Tab. 2) [19].

W budowie frakcji NOM obserwuje się zasadnicze różnice. Związki hydrofobowe (głównie związki allochtoniczne) charakteryzują się strukturą fenolową

z układem sprzężonych wiązań podwójnych, natomiast związki hydrofilowe (związki autochtoniczne pochodzenia roślinnego) w swojej strukturze zawierają głównie węglowodory alifatyczne oraz związki azotu [17]. Stwierdzono, że budowa strukturalna frakcji hydrofilowych i hydrofobowych w dużej mierze determinowana jest źródłem pochodzenia materii organicznej [4].

Tabela 2. Charakterystyka substancji humusowych, na podstawie [19]

Table 2. Characteristics of humus substances, based on [19]

Związki humusowe		
Kwasy fulwowe	Kwasy huminowe	Huminy
jasnoszary	---wzrost intensywności zabarwienia--->	czarny
	-----wzrost stopnia polimeryzacji----->	
500	-----wzrost masy cząsteczkowej----->	300 000
45 %	-----wzrost zawartości węgla----->	62 %
	←-----wzrost rozpuszczalności-----	
48 %	←-----wzrost zawartości tlenu-----	30 %
1400 mval/100 g	←----wzrost pojemności jonowymiennej--	500 mval/100 g

Rozdział substancji organicznych na poszczególne frakcje jest istotnym zagadnieniem, któremu obecnie poświęca się coraz więcej uwagi. Wśród wykorzystywanych do tego celu technik zaliczyć można zarówno metody chemiczne (strącanie, ekstrakcja, chromatografia adsorpcyjna) jak i fizyczne (elektroforeza, chromatografia wykluczenia (SEC) i ultrafiltracja) [7].

Metodą pozwalającą określić zawartość frakcji hydrofobowych i hydrofilowych NOM jest metoda frakcjonowania z zastosowaniem żywic polimerowych (adsorpcyjnych i jonowymiennych) typu Amberlite XAD. Procedura zaproponowana przez [20], pozwala rozdzielić NOM na cztery odrębne grupy związków tj.: (1) kwasy silnie hydrofobowe (VHA), (2) kwasy średnio hydrofobowe (SHA), (3) substancje hydrofilowe obdarzone ładunkiem (CHA) oraz (4) substancje hydrofilowe obojętne (NEU).

Do wykonania oznaczenia wykorzystywane są trzy żywice polimerowe o zróżnicowanych właściwościach: DAX-8, XAD-4 oraz IRA-958 (DAX-8 i XAD-4 to adsorbenty polimerowe, zaś IRA-958 jest silnie zasadową żywicą anionowymienną). Żywica DAX-8 posiada zdolność adsorbowania na swej powierzchni frakcji VHA, żywica XAD-4 adsorbuje frakcję SHA, natomiast żywica IRA-959 eliminuje z wody frakcję CHA. Materia organiczna, która nie jest sorbowana przez żadną z wymienionych żywic reprezentuje frakcję NEU [7, 10, 19].

Kolejną techniką pozwalającą określić właściwości fizykochemiczne zanieczyszczeń organicznych jest chromatografia wykluczenia (SEC). Metoda SEC stosowana jest głównie do określania masy cząsteczkowej oraz jej rozkładu w analizowanych roztworach wodnych. W chromatografii wykluczenia jako

wypełnienia kolumn mogą zostać zastosowane ziarna krzemionki lub polimerów o granulacji 5-10 μm . Zasada działania techniki SEC polega na „zatrzymaniu” występujących cząsteczek w porach wypełnienia, które następnie są usuwane poprzez przepływający przez kolumnę eluent. Czas przebywania molekuł w porach jest więc zależny od ich wielkości efektywnych (im większe cząsteczki, tym krótszy czas retencji). Uzyskane wyniki techniką SEC w głównej mierze zależą od zastosowanego eluentu, którego odczyn i siła jonowa może w znacznym stopniu wpływać na strukturę i ładunek cząsteczki NOM [7]. Chromatografia wykluczenia SEC jest przydatną techniką pozwalającą określić właściwości NOM na różnych etapach uzdatniania wody [1, 21].

Ważnym parametrem pozwalającym w szybki sposób określić charakter NOM jest specyficzna absorbancja UV (SUVA). Parametr ten określany jest jako stosunek absorbancji UV_{254} do RWO. W sytuacji gdy wskaźnik $SUVA > 4$, wówczas zawarte w wodzie związki organiczne charakteryzują się silnymi właściwościami hydrofobowymi (głównie związki humusowe o wysokiej masie cząsteczkowej), natomiast gdy $SUVA < 2$ w roztworze dominują substancje hydrofilowe (związki niehumusowe o niskiej masie cząsteczkowej). Wartości SUVA uzyskiwane w zakresie 2-4 świadczą o występowaniu substancji organicznych zarówno o charakterze hydrofobowym jak i hydrofilowym [4, 12, 16].

3. Metody usuwania NOM z wody przeznaczonej do spożycia

Substancje organiczne wpływają nie tylko na jakość wody ale również są przyczyną wielu trudności podczas jej uzdatniania. Skutki decydujące o konieczności usuwania NOM z wody to m.in.:

- pogorszenie walorów estetycznych wody (tj. żółte/brązowe zabarwienie wody, nieprzyjemny smak i zapach),
- konieczność stosowania większych dawek koagulantów i środków dezynfekujących,
- niebezpieczeństwo powstawania ubocznych produktów utleniania i dezynfekcji (UPU/D) o właściwościach kancerogennych i mutagennych (tj. trihalometany, kwasy haloctowe, chloroform i dichlorobrometan),
- tworzenie kompleksów z zanieczyszczeniami antropogenicznymi m.in. z metalami ciężkimi, ftalanami, pestycydami, wielopierścieniowymi węglowodarami aromatycznymi (WWA),
- blokowanie powierzchni żywic jonowymiennych, węgla aktywnych oraz membran - obniżenie skuteczności procesów jednostkowych zaprojektowanych do usuwania innych zanieczyszczeń niż NOM,
- brak stabilności biologicznej wody - wtórny rozwój mikroorganizmów w systemie dystrybucji oraz powstawanie biofilmu na wewnętrznych powierzchniach przewodów wodociągowych,
- intensyfikacja korozji mikrobiologicznej [17, 19].

Skuteczna eliminacja NOM z wody przeznaczonej do spożycia jest niezbędna i może stanowić poważny problem technologiczny. Wśród konwencjonalnych procesów stosowanych do usuwania NOM można zaliczyć m.in.: koagulację, utlenianie chemiczne, wymianę jonową oraz adsorpcję. Aby zapewnić odpowiednią jakość wody, bezpieczną dla zdrowia konsumentów, często niezbędne jest stosowanie niekonwencjonalnych i wysokoefektywnych procesów. Do tej grupy metod należy zakwalifikować m.in.: filtrację membranową, zaawansowane procesy utleniania oraz biofiltrację na granulowanych węglach aktywnych. Każda z wymienionych metod charakteryzuje się szeregiem zalet ale również nie jest pozbawiona pewnych wad i ograniczeń.

Proces koagulacji

Do usuwania NOM z wody przeznaczonej do spożycia najczęściej stosowany jest układ technologiczny składający się z procesów koagulacji, sedymentacji oraz filtracji. Zastosowanie procesu koagulacji umożliwia eliminację dużej części występujących związków organicznych, należy jednak zwrócić uwagę na fakt, iż frakcja hydrofilowa usuwana jest w tym procesie z mniejszą skutecznością niż frakcja hydrofobowa [2, 7, 13, 17]. Frakcje o dużej masie cząsteczkowej (od 4000 do ponad 5000 g/mol) usuwane są w 90 - 100%, o średniej masie cząsteczkowej (3000-4000 g/mol) w 40%, natomiast małowcząsteczkowe związki zaledwie w 20% [21]. Zależność pomiędzy wartością SUVA, a skutecznością usuwania RWO w procesie koagulacji przedstawia się następująco: gdy $SUVA > 4$ skuteczność wynosi ponad 50%, gdy $SUVA < 2$ wówczas osiąga wartości niższe od 25% [17].

Na efektywność procesu koagulacji wpływ mają również dawka i rodzaj zastosowanego koagulantu oraz pH uzdatnianej wody. Wyniki badań [22] potwierdzają, że skuteczność usuwania zanieczyszczeń organicznych zwiększa się wraz z dawką koagulantu glinowego. Jednak zbyt duża dawka koagulantu może przyczynić się do zwiększenia ilości generowanych osadów oraz obniżenia pH roztworu, natomiast zastosowanie zbyt małej dawki może odpowiadać za niewystarczający stopień usunięcia zanieczyszczeń [16]. Ważnym parametrem technologicznym procesu koagulacji jest również wartość pH uzdatnianej wody. Stężenia jonów wodorowych decydują zarówno o formie występowania związków organicznych, jak również o znaku i wartości ładunków produktów hydrolizy koagulantów [22].

Proces koagulacji odgrywa istotną rolę w technologii oczyszczania wody, jednak zdolność do usuwania NOM jest niższa niż w przypadku adsorpcji czy wymiany jonowej. Wyniki badań [11] informują, że skuteczność usuwania RWO w samodzielnych procesach koagulacji, wymiany jonowej i adsorpcji wynosiły kolejno 17%, 82% oraz 90%. Usunięcie substancji organicznych na etapie koagulacji zwiększa skuteczność kolejnych procesów jednostkowych układu technologicznego uzdatniania wody [21].

Proces biofiltracji na granulowanym węglu aktywnym

Biofiltracja na złożach granulowanego węgla aktywnego charakteryzuje się dużą skutecznością usuwania substancji organicznych z wody. W pierwszych miesiącach pracy filtru dominującym procesem jest adsorpcja, w której eliminacja NOM może wynosić od 90% do nawet 100% [23, 24]. W kolejnych miesiącach następuje biologiczna aktywacja złoża, wskutek czego występujące w wodzie zanieczyszczenia usuwane są w procesach biodegradacji przy współdziałaniu mikroorganizmów. Utworzenie błony biologicznej na powierzchni materiału filtracyjnego wydłuża czas efektywnej pracy filtru w wyniku ciągłego odnawiania pojemności adsorpcyjnej złoża.

Efektywność tego procesu może być uzależniona od wielu czynników wśród których należy wymienić m.in.: (a) właściwości związków organicznych (np. wielkość masy cząsteczkowej, stopień hydrofobowości, zdolność do tworzenia wiązań wodorowych z powierzchnią węgla aktywnego), (b) właściwości fizykochemiczne adsorbenta (np. powierzchnia właściwa, wielkość/kształt porów, ładunek, rodzaj i liczba grup powierzchniowych, zawartość popiołu), (c) właściwości cieczy (np. pH i twardość roztworu) oraz (d) parametry technologiczne (np. czas kontaktu, prędkość filtracji, czas eksploatacji złoża) [25].

Stwierdzono, że w procesie adsorpcji frakcja hydrofobowa o dużej masie cząsteczkowej usuwana jest z niewystarczającą skutecznością ze względu na ograniczoną wielkość porów węgla aktywnego. Natomiast frakcje o średniej i małej masie cząsteczkowej usuwane są z większą efektywnością [21]. Stwierdzono również, że biologicznie aktywne filtry węglowe przyczyniają się do większej eliminacji kwasów haloctowych z wody niż filtry pracujące wyłącznie w trybie sorpcji [26].

W procesie biofiltracji ważnymi czynnikami wpływającymi zarówno na szybkość tworzenia błony biologicznej jak i aktywność drobnoustrojów są m.in. rodzaj i ilość zanieczyszczeń, stężenie tlenu oraz temperatura wody. Niezwykle ważny jest stosunek substancji odżywczych C : N : P, który optymalnie powinien wynosić 100 : 10 : 1 [27]. Ograniczona zawartość N i P jest uznawana za jedną z podstawowych przyczyn obniżonej aktywności mikrobiologicznej złoża biosorpcyjnego. Suplementacja składników odżywczych w wodzie zasilającej biofiltr wpływa na szybszy rozwój biofilmu, większą aktywność biomasy i tym samym na poprawę jakości uzdatnianej wody w wyniku zwiększonej eliminacji związków organicznych [28, 29].

Procesy zaawansowanego utleniania

Zaawansowane metody utleniania (z ang. advanced oxidation processes-AOP) są alternatywą dla metod konwencjonalnych lecz ich skuteczność również uwarunkowana jest stężeniem oraz właściwościami NOM. Wśród technologii AOP mogą być stosowane różne układy, a szczególnie interesującymi są układy wykorzystujące dwa czynniki utleniające: UV/O₃, O₃/H₂O₂, UV/H₂O₂ lub trzy: O₃/H₂O₂/UV, H₂O₂/Fe²⁺/UV. Procesy AOP polegają na generowaniu wysoce

reaktywnych rodników przejściowych, a w szczególności rodnika hydroksylowego OH° o bardzo wysokim potencjale redoks (2,8 V). Rodniki hydroksylowe charakteryzują się szybkim oraz nieselektywnym utlenianiem wielu substancji organicznych, wskutek czego ograniczona zostaje możliwość tworzenia UPU [2, 16].

Badania wykazały, że frakcja hydrofobowa o dużej masie cząsteczkowej jest bardziej podatna na utlenianie za pomocą metod AOP (fotokataliza czy $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$). Natomiast reakcja foto-Fentona wykazuje znaczną skuteczność w usuwaniu substancji organicznych o małej masie cząsteczkowej, które stanowią najbardziej kłopotliwą część NOM podczas konwencjonalnego uzdatniania wody [30]. Skuteczność technik AOP w eliminacji zawartości RWO można przedstawić w następującej kolejności: $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2 < \text{Fenton} < \text{foto-Fenton}$ [31].

Proces filtracji membranowej

Ciśnieniowe procesy membranowe mikrofiltracja, ultrafiltracja, nanofiltracja i odwrócona osmoza odgrywają ważną rolę w produkcji wody wysokiej jakości. Wymienione procesy wykorzystywane są do usuwania z wody zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych oraz mikroorganizmów, a wybór odpowiedniego procesu membranowego zależy od zakresu rozmiarów usuwanych związków. Techniki membranowe mogą być stosowane jako procesy samodzielne lub w połączeniu z uzupełniającymi procesami jednostkowymi, tworząc systemy hybrydowe. Efektywność tych procesów uzależniona jest od własności NOM, warunków operacyjnych procesu (w szczególności od pH) oraz od własności samych membran (rodzaj, wielkość porów, hydrofobowość, przepuszczalność czy ładunek) [19]. Porównując skuteczność procesów membranowych wykazano, że zastosowanie mikrofiltracji umożliwia eliminację NOM w mniej niż 10%, ultrafiltracji w zakresie od 0 - 30%, a nanofiltracji powyżej 80%. Wysokociśnieniowe procesy membranowe, odznaczają się większą skutecznością usuwania rozpuszczalnych związków organicznych [32].

W procesach filtracji membranowej powszechnie występującym zjawiskiem jest fouling, powodujący spadek wydajności membrany, a także pogarszanie jakości oczyszczanej wody. Dominującym czynnikiem odpowiedzialnym za blokowanie membran, a w konsekwencji obniżenie wydajności hydraulicznej instalacji są związki organiczne. Nie ma jednoznacznych wyników badań pozwalających określić która z omawianych frakcji NOM odpowiada za nieodwracalne blokowanie membran. Część badań donosi, że zjawisko to występuje głównie w obecności frakcji hydrofilowej, pozostała część obarcza winą frakcję hydrofobową [19, 34, 35]. Zastosowanie systemów hybrydowych łączących filtrację membranową z innymi procesami, np. koagulacją, adsorpcją na węglu aktywnym, biofiltracją czy wymianą jonową, pozwala ograniczyć występowanie zjawiska blokowania membran [36].

Wymiana jonowa

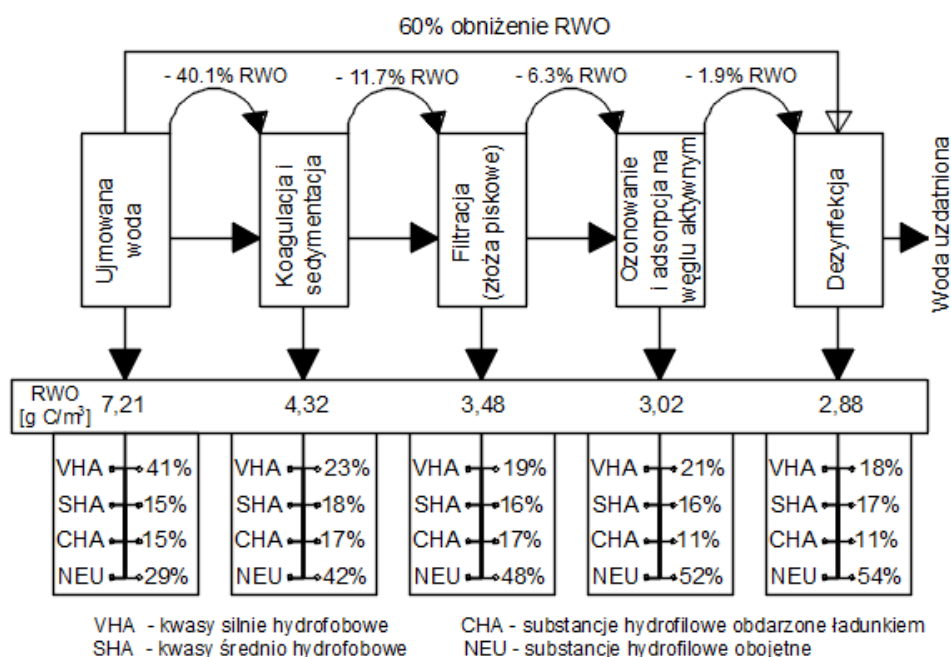
Alternatywą dla klasycznych procesów może być również proces wymiany jonowej z użyciem syntetycznych żywic jonowymiennych. Makroporowata żywica MIEX® okazuje się być jednym z najbardziej skutecznych materiałów. Efektywność usuwania zanieczyszczeń organicznych z wody w procesie wymiany jonowej waha się w szerokim zakresie od 30% do nawet 90%. O efektywności procesu decydują przede wszystkim takie parametry jak: jakość uzdatnianej wody, właściwości żywicy jonowymiennej oraz sposób realizacji procesu [19, 37]. W procesie wymiany jonowej skuteczność eliminacji NOM wzrasta wraz ze zmniejszaniem się masy cząsteczkowej związków organicznych. Wyniki badań przeprowadzonych przez [33] wskazują, że proces ten efektywnie usuwa NOM o masie cząsteczkowej w zakresie od 500 do 2000 g/mol, ale najlepsze rezultaty uzyskiwane są dla frakcji o masie poniżej 500 g/mol.

Usuwanie związków NOM w układzie technologicznym

Wymienione powyżej procesy uzdatniania wody charakteryzują się zróżnicowaną skutecznością usuwania zanieczyszczeń organicznych z wody. Na rysunku 1 przedstawiono efektywność przykładowego układu technologicznego składającego się z następujących procesów jednostkowych: koagulacji, sedymentacji, filtracji, ozonowania, biofiltracji na węglu aktywnym i dezynfekcji. Zastosowanie takiego rozwiązania umożliwiło obniżenie materii organicznej w 60 %, w związku z czym w wodzie kierowanej do sieci wartość RWO wynosiła 2,88 g C/m³. Zaprezentowany schemat uwzględnia również zmiany zawartości poszczególnych frakcji NOM dla każdego etapu uzdatniania. Badania wykazały, że w ujmowanej wodzie powierzchniowej dominującą frakcją były kwasy silnie hydrofobowe (VHA), które stanowiły 41% RWO. Frakcja VHA uległa 82% zmniejszeniu, a największe obniżenie zaobserwowano w procesie koagulacji (66%) [10]. Wyniki frakcjonowania wód podziemnych [38] wykazują, że VHA jest frakcją najbardziej podatną na usuwanie (w koagulacji usunięto 60% VHA).

Rozdzielanie składników NOM na żywicach polimerowych stosuje się głównie w celu określenia wpływu rodzaju związków organicznych na możliwość powstawania ubocznych produktów utleniania/dezynfekcji. Frakcja hydrofobowa wykazuje większą reaktywność w stosunku do związków chloru, natomiast frakcja hydrofilowa względem bromu i jodu [39]. Występujące w wodzie zanieczyszczenia organiczne różnią się między sobą stopniem reaktywności, a każda z frakcji wykazuje odmienny potencjał tworzenia trihalometanów (THM) i kwasów halogenooctowych (HAA). Znajomość przebiegu reakcji zachodzących pomiędzy frakcjami NOM, a środkami utleniającymi ma istotne znaczenie podczas uzdatniania wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Stwierdzono, że najwyższy potencjał tworzenia UPD wynoszący 30,3% wykazują kwasy hydrofobowe, które stanowią najliczniejszą grupę RWO [15, 18, 39]. Prekursorami UPD są również kwasy hydrofilowe (26%), zasady hydrofilowe

(19,8%) i obojętne związki hydrofobowe (18%). Frakcje najmniej odpowiedzialne za powstawanie UPD to zasady hydrofobowe (2,6%) oraz obojętne związki hydrofilowe (3,3%) [39]. O potencjale tworzenie ubocznych produktów dezynfekcji może decydować również wartość pH, wzrost pH z 6 do 9 powoduje zwiększenia stężenia THM o 34% dla frakcji hydrofobowej i 29% dla frakcji hydrofilowej [15].



Rys. 1. Efektywność usuwania NOM w jednostkowych procesach uzdatniania wody, na podstawie [10]

Fig. 1. Efficiency of NOM removal in unit water treatment processes, based on [10]

4. Podsumowanie

Naturalna materia organiczna (NOM) jest powszechnie występującą w wodach powierzchniowych i podziemnych złożoną mieszaniną związków organicznych. Wzrastająca zawartość substancji organicznych w wodach ujmowanych do celów spożywczych wzbudza coraz większe obawy. Duże stężenia NOM mogą być przyczyną m.in. pogorszenia właściwości organoleptycznych wody, zmniejszenia efektywności jednostkowych procesów uzdatniania przeznaczonych do usuwania innych zanieczyszczeń czy też braku stabilności biologicznej wody wodociągowej. Materia organiczna jest również odpowiedzialna za tworzenie niebezpiecznych ubocznych produktów utleniania i dezynfekcji takich jak trihalometany i kwasy halogenoocetowe, których obecność w wodzie przeznaczonej do spożycia stwarza poważne zagrożenie dla zdrowia. Szczegół-

łowa analiza materii organicznej dokonana w wyniku podziału na frakcję hydrofobową i hydrofilową pozwala lepiej poznać i zrozumieć właściwości występujących związków organicznych. Z badań wynika m.in., że najsilniejszymi prekursorami UPU są kwasy hydrofobowe, które w wodzie stanowią najliczniejszą grupę RWO (>50%). Efektywność procesów jednostkowych również jest uzależniona od zawartości i właściwości związków organicznych występujących w ujmowanych wodach. Każda z dostępnych metod charakteryzuje się różną skutecznością usuwania frakcji NOM, np. proces koagulacji wykazuje 90 - 100% usuwalności frakcji o dużej masie cząsteczkowej, ale związki małych cząsteczek usuwane są zaledwie w 20%. Całkowita eliminacja związków organicznych jest bardzo trudna do osiągnięcia w związku z tym należy prowadzić badania nad udoskonaleniem istniejących metod oraz poszukiwać alternatywnych technologii umożliwiających poprawę jakości uzdatnianych wód.

Literatura

- [1] Fabris R., Chow C.W.K., Drikas M., Eikebrokk B.: Comparison of NOM character in selected Australian and Norwegian drinking water, *Water Research* 43, 2008, pp. 4188-4196.
- [2] Matilainen A., Vespäläinen M., Sillanpää M.: Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: review, *Advances in Colloid and Interface Science* 159, 2010, pp. 189-197.
- [3] Bond T., Goslan E.H., Jefferson B., Roddick F., Fan L., Parsons S.A.: Chemical and biological oxidation of NOM surrogates and effect on HAA formation, *Water Research* 43, 2009, pp. 2615-2622.
- [4] Bazrafshan E., Biglari H., Mostafapour F.K.: Determination of Hydrophobic and Hydrophilic Fractions of Natural Organic Matter in Raw Water of Zahedan Water Treatment Plant, *Journal of Health Scope* 1 (1), 2012, pp. 25-28.
- [5] Cool G., Lebel A., Sadiq R., Rodriguez M.J.: Impact of catchment geophysical characteristics and climate on the regional variability of dissolved organic carbon (DOC) in surface water, *Science of the Total Environment* 490, 2014, pp. 947-956.
- [6] Pietrzyk A., Papciak D.: Materia organiczna w wodach naturalnych – formy występowania i metody oznaczania, *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA*, t. XXXIII, z. 63 (2/I/16), s. 241-252, DOI: 10.7862/rb.2016.126.
- [7] Matilainen A., Gjessing E.T., Lahtinen T., Hed L., Bhatnagar A., Sillanpää A.: An overview of the methods used in the characterisation of natural organic matter (NOM) in relation to drinking water treatment, *Chemosphere* 83 (11), 2011, pp. 1431-1442.
- [8] Vieira R.F., Berenguel A.T., Silva M.A., Vilaca J.S., Domingues V.F., Figueiredo S.A.: Natural organic fractionation along the treatment of water for human consumption, *Global NEST Journal* 14 (4), 2012, pp. 399-406.
- [9] Chem C., Zhang X., He W., Lu W., Han H.: Comparison of seven kinds of drinking water treatment processes to enhance organic material removal: A pilot test, *Science of the Total Environment* 382, 2007, pp. 93-102.
- [10] Urbanowska A., Kabsh-Korbutowicz M.: Characteristics of natural organic matter removed from water along with its treatment, *Environment Protection Engineering* 42 (2), 2016, pp. 183-195.

- [11] Mołczan M., Bityk A.: Usuwanie substancji organicznych z wody w procesie wymiany jonowej, koagulacji i adsorpcji, *Węgiel aktywny w ochronie środowiska i przemyśle*, 2006, s. 204-212.
- [12] Croft J.: *Natural Organic Matter Characterization of Different Source and Treated Waters; Implications for Membrane Fouling Control*, UWSpace, 2012.
- [13] Sharp, E., Jarvis, P., Parsons, S., Jefferson, B.: Impact of fractional character on the coagulation of NOM, *Colloids and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects* 286, 2006, pp. 104-111.
- [14] Zazouli M.A., Nasser S., Mahvi A.H., Mesdaghinia R., Younecian M., Gholami M.: Determination of Hydrophobic and Hydrophilic Fractions of Natural Organic Matter in Raw Water of Jalalieh and Tehranspars Water Treatment Plants (Tehran), *Journal of Applied Sciences* 7 (18), 2007, pp. 2651-2655.
- [15] Yee L.F., Abdullah M.P., Abdullah A., Ishak B., Abidin K.N.Z.: Hydrophobicity characteristics of natural organic matter and the formation of THM, *The Malaysian Journal of Analytical Sciences* 13 (1), 2009, pp. 94-99.
- [16] Ibrahim N., Aziz H.A.: Trends on Natural Organic Matter in Drinking Water Sources and its Treatment, *International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences* 2(3), 2014, pp. 94-106.
- [17] Bhatnagar A., Sillanpää M.: Removal of natural organic matter (NOM) and its constituents from water by adsorption – A review, *Chemosphere* 166, 2017, pp. 497-510.
- [18] Świetlik J., Dąbrowska A., Raczyk-Stanisławiak U., Nawrocki J.: Reactivity of natural organic matter fractions with chlorine dioxide and ozone. *Water Research* 38, 2004, pp. 547-558.
- [19] Kabsch-Korbutowicz M., *Zaawansowane metody usuwania naturalnych substancji organicznych z wody*, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, 2012.
- [20] Chow C.W.K., Fabris R. and Drikas M.: A rapid fractionation technique to characterise natural organic matter for the optimisation of water treatment processes, *Journal of Water Supply: Research and Technology – Aqua*, 53(2), 2004, pp. 85-92.
- [21] Matilainen A., Vieno N., Tuhkanen T.: Efficiency of the activated carbon filtration in the natural organic matter removal, *Environment International* 32, 2006, pp. 324-331.
- [22] Krupińska I.: Wpływ temperatury i pH na skuteczność usuwania zanieczyszczeń z wody podziemnej w procesie koagulacji, *Ochrona Środowiska* 37, 2015, s. 35-42.
- [23] Papciak D., Kaleta J., Puskarewicz A., Tchórzewska-Cieślak B.: The use of biofiltration proces to remove organic matter from groundwater. *Journal of Ecological Engineering* 17 (3), 2016, pp. 119-124.
- [24] <http://www.awa.asn.au/documents/075%20JOMingo.pdf> (dostęp: 01.05.2017 r.).
- [25] Velten S., Knappe D. R. U., Traber J., Kaiser H.P., Von Gunten U., Boller M., Meylan S.: Characterization of natural organic matter adsorption in granular activated carbon adsorbers, *water research* 45, 2011, pp. 3951-3959.
- [26] Xie Y., Zhou H.: Use of BAC for HAA removal - part 2, column study, *Journal – American Water Works Association* 94 (5), 2002, pp. 126-32.
- [27] Lauderdale, C., Chadik, P., Kirisits, M.J., Brown, J.: Engineered biofiltration: enhanced biofilter performance through nutrient and peroxide addition, *Journal – American Water Works Association* 104 (5), 2012, pp. 298-309.
- [28] McKie, M.J., Taylor-Edmonds, L., Andrews, S.A., Andrews, R.C.: Engineered biofiltration for the removal of disinfection by-product precursors and genotoxicity, *Water Research* 81, 2015, pp. 196-207.

- [29] Fu J., Lee W.N., Coleman C., Meyer M., Carter J., Nowack K., Huang C. H.: Pilot investigation of two-stage biofiltration for removal of natural organic matter in drinking water treatment, *Chemosphere* 166, 2017, pp. 311-322.
- [30] Murray, C., Parsons, S.: Removal of NOM from drinking water: Fenton's and photo-Fenton's processes. *Chemosphere* 54, 2004, pp. 1017-1023.
- [31] Sillanpää M., Matilainen A.: Chapter 6: NOM Removal by Advanced Oxidation Processes, *Natural Organic Matter in Water*, 2015, pp. 159-211.
- [32] Bodzek M., Przegląd możliwości wykorzystania technik membranowych w usuwaniu mikroorganizmów i zanieczyszczeń organicznych ze środowiska wodnego, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 16 (1), 2013, s. 5-37.
- [33] Kaewsuk J., Seo G. T.: Verification of NOM removal in MIEX-NF system for advanced water treatment, *Separation and Purification Technology* 80, 2011, pp. 11-19.
- [34] Yamamura H., Okimoto K., Kimura K., Watanabe Y.: Hydrophilic fraction of natural organic matter causing irreversible fouling of microfiltration and ultrafiltration membranes, *Water Research* 54, 2014, pp. 123-136.
- [35] Miao R., Wang L., Lv Y., Wang X., Feng L., Liu Z., Huang D., Yang Y.: Identifying polyvinylidene fluoride ultrafiltration membrane fouling behavior of different effluent organic matter fractions using colloidal probes, *Water Research* 55, 2014, pp. 313-332.
- [36] Rajca M.: Układ hybrydowy wymiana jonowa - ultrafiltracja w oczyszczaniu wód w reaktorze membranowym, *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA*, t. XXX, z. 60 (3/13), 2013, s. 91-100, DOI:10.7862/rb.2013.40.
- [37] Mołczan M., Wolska M.: Skuteczność usuwania rozpuszczonych związków organicznych z wody o małej wartości absorpcji właściwej na żywicy anionowymiennej MIEX®Gold, *Ochrona Środowiska* 38 nr 2, 2016, s. 24-27.
- [38] Albrektiene R., Rimeika M., Voisniene V.: The characterisation of natural organic matter in ground water using rapid fractionation, *WIT Transactions on Ecology and The Environment*, vol 182, 2014.
- [39] Lu J., Zhang T., Ma J., Chen Z.: Evaluation of disinfection by-products formation during chlorination and chloramination of dissolved natural organic matter fractions isolated from a filtered river water, *Journal of Hazardous Materials* 162, 2009, pp. 140-145.

EFFECT OF ORGANIC COMPOUNDS ON THE EFFICIENCY OF WATER TREATMENT PROCESSES – THEORETICAL BASICS

Summary

Natural organic matter (NOM) can be defined as a mixture of complex organic compounds that are commonly found in surface water and groundwater. The high content of NOM in captured water contributes to reduce the organoleptic properties of water, reduce the efficiency of individual treatment processes, and to cause the formation of oxidation and disinfection byproducts (O/DBPs) with carcinogenic and mutagenic properties. Efficient NOM elimination is one of the major problems of water treatment plants.

In this article, a detailed description of organic substances has been made, taking into account the separation of NOM components into hydrophobic fractions (mainly high molecular weight humic substances) and hydrophilic fractions (non-humic compounds). The separation of organic substances is an important issue that is becoming more and more attention nowadays. One of the commonly used methods to determine the hydrophobic and hydrophilic fraction is the

fractionation method using ion exchange resins. Separation of NOM components is mainly used in the determination of the potential O/DBPs formation, since each of the fractions listed exhibits a different degree of reactivity with chemical agents.

In this article the influence of the properties of organic compounds on the efficiency of technological processes used in the treatment of water intended for human consumption has been evaluated. Applied technologies have differentiated efficacy in removal NOM. Therefore, when choosing the right method, attention should be paid to inter alia, on the properties of organic substances contained in the captured water.

Keywords: natural organic matter, hydrophilic fraction, hydrophobic fraction, water treatment

Przesłano do redakcji: 4.12.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Jan KRUPA¹
Andrzej MANTAJ²
Piotr KOSZELNIK³

WYBRANE ASPEKTY PROBLEMATYKI OCHRONY ŚRODOWISKA W OCENIE RESPONDENTÓW

W pracy przedstawiono wypowiedzi 685 osób dotyczące ich codziennych działań na rzecz ochrony oraz oceny stanu środowiska w Polsce i warunkujących go czynników. Zdecydowana większość respondentów pochodziła z woj. podkarpackiego, a ich wiek, płeć, poziom wykształcenia oraz deklarowany stopień zainteresowania problematyką ochrony środowiska pełniły rolę determinant ich opinii w powyższym zakresie. W celu sprawdzenia statystycznej istotności zróżnicowania opinii i praktyk badanych osób posłużono się nieparametrycznym testem chi-kwadrat z uwagi na charakter zebranych informacji.

Stwierdzono, że głównym źródłem informacji o problematyce ochrony środowiska był Internet. Stan zanieczyszczenia środowiska w Polsce został określony, w przeważającej liczbie przypadków, jako średni, przy czym jako główny powód nieprzestrzegania zasad ochrony środowiska podano bezkarność sprawcy. Najpowszechniejszymi działaniami na rzecz zachowania czystości środowiska okazały się: segregacja odpadów, oszczędne zużycie energii elektrycznej oraz wody, a głównym ograniczeniem zachowań proekologicznych był brak czasu oraz sytuacja finansowa respondentów.

Słowa kluczowe: ochrona środowiska, badania ankietowe, rzeczywiste działania respondentów

1. Wstęp

Współczesna cywilizacja wkroczyła w nowy etap rozwoju, którego cechą charakterystyczną jest kształtowanie świadomości ekologicznej społeczeństwa, polegające na zdobyciu wiedzy i zrozumieniu zagrożeń antropogennych, wzajemnych relacji między człowiekiem, a przyrodą, a przede wszystkim podejmo-

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Jan Krupa, Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie, adres pocztowy, e-mail: jkrupa@wsiz.rzeszow.pl

² Andrzej Mantaj, Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie

³ Piotr Koszelnik, Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza, Wydział Budownictwa Inżynierii Środowiska i Architektury

waniu działań i współuczestniczeniu w ochronie środowiska naturalnego [10]. Edukacja ekologiczna, zwłaszcza w obecnych czasach, jest bardzo ważna, bowiem pozwala uświadomić społeczeństwu wagę zagrożeń wynikających z nadmiernej dewastacji środowiska spowodowanej działalnością człowieka. Środowisko, w którym żyje człowiek, a zwłaszcza otaczająca nas przyroda są nieodłącznymi elementami naszego życia, wpływającymi na rozwój gospodarczy różnych dziedzin ludzkiej aktywności [4]. Z kolei świadomość ekologiczna wyraża stosunek człowieka do środowiska przyrodniczego, jest zespołem informacji i przekonań na jego temat, a także systemem wartości, jakim osoba kieruje się wobec niego w swoim praktycznym postępowaniu [7].

Świadomość ekologiczna Polaków wciąż pozostawia wiele do życzenia. Świadczą o tym, m.in. rosące sterty odpadów na zapełnionych już składowiskach, czy ciągle dostrzegane nowe, tzw. dzikie wysypiska w lasach, łąkach czy rowach przydrożnych. Zmiana tych złych przyzwyczajęń społeczeństwa wymaga prowadzenia edukacji ekologicznej od najmłodszych lat oraz kształtowania wrażliwości i świadomości ekologicznej. Wiedza i przyzwyczajenia nabyte we wczesnej młodości wywierają daleko idący wpływ na dorosłe życie człowieka.

Oceniając współczesny stan świadomości ekologicznej polskiego społeczeństwa można wyróżnić jej dwie formy, a mianowicie: świadomość ekologiczną deklarowaną i realizowaną (rzeczywistą). Uzupełnieniem wiedzy ekologicznej i sposobem na podniesienie świadomości ekologicznej powinna być zrównoważona gospodarka.

Prowadzone badania świadomości ekologicznej społeczeństwa powinny mieć na tyle szeroki zakres, aby pozwalały uchwycić co najmniej deklaratywną zgodę na ograniczenia ujemnego wpływu na środowisko w różnych rodzajach działalności, wprowadzania opłat za korzystanie ze środowiska, zwłaszcza na obszarach przyrodniczo cennych, w celu wspierania różnych form ochrony przyrody oraz ograniczenia rodzajowe i ilościowe infrastruktury przemysłowo-komunalnej w środowisku przyrodniczym [8]. Warunkami osiągnięcia równowagi w gospodarce, niezależnie od jej charakteru, są przede wszystkim: właściwe planowanie, nadzór, systematyczna weryfikacja metod kontroli oraz zarządzania. Rozwój zrównoważonej gospodarki nie nastąpi szybko, jeśli osoby zarządzające obiektami produkcyjnymi i usługowymi, a zwłaszcza obszarami o dużych wartościach przyrodniczych, a także społeczeństwo, nie będą postępować odpowiedzialnie, mając na uwadze ochronę środowiska i etykę oraz jakość życia [5].

Celem niniejszego artykułu było przedstawienie wyników badań ankietowych dotyczących, m.in. postrzegania problematyki z zakresu ochrony środowiska, codziennych działań o charakterze proekologicznym, oceny stanu środowiska w Polsce i warunkujących go czynników przez respondentów pochodzących w większości z woj. podkarpackiego, z uwzględnieniem czynników socjodemograficznych.

2. Materiał i metody

Dane stanowiące podstawę analizy badanych zjawisk zebrano w oparciu o wypełnione w 2016 r. przez 685 osób kwestionariusze ankiet. Z województwa podkarpackiego pochodziło 611 respondentów, 30 z lubelskiego, 18 ze świętokrzyskiego, 15 z małopolskiego i po kilka osób z województw śląskiego, opolskiego i mazowieckiego. W zdecydowanej większości do zawartych w kwestionariuszu pytań przypisano kilka alternatywnych odpowiedzi. Odpowiedziom tym należało przypisać, wg poziomu ich akceptacji, mierzone na trójstopniowej skali, rangi. Respondentów podzielono na dwie grupy z uwagi na płeć oraz na trzy grupy ze względu na wiek, poziom wykształcenia oraz deklarowany stopień zainteresowania problematyką ochrony środowiska. Stąd też analizie poddano dwuwymiarowe tablice liczebności z trzema kategoriami rang dla odpowiedzi i dwiema lub trzema kategoriami opisującymi poziom cech w wydzielonych grupach respondentów.

Z uwagi na charakter danych, wyrażonych w tablicach liczebności, do statystycznej oceny zróżnicowania odpowiedzi wykorzystano nieparametryczny test istotności χ^2 (chi-kwadrat). Ocenę powiązań między zmiennymi stanowiącymi kryteria tworzenia tablic poprzedzało zakładanie hipotezy zerowej o ich niezależności. Przyjmując, że p_{ij} jest prawdopodobieństwem przynależności losowo wybranego elementu do klasy i oraz j ze względu na dwie uwzględnione w tablicy zmienne, a p_i i p_j są prawdopodobieństwami brzegowymi w wierszach i kolumnach, hipotezę zerową można zapisać [1]:

$$H_0: p_{ij} = p_i p_j \text{ dla par wskaźników } i, j \quad (1)$$

a hipotezę alternatywną opisuje:

$$H_1: p_{ij} \neq p_i p_j \text{ dla niektórych par wskaźników } i, j \quad (2)$$

Prawdopodobieństwa brzegowe wyznaczono jako:

$$\hat{p}_{i.} = n_{i.} / n \quad (3)$$

oraz

$$\hat{p}_{.j} = n_{.j} / n. \quad (4)$$

Wartości oczekiwane, zakładając niezależność zmiennych, obliczymy:

$$\hat{n}_{ij} = n \hat{p}_{i.} \hat{p}_{.j} = n(n_{i.} / n)(n_{.j} / n) = (n_{i.} n_{.j}) / n. \quad (5)$$

Statystykę testu chi-kwadrat ustalono na podstawie wzoru:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l \frac{(|n_{ij} - \hat{n}_{ij}| - 0,5)^2}{n_{ij}} \quad (6)$$

z uwzględnieniem w liczniku poprawki Yates'a dla tablic 2x2, w celu przybliżenia dyskretnego rozkładu statystyki testu przez ciągły rozkład χ^2 [6].

Liczbę stopni swobody określa iloczyn $(k-1)(l-1)$, a hipotezę zerową odrzucono przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$, gdy $\chi^2 \geq \chi_{\alpha, (k-1)(l-1)}^2$

3. Analiza wyników badań

W celu przybliżenia charakterystyk opisujących badane osoby, w tabeli 1 przedstawiono ich procentowe udziały w całej badanej próbie, z uwagi na wiek, płeć, wykształcenie oraz deklarowany poziom zainteresowania problematyką ochrony środowiska. Cechy te przyjęto za determinanty analizowanych w pracy zjawisk i wykorzystano w drugiej części analizy.

Tabela 1. Charakterystyka respondentów

Table 1. Characteristics of respondents

Wyszczególnienie	Cechy respondentów										
	Wiek			Płeć		Wykształcenie			Zainteresowanie ochroną środowiska		
	≤25	26-45	>45	Kobiety	Mężczyźni	Podst./zaw.	Średnie	Wyższe	Małe	Średnie	Duże
Liczba respondentów	316	270	99	427	258	153	207	325	164	286	235
Procenty respondentów [%]	46,1	39,4	14,5	62,3	37,7	22,3	30,2	47,5	23,9	41,8	34,3

Zródło: opracowanie własne

Pod względem wieku najmniej osób przekroczyło 45 lat, a najwięcej było respondentów młodych – do 25 lat. Liczba kobiet, które wzięły udział w ankiecie była prawie dwukrotnie wyższa od liczby mężczyzn. Osoby z wykształceniem wyższym stanowiły prawie połowę liczby badanych osób, a te które wykazywały przeciętne zainteresowanie problematyką ochrony środowiska stanowiły ok. 42% wszystkich respondentów.

W pierwszej części analizy omówiono badane zjawiska ze względu na powszechność ich występowania, natomiast statystyczną istotność powiązań tych

zjawisk z ich determinantami poddano ocenie w drugiej części tego punktu pracy. W każdej główce tabeli podawano rzeczywistą liczbę osób, które udzieliły odpowiedzi na podaną w niej grupę pytań.

Prezentacja częstości pojawiania się badanych zjawisk rozpoczęta została od opisu stopnia korzystania przez respondentów z różnych źródeł informacji w celu zapoznania się z interesującymi ich aspektami ochrony środowiska, a dane dotyczące tego zagadnienia przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Procentowy udział liczby respondentów z uwagi na częstość korzystania z różnych rodzajów źródeł informacji w zakresie problematyki ochrony środowiska

Table 2. The percentage share of the respondents due to the frequency of using various types of information sources in the field of environmental protection

Ranga źródła informacji	Źródła informacji (683)					
	Internet	Telewizja	Radio	Książka	Prasa	Znajomi
Duża	64,7	58,6	24,3	18,6	18,4	15,4
Średnia	21,4	31,9	47,0	25,2	46,6	28,0
Mała	13,9	9,5	28,7	56,2	35,0	56,6

Źródło: opracowanie własne

Zdecydowanie najczęściej wiadomości w powyższym zakresie uzyskiwano poprzez Internet i w nieco mniejszym stopniu poprzez telewizję. Z pewnością wiąże się to ze stosunkowo niskim wiekiem respondentów, a także z powszechnością korzystania z Internetu i łatwego odnajdywania w nim poszukiwanych informacji. Znamienne jest także to, że rozmowy ze znajomymi w tym przypadku miały najmniejsze znaczenie.

Poziom wiedzy w każdej dziedzinie związany jest przede wszystkim z czasem poświęcanym na jej zgłębianie. W tabeli 3 przedstawiono procentowy udział respondentów z uwagi na czas poświęcony poszerzaniu wiedzy w dziedzinie ochrony środowiska.

Tabela 3. Procentowy udział liczby respondentów wg czasu przeznaczanego na poszerzanie wiedzy z zakresu ochrony środowiska

Table 3. The percentage share of the respondents by the time spent on extending knowledge in the field of environmental protection

Wyszczególnienie	Czas przeznaczany na poszerzanie wiedzy [godz./rok] (685)		
	< 2	2 – 10	> 10
Procenty respondentów	43,4	41,9	14,7

Źródło: opracowanie własne

Przy przyjęciu bardzo łagodnej skali przedziałów czasowych okazuje się, że ponad 43% ogólnej liczby ankietowanych osób nie zajmuje się wcale lub przeznacza, co najwyżej do dwóch godzin rocznie na świadome i celowe zapozna-

wanie się z problematyką ochrony środowiska. Taki wynik można uznać za bardzo niski, aczkolwiek wysoce prawdopodobny. Należy jednak wziąć pod uwagę, że zdobywanie tej wiedzy w wielu przypadkach może odbywać się niejako mimochodem, przy okazji korzystania z poprzednio przedstawionych źródeł informacji w zupełnie innych celach. Jest to jednak bardzo wyraźny sygnał wskazujący na potrzebę szerszego dotarcia do społeczeństwa z informacją dotyczącą tak ważnego aspektu życia społeczno-gospodarczego i to poprzez różne działania.

Kolejnym przedmiotem badań było zebranie opinii respondentów dotyczących stopnia zanieczyszczenia środowiska w Polsce, które przedstawiono w tabeli 4. Większość ankietowanych osób (ok. 42%) uznała, że stopień zanieczyszczenia środowiska w kraju jest średni, lecz niewiele mniejszy ich odsetek wskazał, że zjawisko to przyjęło już duże rozmiary. Świadczy to z jednej strony o wrażliwości badanych na tę problematykę, a jednocześnie na potrzebę edukacji w tym zakresie.

Tabela 4. Procentowy udział liczby respondentów z uwagi na ocenę stopnia zanieczyszczenia środowiska w Polsce

Table 4. Percentage of respondents due to the assessment of the environmental pollution level in Poland

Wyszczególnienie	Stopień zanieczyszczenia środowiska (685)		
	Duży	Średni	Mały
Procenty respondentów	41,8	44,8	13,4

Źródło: opracowanie własne

Do degradacji środowiska naturalnego przyczynia się wiele czynników, a znaczenie ich w ocenie respondentów podano w tabeli 5.

Tabela 5. Procentowy udział liczby respondentów ze względu na opinie o znaczeniu przyczyn nieprzestrzegania w Polsce i UE zasad w zakresie ochrony środowiska

Table 5. Percentage of respondents due to opinions on the significance of the reasons for non-compliance with environmental protection rules in Poland and the EU

Ranga przyczyny	Przyczyny nieprzestrzegania zasad ochrony środowiska (681)				
	Bezkarność sprawcy	Ograniczone i nieskuteczne kontrole	Słaby stan prawny	Interes ekonomiczny	Korupcja
Duża	61,2	49,8	33,6	28,8	26,6
Średnia	20,7	22,4	21,5	17,2	18,2
Mała	18,1	27,8	44,9	54,0	55,2

Źródło: opracowanie własne

Za zdecydowanie najważniejszą przyczynę nieprzestrzegania zasad ochrony środowiska uznano bezkarność sprawcy, a następnie ograniczone i nieskuteczne kontrole. Nieuchronność kary stanowi więc, jak i w innych działaniach niezgod-

nych z prawem, największą gwarancję skuteczności przestrzegania przyjętych unormowań i zasad działania. Uwagę też zwraca najmniejsze znaczenie przypisywane w tym przypadku korupcji, co może świadczyć o korzystnych w tym zakresie zmianach.

Mimo uznania potrzeby podejmowania określonych działań, ich realizacja może napotykać na różnego rodzaju przeszkody. Kolejnym więc celem badań było określenie ograniczeń zachowań przyjaznych środowisku, które przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Procentowy udział liczby respondentów ze względu na znaczenie przyczyn ograniczających szersze zachowania przyjazne środowisku we własnym stylu życia

Table 6. Percentage of respondents due to the importance of causes limiting broader environmentally friendly behavior in their own lifestyle

Ranga ograniczenia	Ograniczenia zachowań proekologicznych (682)				
	Brak czasu	Sytuacja finansowa	Uciążliwość działań	Brak wiedzy	Zachowania innych
Duża	57,9	44,0	35,6	35,5	26,1
Średnia	18,6	22,7	23,8	14,6	19,8
Mała	23,5	33,3	40,6	49,9	54,1

Źródło: opracowanie własne

Przeważająca liczba badanych osób utrudnienie swoich działań na rzecz ochrony środowiska wiązała głównie z brakiem czasu, co znalazło także swój wyraz we wskazaniach na występującą niekiedy uciążliwość właściwych w tym zakresie działań. Oznacza to, że należałoby zainteresowanym tym problemem osobom dowieść nieracjonalności takich usprawiedliwień, szczególnie z uwagi na ich ujemne konsekwencje mogące się pojawić w dłuższej perspektywie czasu. Ponadto powinno się poszukiwać rozwiązań techniczno-organizacyjnych, które ułatwiłyby zachowania proekologiczne społeczeństwa, na potrzebę których wskazują także trudności wynikające z sytuacji finansowej respondentów. Pozytywną oznaką jest wykazana samodzielność postępowania badanych osób, które ich zdaniem, nie zawsze szukają usprawiedliwienia swoich działań w zachowaniach obserwowanych w otoczeniu.

Badane osoby w różnym stopniu wykazywały działania, których celem była ochrona zasobów środowiska naturalnego, a ich ilustrację stanowią dane zebrane w tabeli 7.

Spośród zachowań respondentów na rzecz ochrony środowiska przyrodniczego, z uwagi na przypisywane im znaczenie, trzy z nich występowały najczęściej i polegały one na segregacji odpadów (69,1% osób), a następnie na oszczędzaniu energii elektrycznej (67,5%) oraz wody (63,8%). Praktyki te są z jednej strony wynikiem nowych uregulowań prawnych w organizacji usuwania odpadów, a z drugiej strony łatwością ich stosowania i wiążącymi się z nimi korzyściami ekonomicznymi.

Tabela 7. Procentowy udział liczby respondentów z uwagi na rodzaje własnych praktyk w zakresie ochrony środowiska

Table 7. Percentage of respondents due to the types of their own practices in the field of environmental protection

Znaczenie praktyk	Własne praktyki w zakresie ochrony środowiska (683)							
	Segreguje odpady	Oszczędza energię elektryczną	Oszczędza wodę	Korzysta z źrówek energooszczędnych	Korzysta z własnych opakowań do zakupów	Sklada zużyte baterie we właściwych punktach	Korzysta z ładowalnych akumulatorów	Uczestniczy w akcjach na rzecz ochrony środowiska
Duże	69,1	67,5	63,8	31,5	28,5	17,4	12,3	9,8
Średnie	18,2	20,1	17,9	33,2	37,5	33,1	22,0	18,2
Małe	12,7	12,4	18,3	35,3	34,0	49,5	65,7	72,0

Źródło: opracowanie własne

Jednym ze sposobów ograniczania obciążania środowiska jest minimalizowanie i/lub stosowanie odpowiednich opakowań, którymi posługujemy się podczas prawie codziennie dokonywanych zakupów. Stosowane w tym względzie praktyki badanych osób zaprezentowano w tabeli 8.

Łatwo zauważyć, że z opakowań nie korzysta tylko niewielki odsetek badanych i to zapewne w sytuacjach sporadycznych przy nabywaniu niewielu artykułów. Największe znaczenie jako opakowaniu zbiorczemu na zakupione produkty przypisuje się torbom z tkanin, a więc opakowaniom wielokrotnego użytku, będącym zwykle własnością klienta. Następnym rodzajem opakowania, z uwagi na częstość jego stosowania, są biodegradowalne reklamówki foliowe, a cieszyć może fakt zdolności ich rozpoznawania przez kupujących. Najbardziej, aczkolwiek jeszcze zbyt często, stosuje się w powyższym celu reklamówki foliowe.

Tabela 8. Procentowy udział liczby respondentów ze względu na korzystanie z różnych rodzajów opakowań zbiorczych podczas zakupów

Table 8. Percentage of respondents due to the use of different types of collective packaging during shopping

Znaczenie opakowania	Rodzaj opakowania (681)				
	Torba z tkaniny	Biodegradowalna reklamówka foliowa	Torba papierowa	Reklamówka foliowa	Nie korzysta
Duże	51,8	48,6	47,7	41,1	10,7
Średnie	23,2	25,7	25,3	18,8	7,1
Małe	25,0	25,7	27,0	40,1	82,2

Źródło: opracowanie własne

Mając na uwadze podejmowane przez respondentów praktyki na rzecz ochrony środowiska, poddano ocenie ich poglądy w zakresie podmiotów odpowiedzialnych za działania w tym zakresie, które przedstawiono w tabeli 9.

Tabela 9. Procentowy udział liczby respondentów ze względu na ocenę stopnia odpowiedzialności podmiotów za stan środowiska

Table 9. The percentage share of respondents due to the assessment of the degree of responsibility of entities for the state of the environment

Ranga odpowiedzialności	Odpowiedzialni za stan środowiska (684)				
	Wszyscy mieszkańcy	Kierownictwo firm gospodarczych / instytucji	Władze państwa	Samorząd	Instytucje do tego powołane
Duża	59,2	37,9	35,5	33,8	33,6
Średnia	12,4	22,5	20,2	23,8	21,1
Mała	28,4	39,6	44,3	42,4	45,3

Źródło: opracowanie własne

Największy stopień odpowiedzialności za stan środowiska przypisali respondenci wszystkim mieszkańcom kraju, będąc świadomymi znaczenia ich wielkiemu łącznemu oddziaływaniu na otoczenie, przy czym odsetek osób przekonanych o indywidualnej odpowiedzialności nie przekraczał 60% ogólnej liczby respondentów. Kolejnych podmiotów, odpowiedzialnych w powyższym zakresie, upatrywano w kierownictwach firm, co wynika przede wszystkim z tego, że mogły one swymi działaniami bezpośrednio oddziaływać na degradację środowiska, w tym zwłaszcza przyrodniczego.

Ostatnim przedmiotem analizy były opinie badanych osób dotyczące możliwości ich osobistego finansowego wsparcia działań na rzecz ochrony środowiska, które zaprezentowano w tabeli 10. Największą akceptację respondentów uzyskała forma dobrowolnego finansowego wsparcia ochrony środowiska. Na dru-

Tabela 10. Procentowy udział liczby respondentów z uwagi na akceptację sposobów finansowego wsparcia ochrony środowiska

Table 10. The percentage share of the respondents due to the acceptance of financial support for environmental protection

Ranga sposobu wsparcia	Sposoby wsparcia ochrony środowiska (682)		
	Dobrowolne wsparcie finansowe	Wyższe ceny	Wyższe podatki
Duża	40,2	37,2	22,6
Średnia	29,6	34,5	35,9
Mała	30,2	28,3	41,5

Źródło: opracowanie własne

gim miejscu znalazła się możliwość podwyżki cen produktów, które jednak można ewentualnie omijać, kupując tańsze substytuty określonych wyrobów. Najmniej akceptowalnym sposobem tego wsparcia były wyższe podatki, które są jednak najtrudniejsze do uniknięcia przez społeczeństwo. Świadczy to zapewne z jednej strony o przywiązaniu dużej wagi do wolności podejmowania decyzji, a z drugiej strony o braku nadwyżek finansowych na ten cel wśród badanych osób.

Druga część analizy, w której omówiono tylko te zjawiska, które wykazały statystycznie istotne powiązania z ich determinantami, rozpoczęta została od analizy zależności między charakterystykami ankietowanych osób a wykorzystywanymi przez nie źródłami informacji z zakresu ochrony środowiska. Odpowiednie dane opisujące te związki przedstawiono w tabeli 11.

Tabela 11. Procentowy udział liczby respondentów z uwagi na zróżnicowanie znaczenia źródeł informacji

Table 11. Percentage of respondents due to the diversity of the importance of information sources

Źródło informacji	Znaczenie źródła informacji	Charakterystyki respondentów (683)								
		Wiek			Wykształcenie			Zainteresowanie ochroną środowiska		
		≤ 25	26-45	>45	Podst./zaw.	Średnie	Wyższe	Małe	Średnie	Duże
Prasa	Duże	12,1**	21,1	31,3	-	-	-	-	-	-
	Średnie	47,8	47,8	39,4	-	-	-	-	-	-
	Małe	40,1	31,1	29,3						
Książka	Duże	16,5**	23,3	12,1	-	-	-	27,2**	12,3	17,1
	Średnie	21,7	26,7	32,3	-	-	-	24,7	25,4	25,6
	Małe	61,8	50,0	55,6	-	-	-	48,1	62,3	57,3
Radio	Duże	19,7*	26,3	33,3	-	-	-	-	-	-
	Średnie	52,9	43,3	38,4	-	-	-	-	-	-
	Małe	27,4	30,4	28,3	-	-	-	-	-	-
Telewizja	Duże	-	-	-	60,8*	64,1	54,0	51,1*	62,0	63,4
	Średnie	-	-	-	33,3	28,6	33,3	35,7	29,6	30,5
	Małe	-	-	-	5,9	7,3	12,7	13,2	8,4	6,1
Internet	Duże	73,2**	60,4	49,5	58,2*	64,6	67,9	17,0*	26,1	31,7
	Średnie	16,9	24,8	26,3	19,6	23,3	21,0	47,7	47,2	45,7
	Małe	9,9	14,8	24,2	22,2	12,1	11,1	35,3	26,7	22,6
Znajomi	Duże	14,7*	13,0	24,3	-	-	-	-	-	-
	Średnie	32,4	24,4	23,2	-	-		-	-	-
	Małe	52,9	62,6	52,5	-	-	-	-	-	-

* - istotność przy prawdopodobieństwie $p=0,05$ /significance at $p=0.05$ probability

** - istotność przy prawdopodobieństwie $p=0,01$ /significance at $p=0,01$ probability

Źródło: opracowanie własne

Osoby wiekowo najstarsze częściej jako źródła informacji w zakresie ochrony środowiska wykorzystywały prasę, radio oraz wymianę poglądów ze znajomymi. Respondenci najmłodszy zdecydowanie największe znaczenie przypisywali Internetowi, natomiast osoby pośredniej grupy wiekowej najbardziej ceniły sobie w tym względzie książki, co świadczyłoby o ich chęci bardziej gruntownego poznania problematyki ochrony środowiska. Z kolei osoby o wykształceniu średnim częściej w tym zakresie korzystały z telewizji, a osoby z wykształceniem wyższym – z Internetu. Obydwa te środki przekazu najpowszechniej wykorzystywane były też przez osoby deklarujące większe zainteresowanie tym zagadnieniem.

Czas przeznaczony przez badane osoby na zdobywanie wiedzy, dotyczącej zagadnień ochrony środowiska zaprezentowano w tabeli 12. Zebrane dane wskazują bardzo wyraźnie, że wraz z wiekiem, a szczególnie ze wzrostem stopnia zainteresowania ochroną środowiska, czas poświęcany na zapoznawanie się z zagadnieniami ekologii rośnie. Ponadto zauważyć można, że czas ten był dłuższy wśród osób z wyższym wykształceniem.

Tabela 12. Procentowy udział liczby respondentów z uwagi na czas przeznaczony poszerzaniu wiedzy z zakresu ochrony środowiska [godz./rok]

Table 12. Percentage of respondents due to the time spent on extending knowledge in the field of environmental protection [hour/y]

Czas na poszerzenie wiedzy	Charakterystyki respondentów (685)								
	Wiek			Wykształcenie			Zainteresowanie ochroną środowiska		
	≤ 25	26-45	>45	Podst./zaw.	Średnie	Wyższe	Małe	Średnie	Duże
> 10	11,1*	15,6	24,2	11,1**	6,3	21,9	3,1**	8,7	30,2
2 – 10	41,6	44,8	35,4	39,9	43,0	42,2	29,9	47,6	43,4
< 2	47,5	39,6	40,4	49,0	50,7	36,0	67,1	43,7	26,4

* - istotność przy prawdopodobieństwie $p=0,05$ /significance at $p=0,05$ probability

** - istotność przy prawdopodobieństwie $p=0,01$ /significance at $p=0,01$ probability

Źródło: opracowanie własne

Wyniki oceny stopnia zanieczyszczenia środowiska w Polsce przez respondentów zebrano w tabeli 13. W tym przypadku statystycznie istotne różnice w poglądach na to zjawisko różnicowało tylko osoby o różnym stopniu zainteresowania problematyką ekologii i im był on wyższy, tym większa była surowość ocen skali aktualnego obciążenia środowiska. Świadczy to wyraźnie o powiązaniu tego zainteresowania z wrażliwością respondentów na zagrożenia ochrony przyrody.

Tabela 13. Procenty liczby respondentów o różnym stopniu zainteresowania problematyką ochrony środowiska z uwagi na ocenę stopnia zanieczyszczenia środowiska w Polsce

Table 13. Percentages of respondents with varying degrees of interest in the issues of environmental protection due to the assessment of the environmental pollution level in Poland

Stopień zanieczyszczenia środowiska	Zainteresowanie ochroną środowiska (685)		
	małe	średnie	duże
Wysoki	34,1**	42,7	46,0
Średni	37,2	46,9	47,7
Niski	28,7	10,5	6,4

** - istotność przy prawdopodobieństwie $p=0,01$ /significance at $p=0,01$ probability

Źródło: opracowanie własne

Znaczenie, podanych w pierwszej części analizy, kilku przyczyn nieprzestrzegania w Polsce i Europie zasad ochrony środowiska, różniło badane osoby w sposób statystycznie istotny tylko z uwagi na ocenę interesów ekonomicznych podmiotów, mogących mieć niekorzystny wpływ na jakość środowiska, co ilustrują dane w tabeli 14. Na doraźne korzyści, o charakterze głównie ekonomicznym, a związane z zagrożeniem dla otoczenia przyrodniczego, częściej wskazywały kobiety oraz osoby z wykształceniem wyższym.

Tabela 14. Procentowy udział liczby respondentów wskazujących na interes ekonomiczny Organizacji, jako przyczynę nieprzestrzegania w Polsce i UE zasad ochrony środowiska

Table 14. The percentage share of respondents indicating the economic interest of the Organization, as the reason for non-compliance with the principles of environmental protection in Poland and the EU

Znaczenie interesu ekonomicznego	Charakterystyki respondentów (681)				
	Płeć		Wykształcenie		
	Kobiety	Mężczyźni	Podst./zaw.	Średnie	Wyższe
Duże	30,6*	25,8	25,2**	19,8	36,2
Średnie	19,3	13,7	15,9	19,3	16,4
Małe	50,1	60,5	58,9	60,9	47,4

* - istotność przy prawdopodobieństwie $p=0,05$ /significance at $p=0,05$ probability

** - istotność przy prawdopodobieństwie $p=0,01$ /significance at $p=0,01$ probability

Źródło: opracowanie własne

Spośród podanych w pierwszej części analizy przyczyn ograniczających zachowania proekologiczne za najważniejsze respondenci wskazywali brak czasu oraz swoją sytuację finansową. Ze wszystkich wymienionych powodów, czterzy z nich różnicowały w sposób statystycznie istotny badane osoby, co zaprezentowano w tabeli 15.

Tabela 15. Procentowy udział liczby respondentów z uwagi na ograniczenia zachowań przyjaznych środowisku we własnym stylu życia

Table 15. Percentage of respondents due to the limitations of environmentally friendly behaviors in their own lifestyle

Ograniczenia	Znaczenie ograniczeń	Charakterystyki respondentów (682)							
		Wiek			Płeć		Zainteresowanie ochroną środowiska		
		≤ 25	26-45	>45	Kobiety	Mężczyźni	Małe	Średnie	Duże
Brak wiedzy	Duże				34,2**	37,5	41,7*	35,9	30,6
	Średnie				12,0	19,1	17,8	15,5	11,5
	Małe				53,8	43,4	40,5	48,6	57,9
Brak środków finansowych	Duże						36,8**	41,9	51,5
	Średnie						33,1	16,6	23,0
	Małe						30,1	41,5	25,5
Uciążliwość działań	Duże	30,2**	37,2	48,5					
	Średnie	23,9	23,8	23,2					
	Małe	45,9	39,0	28,3					
Zachowania innych osób	Duże	32,2*	20,8	21,2	27,9*	23,1	20,9*	31,3	23,4
	Średnie	17,2	22,3	21,2	21,6	16,8	15,9	19,0	23,4
	Małe	50,6	56,9	57,6	50,5	60,2	63,2	49,7	53,2

* - istotność przy prawdopodobieństwie $p=0,05$ /significance at $p=0,05$ probability** - istotność przy prawdopodobieństwie $p=0,01$ /significance at $p=0,01$ probability

Źródło: opracowanie własne

Brakowi wiedzy, jako ograniczeniu działań na rzecz ochrony środowiska, większe znaczenie przypisywali mężczyźni oraz osoby o mniejszym zainteresowaniu ekologią, które jednocześnie mniejszą wagę przywiązywały do problemów finansowych związanych z takimi zachowaniami. Z kolei u osób starszych większą przeszkodę w przyjmowaniu postaw proekologicznych stanowiła związana z nimi uciążliwość działań, natomiast zachowania innych osób oddziaływały pod tym względem bardziej demotywująco na respondentów młodszych i mniej zainteresowanych tą problematyką oraz na kobiety. W pewnych grupach badanych osób daje się więc zauważyć łańcuch powiązań polegający na tym, że przykład jednych osób może oddziaływać na zachowania innych, a sposobem na przerwanie tego łańcucha jest między innymi zwiększenie wiedzy na rzecz ochrony środowiska. Ważną sprawą staje się także ułatwienie działań proekologicznych, które na pewno są bardziej uciążliwe dla osób starszych.

Każda z badanych osób w jakiś sposób realizowała zasady ochrony środowiska poprzez własne praktyki, a zróżnicowanie wybieranych przez nie działań podano w tabeli 16.

Tabela 16. Procenty liczby respondentów z uwagi na stosowane praktyki w zakresie ochrony środowiska

Table 16. Percentages of respondents due to the applied practices in the field of environmental protection

Stosowane praktyki	Znaczenie praktyk	Charakterystyki respondentów (683)												
		Wiek			Płeć		Wykształcenie			Zainteresowanie ochroną środowiska				
		≤ 25	26-45	> 45	Kobiety	Mężczyźni	Podst./zaw.	Średnie	Wyższe	Małe	Średnie	Duże		
Oszczędz. energii elektr.	Duże	62,0*	73,5	68,7										
	Średnie	21,8	19,0	17,2										
	Małe	16,2	7,5	14,1										
Segregacja odpadów	Duże	62,3**	74,6	75,8			62,8**	63,8	75,5	56,7**	69,4	77,5		
	Średnie	20,9	14,9	18,2			23,5	17,9	15,8	23,2	17,2	15,7		
	Małe	16,8	10,5	6,0			13,7	18,3	8,7	20,1	13,4	6,8		
Akcje ochrony środowiska	Duże				7,8**	13,2								
	Średnie				16,0	21,8								
	Małe				76,3	65,0								
Własne opak. do zakupów	Duże				28,6*	28,4	34,6*	32,4	23,2					
	Średnie				41,1	31,5	34,7	39,1	37,8					
	Małe				30,3	40,1	30,7	28,5	39,0					
Deponowanie zuż. baterii	Duże	22,1*	14,2	11,1										
	Średnie	30,7	33,6	39,4										
	Małe	47,2	52,2	49,5										
Żarówki energooszczędne	Duże						26,1*	31,9	33,7	42,7**	29,2	26,4		
	Średnie						26,8	36,7	34,1	25,6	37,3	33,6		
	Małe						47,1	31,4	32,2	31,7	33,5	40,0		
Ładowalne akumulat.	Duże				11,7**	13,2								
	Średnie				16,7	30,7								
	Małe				71,6	56,0								

* - istotność przy prawdopodobieństwie p=0,05 /significance at p=0.05 probability

** - istotność przy prawdopodobieństwie p=0,01 /significance at p=0.01 probability

Źródło: opracowanie własne

Osoby starsze wykazywały, względem osób młodszych, większe przywiązanie uwagi do oszczędzania energii elektrycznej oraz segregacji odpadów, mniejszą wagę przykładając do składania zużytych baterii w wyznaczonych do tego celu punktach. Kobiety większe znaczenie, niż mężczyźni nadawały wykorzystywaniu własnych opakowań przy zakupach, natomiast mniejsze do uczestnictwa w akcjach związanych z ochroną środowiska i stosowania ładowalnych akumulatorów w miejsce tradycyjnych baterii. Z kolei absolwenci szkół wyższych częściej segregowali odpady powstające w ich gospodarstwach domowych i stosowali żarówki energooszczędne, natomiast rzadziej widzieli potrzebę stosowania własnych opakowań zbiorczych przy robieniu zakupów. Osoby wykazujące większe zainteresowanie ekologią w wyraźny sposób częściej segregowały odpady, mniejszą rangę przypisując stosowaniu żarówek energooszczędnych.

Zdecydowana większość respondentów korzystała podczas zakupów z opakowań zbiorczych. Ich zachowania różniły się jednak pod względem rodzaju tych opakowań, co obrazują dane zawarte w tabeli 17.

Tabela 17. Procentowy udział liczby respondentów z uwagi na praktyki dotyczące korzystania z różnych rodzajów opakowań zbiorczych podczas zakupów

Table 17. Percentage of respondents due to the practice of using different types of collective packaging during shopping

Stosowane opakowania	Znaczenie rodzaju opakowań	Charakterystyki respondentów (681)										
		Wiek			Płeć		Wykształcenie			Zainteresowanie ochroną środowiska		
		≤25	26-45	>45	Kobiety	Mężczyźni	Podst./zaw.	Średnie	Wyższe	Małe	Średnie	Duże
Torba z tkaniny	Duże	45,1**	58,4	55,6			45,4**	45,2	59,1	38,0**	52,1	61,1
	Średnie	23,6	23,4	21,2			25,0	23,3	22,3	24,6	25,4	19,7
	Małe	31,3	18,2	23,2			29,6	31,5	18,6	37,4	22,5	19,2
Biodegradowalna torba foliowa	Duże	47,3**	51,3	45,5			42,1**	47,1	52,6			
	Średnie	21,1	29,4	30,3			21,7	25,2	27,9			
	Małe	31,6	19,3	24,2			36,2	27,7	19,5			
Reklamówka foliowa	Duże				36,6**	48,6	48,0*	42,2	37,1	50,9**	46,1	28,2
	Średnie				20,4	16,1	11,2	18,9	22,3	17,2	16,9	22,2
	Małe				43,0	35,3	40,8	38,8	40,6	31,9	37,0	49,6
Nie korzysta	Duże	14,7*	7,4	7,1			15,8**	14,1	6,2			
	Średnie	7,7	6,3	7,1			15,1	5,3	4,3			
	Małe	77,6	86,3	85,9			69,1	80,6	89,5			

* - istotność przy prawdopodobieństwie $p=0,05$ /significance at $p=0.05$ probability

** - istotność przy prawdopodobieństwie $p=0,01$ /significance at $p=0,01$ probability

Źródło: opracowanie własne

Przedstawione dane wskazują, że osoby starsze przy zakupach częściej wykorzystywały siatki z tkaniny, osoby ze średniej grupy wiekowej – biodegradowalne torebki foliowe, a osobom najmłodszym stosunkowo najczęściej opakowania takie były zbędne. Z kolei mężczyźni, powszechniej aniżeli kobiety, korzystali z torebek foliowych. Absolwenci uczelni większą wagę przypisywali opakowaniom z tkanin, stosowaniu plastikowych toreb biodegradowalnych oraz rzadziej posługiwali się zwykłymi torebkami foliowymi. Statystycznie istotne zróżnicowanie w zakresie rodzaju stosowanych opakowań zbiorczych wystąpiło również wyraźnie w zależności od stopnia zainteresowania respondentów problematyką ochrony środowiska i im było ono większe, tym powszechniej stosowano torby z tkanin i rezygnowano z torebek foliowych.

Kolejne pytanie stawiane badanym osobom dotyczyło podmiotów odpowiedzialnych za stan środowiska w Polsce, a zróżnicowanie opinii w tym zakre-

się przedstawiono w tabeli 18. Z pierwszej części analizy wynika, że największą odpowiedzialność za stan środowiska przypisywano postępowaniu wszystkich mieszkańców. Zróżnicowanie opinii badanych osób w tym przypadku polegało na tym, że respondenci najmłodszy częściej w tym zakresie wskazywali na rolę kierownictwa firm i instytucji, natomiast osoby ze średniej grupy wiekowej na powinność samorządów. Z kolei kobiety w większym stopniu, niż mężczyźni uważały, że odpowiedzialność ta ciąży na wszystkich mieszkańcach kraju. Podobną opinię wyrażali absolwenci szkół wyższych, którzy jednocześnie mniejszą rangę w tym względzie nadawali właściwym instytucjom. Z kolei respondenci najmniej zainteresowani problematyką ochrony środowiska potrzebę dbania o otoczenie najczęściej upatrywali jako zadanie samorządów, natomiast władzom państwowym odpowiedzialność taką przypisywały osoby o przeciętnym zainteresowaniu ekologią.

Tabela 18. Procentowy udział liczby respondentów z uwagi na oceny podmiotów odpowiedzialnych za stan środowiska w Polsce

Table 18. Percentage share of the number of respondents due to the assessment of entities responsible for the state of the environment in Poland

Odpowiedzialni	Stopień odpowiedzialności	Charakterystyki respondentów (684)										
		Wiek			Płeć		Wykształcenie			Zainteresowanie ochroną środowiska		
		≤ 25	26-45	>45	Kobiety	Mężczyźni	Podst./zaw.	Średnie	Wyższe	Małe	Średnie	Duże
Wszyscy	Duży				64,1 **	51,2	32,2 *	28,0	38,1			
	Średni				10,3	15,9	27,0	21,3	24,0			
	Mały				25,6	32,9	40,8	50,7	37,9			
Samorząd	Duży	28,8*	40,0	32,6						44,5 **	29,0	32,1
	Średni	23,4	23,0	27,6						16,5	25,9	26,5
	Mały	47,8	37,0	39,8						39,0	45,1	41,4
Kierownictwo firm i/lub instytucji	Duży	38,3*	29,2	30,6								
	Średni	22,8	20,4	17,4								
	Mały	38,9	50,4	52,0								
Władze państwa	Duży									33,5*	37,8	34,2
	Średni									28,1	19,6	15,4
	Mały									38,4	42,7	50,4
Właściwe instytucje	Duży						31,6*	42,0	29,2			
	Średni						19,7	18,9	23,1			
	Mały						48,7	39,1	47,7			

* - istotność przy prawdopodobieństwie $p=0,05$ /significance at $p=0.05$ probability

** - istotność przy prawdopodobieństwie $p=0,01$ /significance at $p=0,01$ probability

Źródło: opracowanie własne

Ostatnie pytanie w ankiecie dotyczyło stopnia akceptacji różnych form finansowego wsparcia działań na rzecz ochrony środowiska, a dane ilustrujące opinie dotyczące tego problemu przedstawiono w tabeli 19.

Na wyższe podatki, jako źródło finansowego wsparcia ochrony środowiska, najczęściej wskazywali respondenci ze średniej grupy wiekowej, a także ze średnim wykształceniem. Pogląd o dobrowolnych w tym względzie wydatkach znalazł z kolei najpowszechniejsze wsparcie wśród osób najmłodszych, z wykształceniem średnim oraz wykazujących przeciętne zainteresowanie problematyką ekologii.

Tabela 19. Procentowy udział liczby respondentów z uwagi na akceptację różnych sposobów finansowego wsparcia ochrony środowiska

Table 19. Percentage of respondents due to the acceptance of various financial support for environmental protection

Rodzaj wsparcia finansowego	Znaczenie wsparcia	Charakterystyki respondentów (682)								
		Wiek			Wykształcenie			Zainteresowanie ochroną środowiska		
		≤ 25	26-45	>45	Podst. /zaw.	Średnie	Wyższe	Małe	Średnie	Duże
Dobrowolne	Duże	47,9**	32,2	37,4	26,4*	18,9	23,2	38,4*	46,5	33,6
	Średnie	25,9	31,1	37,4	36,8	28,6	40,1	29,3	26,2	34,1
	Małe	26,2	36,7	25,2	36,8	52,4	36,7	32,3	27,3	32,3
Wyższe podatki	Duże	20,1*	26,3	20,2	37,5**	49,0	35,8	-	-	-
	Średnie	34,5	39,6	30,3	29,6	29,6	29,6	-	-	-
	Małe	45,4	34,1	49,5	32,9	21,4	34,6	-	-	-

* - istotność przy prawdopodobieństwie $p=0,05$ /significance at $p=0,05$ probability

** - istotność przy prawdopodobieństwie $p=0,01$ /significance at $p=0,01$ probability

Źródło: opracowanie własne

4. Dyskusja

Badania świadomości ekologicznej Polaków”, przeprowadzone na przełomie września i października 2005 r. w formie wywiadu bezpośredniego na reprezentatywnej próbie 1000 Polaków wykazały, że aż 87% respondentów nie segreguje surowców wtórnych (plastik, szkło, aluminium, papier) i nie wykorzystuje w tym celu specjalnych pojemników. Ponadto 46% respondentów uważało, że zachowanie człowieka w sposób zdecydowany wpływa na jakość środowiska naturalnego (na jego ochronę, bądź dewastację), natomiast 40% osób wyraziło opinię, że powiązanie takie raczej występuje. Z kolei 54% respondentów zdecydowanie twierdziło, że ich zachowanie w codziennym życiu można określić jako proekologiczne [2].

Przeprowadzone w 2005 r., na grupie 800 mieszkańców z terenu całej Polski, badania dotyczące świadomości ekologicznej, a ukierunkowane na problematykę wpływu stanu środowiska na zdrowie wykazały, że zaledwie 1/5 respondentów nie dostrzega zależności pomiędzy zdrowiem, a stanem środowiska. Prawie połowa badanych uznała, że posiada dostęp do informacji o stanie środowiska oraz wpływie zanieczyszczeń na zdrowie człowieka, jednak ponad 1/3 z nich uważała, że ma do nich ograniczony dostęp. Ponadto zdecydowana większość respondentów była przekonana o tym, że swoim indywidualnym postępowaniem przyczynia się do poprawy stanu środowiska, a w ten sposób i własnego zdrowia [9].

Ocenę postępujących przemian świadomości ekologicznej Polaków, umożliwiają również badania przeprowadzone w listopadzie 2010 r. Ponad 80% uczestniczących w nich respondentów uważało, że podejmując indywidualne działania, może się przyczynić do poprawy stanu środowiska w swoim miejscu zamieszkania, przy czym podobnego zdania w 2008 r. było 10% mniej osób. Dwie trzecie respondentów wskazywało, iż wpływ ten przejawia się głównie w segregowaniu odpadów. Ponadto trzy czwarte badanych uznało, iż niestandardowe kampanie prośrodowiskowe przyczyniają się do podniesienia poziomu wiedzy o ochronie środowiska i mają wpływ na kształtowanie nawyków oraz postaw proekologicznych. Stwierdzono jednocześnie, że na podstawie uzyskanych wyników badań nie można wnioskować, iż właściwe postawy respondentów w postępowaniu z odpadami mają stały charakter [3].

Przeprowadzona analiza dostępnych badań świadomości ekologicznej Polaków wyraźnie pokazuje, że społeczeństwo polskie pod koniec lat 80. i 90. ubiegłego stulecia znajdowało się w okresie kształtowania świadomości ekologicznej. Z jednej strony mieszkańcy naszego państwa zdawali sobie sprawę z tego, jakie znaczenie ma ochrona środowiska dla ich życia i zdrowia, a z drugiej strony nie wyciągano z posiadanej na ten temat wiedzy praktycznych wniosków. Ogromną rolę w kształtowaniu świadomości ekologicznej Polaków odegrały powstałe wówczas organizacje i stowarzyszenia proekologiczne.

5. Podsumowanie

Wyzwania środowiskowe wymagają wdrożenia nowych wzorców postępowania przez współczesne społeczeństwo, przez zarządzających obiektami przemysłowymi, instytucje zajmujące się problematyką ochrony środowiska oraz władze rządowe i organizacje pozarządowe. Podstawą powinny być działania związane z edukacją wszystkich użytkowników środowiska oraz kształtowanie właściwych postaw w zakresie produkcji dóbr i świadczenia usług oraz racjonalne korzystanie z nich. Opracowanie procedur możliwych do praktycznego zastosowania i przestrzeganie ich może w znacznej mierze przyczynić się do wymiernych rezultatów w zakresie ochrony środowiska.

Lokalne samorządy i jednostki komunalne coraz częściej postrzegają zarządzanie środowiskowe jako możliwość zmniejszenia obciążenia środowiska przyrodniczego, obniżenia kosztów funkcjonowania, wzrostu efektywności, a także poprawienia swojego wizerunku [4].

Przeprowadzone badania, na podstawie analizy częstości występowania rozpatrywanych w pracy zjawisk, bez uwzględniania ich determinant, pozwalają stwierdzić, że głównym źródłem informacji o problematyce ochrony środowiska był Internet. Czas przeznaczony na zapoznawanie się z tymi zagadnieniami, w większości przypadków nie przekraczał dwóch godzin w ciągu roku, co wskazuje na zbyt małe zainteresowanie tą problematyką wśród respondentów.

Stan zanieczyszczenia środowiska w Polsce został określony, w przeważającej liczbie przypadków, jako średni przy czym jako główny powód nieprzestrzegania zasad ochrony środowiska podano bezkarność sprawcy. Najpowszechniejszymi działaniami na rzecz zachowania czystości środowiska okazały się: segregacja odpadów, oszczędzanie zużycia energii elektrycznej oraz wody, a głównym ograniczeniem zachowań proekologicznych był brak czasu oraz sytuacja finansowa respondentów.

Przy okazji dokonywania zakupów najczęściej umieszczano je w torbach z tkaniny, a rzadziej w biodegradowalnych torbach foliowych i papierowych, co dowodzi znaczącej wrażliwości badanych osób na obciążenie środowiska trudno rozkładającymi się odpadami. Obowiązek dbania o środowisko przypisywano, w przeważającej mierze wszystkim mieszkańcom, a za najbardziej akceptowalną formę finansowego wsparcia działań na rzecz ochrony środowiska uznano dobrowolne w tym zakresie działania.

W drugiej części analizy poddano statystycznej ocenie uwarunkowania kształtowania się postaw oraz zachowania proekologiczne respondentów. Najczęstszą przyczyną zróżnicowania popularności różnych źródeł informacji o ochronie środowiska wśród respondentów stanowił ich wiek. Z najbardziej popularnego w tym względzie Internetu korzystały częściej osoby najmłodsze, mocniej zainteresowane ekologią oraz absolwenci szkół wyższych. Z kolei najwięcej czasu na poszerzanie swojej wiedzy o problematyce ochrony środowiska przeznaczaly osoby w większym stopniu interesujące się tym zagadnieniem, a także osoby z wykształceniem wyższym oraz z najstarszej grupy wiekowej.

Odmienność opinii w zakresie poziomu zanieczyszczenia środowiska w Polsce wystąpiła tylko między osobami o różnym stopniu zainteresowania ochroną środowiska, przy czym najbardziej krytyczne opinie w tym względzie pochodziły od osób, które najintensywniej zajmowały się tą tematyką.

Statystycznie istotne zróżnicowanie ocen dotyczących pięciu analizowanych przyczyn nieprzestrzegania zasad ochrony środowiska w Polsce i UE wystąpiło tylko w przypadku interesu ekonomicznego firm, na co z większym naciskiem wskazywały kobiety i absolwenci wyższych uczelni.

Opinie dotyczące czynników ograniczających działania proekologiczne najczęściej różniły respondentów ze względu na fakt uwzględniania przez nie za-

chowania innych osób. Zjawisko to występowało silniej u osób młodszych, wykazujących przeciętne zainteresowanie problematyką ochrony środowiska oraz u kobiet.

Spośród własnych praktyk dotyczących ochrony środowiska najczęściej podawano segregację odpadów oraz działania mające na celu oszczędzanie energii elektrycznej i wody. Pod względem dwóch pierwszych z wymienionych praktyk statystycznie istotne różnice między badanymi osobami polegały na tym, że do segregacji odpadów największą wagę przykładali osoby najstarsze, a do oszczędzania energii elektrycznej – osoby należące do średniej grupy wiekowej.

Z kolei powszechność stosowania różnego rodzaju opakowań podczas zakupów najmocniej różnicowała osoby o różnym poziomie wykształcenia, przy czym korzystanie z biodegradowalnych reklamówek foliowych oraz toreb z tkanin najbardziej powszechne było wśród absolwentów uczelni, a ze zwykłych reklamówek foliowych – wśród osób z wykształceniem podstawowym i zawodowym.

Na odpowiedzialność za stan środowiska wszystkich obywateli częściej niż mężczyźni wskazywały kobiety, a spośród osób o różnym stopniu zainteresowania ochroną środowiska – osoby najbardziej zajmujące się tą problematyką.

Spośród różnych form akceptacji finansowego wsparcia ochrony środowiska w przeważającej mierze wskazywano na dobrowolne w tym zakresie działania. Pod tym względem największą odmienną opinią stwierdzono wśród respondentów w różnym wieku, a dobrowolności finansowego wsparcia większe znaczenie przypisywały osoby najmłodsze, natomiast wyższe podatki częściej były skłonne zaakceptować osoby ze średniej grupy wiekowej.

Przedstawione wyniki przeprowadzonych badań jednoznacznie wskazują na potrzebę, z jednej strony zintensyfikowania działań edukacyjnych w zakresie ochrony środowiska, a z drugiej poszukiwania i wdrażania rozwiązań techniczno-organizacyjnych, mających na celu ułatwienie zachowań proekologicznych.

Literatura

- [1] Aczel A. D., Statystyka w zarządzaniu. Pełny wykład, PWN, Warszawa 2000, s. 761.
- [2] Badania świadomości ekologicznej Polaków, Raport dla Bayer Sp. z o.o., październik 2005, s. 5–12, http://www.eduskrypt.pl/ebookswiadomosc_ekologiczna_polakow_wyniki_badan_przeprowadzonych_przez_gfk_polonia_we_wspolpracy_z_firma_bayer-487.html (dostęp: 25.04.2017).
- [3] Coraz lepiej z ekologią. <http://www.pbs.pl/x.php/1,973/Coraz-lepiej-z-ekologia.html> (dostęp: 28.03.2017).
- [4] Deluga W., Wybrane aspekty wykorzystania marketingu ekologicznego dla poprawy środowiska naturalnego w Koszalinie, „EUROPA REGIONUM”, t. XXIII, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2015, s. 97-108.
- [5] Deng J., King B., Bauer T., Evaluating natural attractions for tourism, “Annals of Tourism Research”, 29(2), 2000.

- [6] Józwiak J., Podgórski J., Statystyka od podstaw, PWE, Warszawa 1998, s. 358-362.
- [7] Kielczewski D., Ekologia społeczna, Wydawnictwo „Ekologia i Środowisko”, 1999, Białystok, s. 20.
- [8] Kozikowska M., Zrównoważony rozwój a turystyka w Polsce, Zeszyty Naukowe Turystyka i Rekreacja pt. Zrównoważony rozwój turystyki w regionach Polski, Z. 11(1), Wyższa Szkoła Turystyki i Języków Obcych, Warszawa 2013.
- [9] Środowisko a zdrowie – badania sondażowe, red. W. Jarosz, J. Broł, B. Jarzębska, Z. Nowińska, Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych, Katowice 2011, s. 10-11.
- [10] Zaręba D., Ekoturystyka, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2008.

SELECTED ASPECTS OF ENVIRONMENT PROTECTION IN THE ASSESSMENT OF RESPONDENTS

Summary

The work presents statements of 685 people regarding their everyday activities for the protection and assessment of the condition of the environment in Poland and the factors determining it. The vast majority of respondents came from the province Podkarpackie, and their age, gender, level of education and the declared level of interest in the issues of environmental protection played the role of determinants of their opinion in the above-mentioned field. In order to check the statistical significance of the diversity of opinions and practices of the respondents, a non-parametric Chi-square test was used due to the nature of the collected information. It was found that the main source of information on environmental issues was the Internet. The state of environmental pollution in Poland has been determined, in the majority of cases, as medium, with the perpetrator being impunity for the main reason for non-compliance with environmental protection rules. The most-advanced activities for environmental cleanliness have been proven waste segregation, economical use of electricity and water, and the main limitation of pro-ecological behavior was the lack of time and financial situation of the respondents.

Keywords: environmental protection, surveys, real actions of respondents

Przesłano do redakcji: 24.08.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Dominika GRATKOWSKA-ŻMUDA¹

ANALIZA STABILNOŚCI CHEMICZNEJ BUTELKOWANEJ WODY ŹRÓDLANEJ „IWONICZANKA”

Rola jaką pełni woda w życiu człowieka jest nieoceniona. Poza tym, że jest głównym składnikiem ilościowym pożywienia jest także czynnikiem niezbędnym do prawidłowego funkcjonowania. W celu zapewnienia prawidłowych procesów fizjologicznych ważne jest systematyczne dostarczanie płynów do organizmu na poziomie co najmniej 1,5 - 2 l dziennie. Ważne jest także, aby spożywana woda charakteryzowała się pierwotną czystością mikrobiologiczną i stabilnością składu chemicznego, a ponadto była cennym źródłem składników mineralnych, które są wartościowym uzupełnieniem codziennej diety. W artykule przedstawiono charakterystykę butelkowanej wody źródlanej Iwoniczanka. Celem charakterystyki było określenie jakości i stabilności chemicznej badanej wody, a także klasyfikacja jej użyteczności pod kątem zawartości minerałów z uwzględnieniem ich dziennego zapotrzebowania dla osoby dorosłej. Analizie poddano 41 wskaźników jakościowych wody. Badania zostały wykonane wg metodyki zawartej w normach PN-EN ISO 17294:2006, PN-79/C-04588.02, PN-EN ISO 9297:1994, PN-C-04576.04/XII 1994, PN-82/C-04576.08, PN-EN 26777. Wyniki przeprowadzonych analiz wykazały, że butelkowana woda Iwoniczanka jest średniozmineralizowaną wodą źródlaną o charakterze wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowym, wyróżniającą się pierwotną czystością mikrobiologiczną i stabilnością składu chemicznego, a także jest w pełni użyteczna pod kątem dziennego zapotrzebowania na minerały.

Słowa kluczowe: chemizm wód podziemnych, składniki mineralne, czystość, procesy fizjologiczne, organizm człowieka

1. Wstęp

Woda jest matrycą życia. Stanowi główny element ludzkiego ciała. Jej ilość w organizmie zależy zarówno od płci, wieku jak i budowy. W ciele dorosłego człowieka stanowi około 60% jego masy i wypełnia znaczną część organów, tkanek, komórek oraz płynów ustrojowych. Dodatkowo stanowi środowisko, w którym przebiegają wszystkie procesy życiowe, transportuje substancje odżywcze i pomaga w usuwaniu zbędnych produktów przemiany materii, stabilizuje temperaturę ciała, a także pełni funkcję ochronną, osłaniającą i nawilżającą.

¹ Dominika Gratkowska-Żmuda, Iwoniczanka Sp. z o.o., ul. Bohaterów II Wojny Światowej 13, 36-200 Brzozów; tel. 723906520; dgratkowskazmuda@gmail.com

Według najnowszych zaleceń Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności zapotrzebowanie na wodę u dorosłego człowieka w ciągu doby wynosi 1 ml wody na 1 kcal spożywanego pokarmu lub 30 ml wody na 1 kg masy ciała i może wzrastać w zależności od wieku, potrzeb fizjologicznych czy temperatury otoczenia [1]. Głównym źródłem wody dla organizmu są napoje, pokarmy płynne i stałe. Szczególną wartością żywieniową charakteryzują się naturalne wody mineralne i źródlane ze względu na zawartość rozpuszczonych w nich cennych składników mineralnych. Substancje te można podzielić na składniki główne, makroelementy (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), składniki podrzędne (np. nieorganiczne związki azotu, żelazo, krzemiany) oraz mikroskładniki (pierwiastki rzadkie i śladowe). Składniki główne stanowią ponad 90% substancji rozpuszczonych w typowych wodach naturalnych. Do oszacowania typu hydrogeochemicznego wody wymagane jest co najmniej oznaczenie składników głównych. Natomiast do zamknięcia bilansu analizy wymagane jest oznaczenie składników głównych, podrzędnych oraz mikroskładników [2].

Poszczególne składniki mineralne zawarte w wodzie są nieodzownym elementem diety każdego z nas. Wpływ spożywania wody na nasze zdrowie nie jest uzależniony tylko od zawartości głównych składników, ale również od stężenia mikroelementów. Zbyt duża lub zbyt mała zawartość określonych pierwiastków może oddziaływać na nasz organizm [3]. Wapń Ca^{2+} jest kluczowym składnikiem dla ustroju. Badania potwierdziły, że warunkuje on prawidłową pracę serca i naczyń krwionośnych. Wpływa na funkcjonowanie mięśni i transmisję sygnałów nerwowych, a także sygnalizację wewnątrzkomórkową i wydzielanie hormonalne [4]. Ponadto obniża poziom cholesterolu we krwi [5]. Magnez Mg^{2+} , jest drugim po wapniu, kluczowym składnikiem dla organizmu. Ma on istotny wpływ na budowę kości i komórek mięśniowych [6]. Pomaga zachować równowagę systemu nerwowego [7], działa antystresowo oraz przeciwalergiczenie, zapobiega chorobom nowotworowym, zawałom serca oraz miażdżycy naczyń krwionośnych, pomaga także usuwać metale ciężkie z organizmu [5]. Sód Na^+ natomiast reguluje gospodarkę wodną organizmu i umożliwia prawidłowe skurcze mięśni [8]. Jest również ważny w prawidłowym utrzymaniu równowagi kwasowo-zasadowej [5]. Potas K^+ reguluje ciśnienie osmotyczne, jest odpowiedzialny za przesyłanie impulsów nerwowych oraz za skurcze mięśni. Jest on niezbędny do prawidłowej pracy serca, a także zmniejsza ryzyko wystąpienia kamicy nerkowej i osteoporozy [9]. Wodorowęglany HCO_3^- i siarczany SO_4^{2-} korzystnie wpływają na procesy przemiany materii oraz pomagają utrzymać równowagę kwasową w żołądku i jelitach [10]. Ponadto HCO_3^- obniżają poziom cukru we krwi regulując jej kwasowość, a SO_4^{2-} wpływają stymulująco na funkcje wydzielnicze wątroby [11]. Chlorki Cl^- utrzymują prawidłowe ciśnienie osmotyczne w komórkach, a jako składnik kwasów trawiennych w żołądku odgrywają istotną rolę w procesach trawiennych [10].

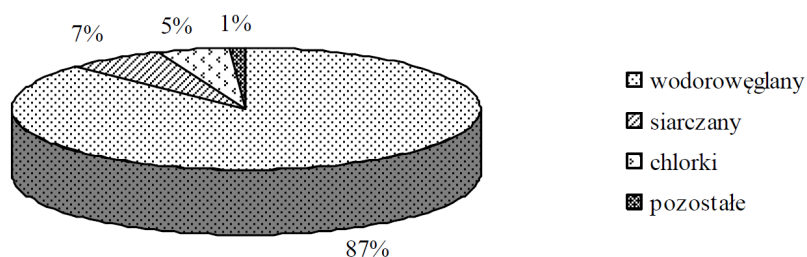
2. Metodyka badań

Analizę stabilności składu chemicznego przeprowadzono dla reprezentatywnej próbki wody podziemnej pochodzącej z ujęcia „Zdrój Anna” (S4) w miejscowości Brzozów (woda źródłana Iwoniczanka). Analizie poddano 41 wskaźników jakościowych wody. Kationy i aniony oznaczano za pomocą ICP-MS wg PN-EN ISO 17294:2006. Fluorki oznaczano metodą spektrofotometryczną wg PN-79/C-04588.02. Chlorki oznaczano metodą miareczkową Mohra wg PN-EN ISO 9297:1994. Azot amonowy, azotanowy i azotynowy oznaczano metodą spektrofotometryczną odpowiednio wg PN-C-04576.04 / XII 1994, PN-82/C-04576.08 i PN-EN 26777. Cyjanki oznaczano metodą kolorymetryczną pirydynowo-pirazolonową. W tabeli 1 i 2 zestawiono charakterystyczne wielkości wskaźników jakościowych wody zanotowanych podczas przeprowadzonej analizy.

3. Wyniki badań

Wyniki analizy chemicznej przeprowadzonej dla reprezentatywnej próbki wody źródlanej Iwoniczanka wskazują na jej czystość i stabilność składu chemicznego. Woda ta zawiera $798,9 \text{ mg/dm}^3$ rozpuszczonych składników mineralnych. Aniony stanowią 75% zawartości jej składu, natomiast kationy to pozostałe 25%.

Wśród anionów dominującą rolę odgrywa jon wodorowęglanowy HCO_3^- - 517 mg/dm^3 , siarczanowy SO_4^{2-} - 42 mg/dm^3 i chlorkowy Cl^- - $30,20 \text{ mg/dm}^3$, które stanowią odpowiednio 87%, 7% i 5% ogólnej ich zawartości. Pozostałe aniony stanowią 1% ogólnej ich zawartości [Rys. 1, Tab. 1]



Rys. 1. Procentowa zawartość anionów w badanej reprezentatywnej próbce wody

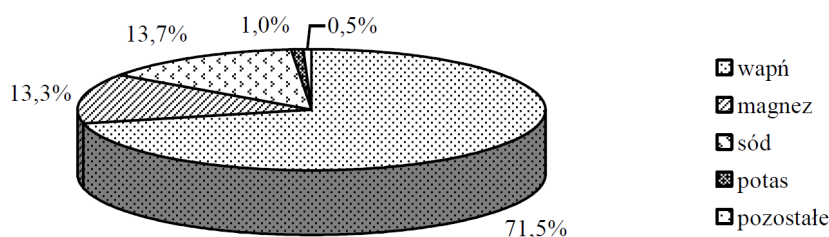
Fig. 1. Percentage of anions concentration in a water representative sample

Tabela 1. Zawartość anionów w badanej reprezentatywnej próbce wody

Table 1. Concentration of anions in a water representative sample

Parametr		mg/dm ³	mval/dm ³	% mval
Azotany	NO ₃ ⁻	1,510	0,024	0,237
Azotyny	NO ₂ ⁻	< 0,003	0,000	0,000
Bromki	Br ⁻	0,44	0,006	0,054
Chlorki	Cl ⁻	30,20	0,850	8,282
Cyjanki	CN ⁻	< 0,001	0,000	0,000
Fluorki	F ⁻	0,214	0,011	0,110
Fosforany	PO ₄ ³⁻	0,070	0,002	0,022
Jodki	I ⁻	0,010	0,000	0,000
Siarczany	SO ₄ ²⁻	42	0,875	8,528
Węglany	CO ₃ ²⁻	< 0,5	0,017	0,162
Wodorowęglany	HCO ₃ ⁻	517	8,475	82,604

Wśród kationów przeważa obecność jonu wapniowego Ca²⁺ - 143,2 mg/dm³, magnezowego Mg²⁺ - 26,64 mg/dm³, sodowego Na⁺ - 27,55 mg/dm³ i potasowego K⁺ - 1,77 mg/dm³, które stanowią odpowiednio 71,5%, 13,3%, 13,7% i 1% ogólnej ich zawartości. Pozostałe kationy to 0,5% ogólnej ich zawartości [Rys. 2, Tab. 2].



Rys. 2. Procentowa zawartość kationów w badanej reprezentatywnej próbce wody

Fig. 2. Percentage of cations concentration in a water representative sample

Ponadto w badanej reprezentatywnej próbce wody źródlanej Iwoniczanka nie stwierdzono obecności organicznych składników antropogenicznych (substancji powierzchniowo czynnych, fenoli, chlorofenoli, wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, pestycydów, azotanów, azotynów) ani związków promieniotwórczych, w stężeniach uznanych za szkodliwe dla zdrowia ludzkiego lub wskazujących na kontakt z zanieczyszczeniami zewnętrznymi. Opierając się na przeprowadzonej analizie woda Iwoniczanka została skategoryzowana jako średniozmineralizowana woda źródłana o charakterze wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowym [HCO₃-Ca-Mg] na podstawie klasyfikacji fizykochemicznej wód podziemnych podanej w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia – Dz. U. z 2004 r., Nr 120, poz. 1256 [12] oraz Dz. U. z 2008 r., Nr 80, poz. 565 [13].

Tabela 2. Zawartość kationów w badanej reprezentatywnej próbce wody

Table 2. Concentration of cations in a water representative sample

Parametr		mg/dm ³	mval/dm ³	% mval
Amon	NH ₄ ⁺	0,027	0,015	0,141
Antymon	Sb ³⁺	0,00008	0,000	0,000
Arsen	As ³⁺	0,002	0,000	0,000
Bar	Ba ²⁺	0,079	0,001	0,011
Beryl	Be ⁺	< 0,00002	0,000	0,000
Chrom	Cr ³⁺	0,0038	0,000	0,000
Cynk	Zn ²⁺	0,0044	0,000	0,000
Cyrkon	Zr ⁴⁺	0,0001	0,000	0,000
Glin	Al ³⁺	0,0036	0,000	0,000
Kadm	Cd ²⁺	0,00003	0,000	0,000
Kobalt	Co ²⁺	0,00013	0,000	0,000
Lit	Li ⁺	0,012	0,002	0,016
Magnez	Mg ²⁺	26,64	2,193	20,659
Mangan	Mn ²⁺	0,033	0,001	0,011
Miedź	Cu ²⁺	0,00048	0,000	0,000
Molibden	Mo ⁶⁺	0,0015	0,000	0,000
Nikiel	Ni ²⁺	0,0011	0,000	0,000
Ołów	Pb ²⁺	0,00044	0,000	0,000
Potas	K ⁺	1,77	0,045	0,427
Rtęć	Hg ²⁺	0,00047	0,000	0,000
Selen	Se ²⁺	0,0098	0,000	0,000
Sód	Na ⁺	27,55	1,198	11,286
Srebro	Ag ⁺	< 0,000001	0,000	0,000
Stront	Sr ²⁺	0,309	0,007	0,066
Tal	Tl ⁴⁺	< 0,00002	0,000	0,000
Tytan	Ti ⁴⁺	< 0,005	0,000	0,000
Wanad	V ⁵⁺	0,00021	0,000	0,000
Wapń	Ca ²⁺	143,20	7,146	67,329
Wolfram	W ⁶⁺	< 0,025	0,001	0,008
Żelazo	Fe ²⁺	0,085	0,003	0,029

Dodatkowo woda źródlana Iwoniczanka została poddana klasyfikacji przeprowadzanej przez NutriRank dotyczącej użyteczności wód butelkowanych pod kątem zapotrzebowania na minerały [14]. Ranking ten pozwala na ocenę najpopularniejszych wód mineralnych, źródlanych i leczniczych pod względem zawartości minerałów z uwzględnieniem ich dziennego zapotrzebowania dla osoby dorosłej. Na jego podstawie oszacowano, że spożycie 1l wody źródlanej Iwoniczanka pokrywa 8% dziennego zapotrzebowania na magnez, 14% dziennego zapotrzebowania na wapń, 2% dziennego zapotrzebowania na sód, 1% dziennego zapotrzebowania na potas i 7% dziennego zapotrzebowania na fluor, co w konsekwencji daje jej 3 pozycję w rankingu wśród 33 wód źródlanych poddanych analizie, dostępnych obecnie na polskim rynku [Tab. 3].

Tabela 3. Użyteczność wód źródlanych pod kątem zapotrzebowania na minerały, na podstawie [14]

Table 3. Spring water usability in terms of minerals demand, based on [14]

Lp	Nazwa handlowa	Ranking	Minerały*	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Suma**	Typ
1	Jantar	-0.2194	481.1	15.8	52.1	167.0	5.0	0.0	212.7	16.7	322.9	804	źródłana
2	Dobrovit	0.3561	162.0	4.9	112.0	3.3	4.4	1.0	3.8	24.2	339.0	501	źródłana
3	Iwoniczanka	0.1561	289.6	26.6	143.2	27.5	1.8	0.2	30.2	42.0	517.0	807	źródłana
4	kranówka*** (Chrzanów, SUW Żelatowa, ujęcie głębinowe)	0.1147	302.1	30.3	97.3	23.2	3.0	0.2	42.1	106.0	293.0	554	źródłana
5	Białowiecki Zdrój	0.1130	154.9	14.6	100.2	12.2	2.5	0.2	2.5	0.0	416.1	571	źródłana
6	Krystalia	0.1062	262.1	22.8	121.0	35.0	4.1	0.2	74.7	4.3	451.0	700	źródłana
7	Dar Natury	0.0983	130.5	29.8	64.1	2.8	1.3	0.2	5.3	27.0	308.8	439	źródłana
8	Bieszczady Zdrój	0.0857	164.7	25.5	71.1	8.0	1.4	0.1	6.7	39.1	307.5	472	źródłana
9	Nestle Aquarel	0.0700	194.0	23.7	111.2	14.0	2.1	0.0	0.0	0.0	472.5	667	źródłana
10	Krynka	0.0535	150.3	18.2	68.1	3.8	0.8	0.1	8.9	31.8	250.7	401	źródłana
11	Staropolanka Zdrój	0.0486	127.0	10.4	59.7	3.2	1.8	0.2	4.8	26.0	192.0	319	źródłana
12	Źródła PiastPoL	0.0444	93.3	12.0	62.0	10.0	2.0	0.2	4.6	2.5	280.5	370	źródłana
13	Oaza	0.0290	81.6	4.9	42.1	3.6	1.0	0.2	2.8	1.0	155.7	237	źródłana
14	Jaworowy Zdrój	0.0281	298.5	21.9	62.1	20.0	2.7	0.1	47.5	144.2	99.3	386	źródłana
15	Mama i ja	0.0251	106.0	5.3	44.4	8.9	1.7	0.2	4.3	0.0	165.0	271	źródłana
16	Aleksandria (ARO)	0.0163	94.8	6.1	50.1	5.0	1.8	0.2	3.2	13.6	177.2	272	źródłana
17	Laguna Biała (Ola)	0.0127	177.0	14.5	82.8	6.9	0.0	0.0	13.9	30.8	293.0	470	źródłana
18	Słowianka 1 (Real)	0.0116	294.4	1.5	85.6	1.7	1.5	0.1	4.5	15.9	85.6	380	źródłana
19	Gorczańska Krynica	-0.0324	164.9	14.1	57.1	9.3	1.4	0.0	47.9	20.8	176.9	342	źródłana
20	kranówka*** (Kielce, Białogon)	0.0109	180.0	8.5	90.2	10.0	1.2	0.1	27.9	41.6	0.0	180	źródłana
21	Aqua	0.0077	104.3	6.1	52.1	3.1	1.3	0.1	6.7	16.0	169.1	273	źródłana
22	Baby Zdrój	0.0060	105.6	4.9	44.1	1.3	0.4	0.2	9.2	26.0	110.6	216	źródłana
23	Primavera	-0.0046	86.7	6.7	50.1	2.4	1.0	0.1	5.0	10.5	171.8	259	źródłana
24	Chodelanka	-0.0918	142.4	4.9	0.0	2.6	1.6	0.0	8.5	12.0	187.6	330	źródłana
25	Aria	-0.0054	146.0	1.1	84.0	14.0	0.8	0.1	0.0	13.0	269.0	415	źródłana
26	Kropla Beskidu	-0.0161	135.5	17.0	44.1	11.1	1.0	0.0	3.2	43.6	186.7	322	źródłana
27	Kryształ Żywiecki	-0.0631	68.9	6.7	23.1	5.3	1.1	0.0	3.8	18.7	85.9	155	źródłana
28	Kuracjusz Be- skidzki	-0.0608	210.7	12.2	42.1	100.0	1.0	0.1	8.9	46.5	378.5	589	źródłana
29	Żywioł Żywiec Zdrój	-0.0234	110.0	6.0	62.1	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	201.5	312	źródłana
30	Źródło Żywiec	-0.0510	112.8	8.8	37.4	14.7	2.3	0.0	8.2	0.0	143.4	256	źródłana
31	Mineralpol Żywiec	-0.0443	103.0	6.7	34.1	7.2	1.9	0.0	12.8	26.6	94.0	197	źródłana
32	Zakopiańska	-0.0416	153.3	18.0	40.1	22.3	1.8	0.0	37.2	19.1	183.1	336	źródłana
33	Górska Natura	-0.0357	49.0	6.0	32.0	1.1	2.0	0.1	2.5	0.0	99.0	148	źródłana
34	Żywiec Zdrój	-0.0254	98.9	5.6	41.7	9.7	0.0	0.1	0.0	0.0	131.1	230	źródłana
35	Horynianka	-0.0327	123.9	10.9	45.1	9.4	3.51	0.0	7.1	22.9	178.2	302	źródłana
36	kranówka*** (Chrzanów, główna magistrala, ujęcie powierzchniowe)	-0.0291	88.0	4.5	35.6	10.7	2.8	0.1	15.3	19.0	116.0	175	źródłana

* suma wszystkich składników mineralnych w wodzie z wyjątkiem jonów HCO₃⁻

** suma składników podana na etykiecie przez producenta

*** w rankingu uwzględniono dodatkowo analizę wody wodociągowej (kranówka) z trzech różnych ujęć (dwa w Chrzanowie i jedno z Kielc) jako punkt odniesienia

4. Wnioski

W oparciu o analizę stabilności chemicznej, analizę mikrobiologiczną a także na podstawie dokumentacji hydrogeologicznej przeprowadzonej dla wody podziemnej pochodzącej z ujęcia „Zdrój Anna” (S4) w miejscowości Brzozów, można sprecyzować następujące wnioski:

1. Woda źródłana Iwoniczanka to woda charakteryzująca się pierwotną czystością mikrobiologiczną oraz czystością i stabilnością składu chemicznego.
2. Woda Iwoniczanka jest średniozmineralizowaną wodą źródlaną o charakterze wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowym [$\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$].
3. Ilość składników mineralnych zawartych w wodzie źródlanej Iwoniczanka, a także proporcje, w jakich występują, pozwalają na zaliczenie jej do czołowych, najcenniejszych wód źródłanych dostępnych obecnie na polskim rynku [14].
4. Woda źródłana Iwoniczanka spełnia wszystkie wymagania zawarte w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 29.04.2004 r. (Dz. U. Nr 120, poz. 1256) ze zmianami w dokumencie z dnia 17.12.2004 r. (Dz. U. Nr 276, poz. 2738) dla wód naturalnych przydatnych do rozlewania w opakowania jednostkowe jako naturalna woda źródłana, a także restrykcyjne obostrzenia wynikające z Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 31 marca 2011 r. w sprawie naturalnych wód mineralnych, wód źródłanych i wód stołowych oraz Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r., w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. poz. 1989).

W związku z tym, że woda źródłana Iwoniczanka jest bezpieczna pod kątem mikrobiologicznym i fizykochemicznym oraz cechuje się zrównoważonym składem mineralnym – bez zdecydowanej przewagi któregoś z minerałów, może być spożywana przez każdego bez ograniczeń. Dzięki obecności składników mineralnych występujących w zjonizowanej, łatwo przyswajalnej dla organizmu formie, jest ona wartościowym uzupełnieniem codziennej diety, a ze względu na swoją pierwotną czystość mikrobiologiczną może być wykorzystywana w gospodarstwach domowych i w przemyśle spożywczym.

Literatura

- [1] Jarosz M., Rychlik E., Płyny, [w:] Jarosz M., Praktyczny Podręcznik Dietetyki, Wydawnictwo Instytut Żywności i Żywnienia, Warszawa 2010.
- [2] Ziemiański Ś., Rola równowagi wodno-mineralnej w organizmie, Agro Przemysł, Nr specjalny lato 2006.
- [3] Piech A. P., Baszak A., Pierwiastki śladowe w wybranych wodach mineralnych dostępnych w handlu, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA, t. XXXIII, z. 63 (4/16), październik-grudzień 2016, pp. 419-432, DOI: 10.7862/rb.2016.286.
- [4] Committee to Review Dietary Reference Intakes for Vitamin D and Calcium, Food and Nutrition Board, Institute of Medicine, Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D. Washington, DC: National Academy Press, 2010.

- [5] <http://iwoniczanka.pl/> {dostęp 15.05.2017}.
- [6] Lamb G. D., Stephenson D. G., Effects of intracellular pH and $[Mg^{2+}]$ on excitation-contraction coupling in skeletal muscle fibres of the rat, *J Physiol*, 478, 1994, pp. 331-339.
- [7] Vink R., Cernak I., Regulation of intracellular free magnesium in central nervous system injury, *Front Biosci*, 1(5), 2000, pp. D656-D665.
- [8] Heaney R. P., Role of dietary sodium in osteoporosis, *J Am Coll Nutr.*, 25(3), 2006, pp. 271S-276S.
- [9] He F. J., MacGregor G. A., Beneficial effects of potassium on human health, *Physiologia Plantarum*, 133(4), 2008, pp. 725-735.
- [10] <http://www.mineralwaters.org> {dostęp 15.05.2017}.
- [11] Hoffman M., Jędrzejczyk H., Rola wody w przetwórstwie żywności, żywieniu i zdrowiu człowieka, Część I Naturalne wody mineralne i źródlane, *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 1(14/24), 2004, pp. 13-18.
- [12] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 kwietnia 2004 r. w sprawie naturalnych wód mineralnych, naturalnych wód źródłanych i wód stołowych.
- [13] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 kwietnia 2006 r. w sprawie zakresu badań niezbędnych do ustalenia właściwości leczniczych naturalnych surowców leczniczych i właściwości leczniczych klimatu, kryteriów ich oceny oraz wzoru świadectwa potwierdzającego te właściwości.
- [14] <http://www.wodaminalna.netmark.pl/> {dostęp 15.05.2017}.

ANALYSIS OF IWONICZANKA BOTTLED SPRING WATER CHEMICAL STABILITY

Summary

Water is one of very few vital needs for human beings. It is a transparent and nearly colorless chemical substance that is the main constituent of food. Moreover it is essential for organism to function properly. A healthy sedentary adult should drink at least 1.5 - 2 liters of water per day. This level of water intake balances water loss and helps keeping the body properly hydrated. Natural drinking water is defined as water that is characterized by its content of certain mineral salts and their relative proportions and guarantees constancy of its composition and the stability under conditions which guarantee the original microbiological purity and chemical composition. This article presents characteristic of Iwoniczanka bottled spring water. The objective of this study was to determine chemical stability and purity of tested water, as well as, classification based on the daily minerals requirement in human nutrition. 41 of water quality indicators were analyzed. These research were conducted using methodology included in PN-EN ISO 17294:2006, PN-79/C-04588.02, PN-EN ISO 9297:1994, PN-C04576.04 / XII 1994, PN-82/C-04576.08, PN-EN 26777 standards. The results showed that Iwoniczanka is a medium mineralized spring water rich in bicarbonate, calcium and magnesium ions. The quality and stability of minerals, their relative proportions, lack of toxic compounds, chemical and microbiological purity make Iwoniczanka one of the best spring waters for drinking available on the consumer goods market in Poland.

Keywords: groundwater chemistry, mineral components, purity, physiological processes, human body

Przesłano do redakcji: 31.05.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Marek GOSZTYŁA¹
Rafał LICHOLAŁI²

NIEISTNIEJĄCA ZABUDOWA PRZYRYNKOWA W KRASICZYNI

Artykuł omawia zagadnienie lokacji miasteczka przy zamku w Krasiczynie [1-11]. Przeanalizowano uwarunkowania w jakich zostało założone miasteczko oraz wyszczególniono etapy rozwoju zabudowy przyrynkowej. Krasiczyn to wieś w województwie Podkarpackim, która dziś znana jest głównie z historycznego zamku. Na podstawie zebranych materiałów źródłowych i wizji lokalnych w terenie zbadano charakterystykę rozwoju urbanistycznego założenia.

Miasteczko zostało zlokalizowane na osi łączącej główny wjazd do zamku na kierunku zachodnim. Zabudowa wytyczona przy rynku w pierwszej fazie drewniana, a w kolejnych latach drewniano-murowana charakteryzowała się ukierunkowaniem szczytów w stronę centrum wnętrza urbanistycznego.

Słowa kluczowe: historyczny układ urbanistyczny, zabudowa małych miast, małomiasteczkowy układ kompozycyjny, zabudowaokołopałacowa

1. Wstęp

Krasiczyn to wieś w województwie podkarpackim położona około 10 km na zachód od Przemyśla. Dziś kojarzona jest głównie z powodu lokalizacji zamku krasiczyńskiego, lecz dla pełniejszej analizy przestrzennej nie należy ograniczyć się jedynie do otoczenia zamku. Jedną z ważniejszych osób historycznie zasłużonych dla byłego miasta jest Jakub z Siecina, który w kolejnych latach życia przyjmuje nazwisko Krasicki. Z jego inicjatywy istniejący dwór obronny został przekształcony w zamek. Współcześnie zamek krasiczyński jest atrakcją przyciągającą turystów. Oprócz ww. zabytku w miejscowości jest historyczny kościół św. Marcina lub nieistniejące już założenie miasteczkowe, które pierwotnie pełniło funkcję „zaplecza” dla zamku. Zlokalizowane było w bezpośred-

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Marek Gosztyła, Politechnika Rzeszowska, 35-959 Rzeszów, al. Powstańców Warszawy 12, tel. +4817 865 1939, gosztyla@prz.edu.pl

² Rafał Lichołai, Politechnika Rzeszowska, Katedra Konserwacji Zabytków, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów

nim sąsiedztwie i razem z założeniem parkowym i folwarkiem stanowiła całość układu przestrzennego (Rys. 1).



Rys. 1. Widok od strony byłego założenia rynkowego, 2016, fot. R. Lichołai

Fig. 1. View from the former square, 2016, fot. R. Lichołai

2. Początki miasta

Analizę miasta pod względem historycznym należy rozpocząć od próby określenia daty jego powstania. Niezjący już badacz J.T. Frazik w artykule pt. „Z zagadnień rozwoju przestrzennego miasta Krasieczyna.” [1] zbadał rozwój miasta, opisał proces uformowania się Krasieczyna oraz podjął próbę ustalenia daty jego lokacji. Opierając się na artykule K. Wolskiego „Krasieczyn – rys dziejów zamku i latyfundium krasieczyńskiego”³ Frazik doszukuje się powiązania miasteczka z położoną niedaleko wsią Śliwnicą. Poddana została krytyce pierwotnie przyjęta data założenia miasteczka, czyli rok 1580. Badacz powołał się na źródła historyczne, w których pierwsze ślady użycia nazwy „Krasieczyn” datowane są na lata 1602 oraz 1605. Wymienia kolejno dokumenty z lat od 1611 do 1618, w których nie opisywano dokładnie Krasieczyna jako wsi lub miasta. Odwołał się do zachowanego protokołu ławniczego miasta sporządzonego 24 marca 1624. Autor określa ten termin jako prawdopodobną datę formalnego ukształtowania się Krasieczyna jako miasta. Formułuje hipotezę, określającą początek miasta dopiero po roku 1610 lub w roku 1621 za czasów panowania Zygmunta III. Wspomniana została także koncepcja dotycząca założenia miasta przy zamku jako spójnego układu. Kierując się przytoczonym wywodem można wysunąć ostrożną hipotezę powiązania wytyczenia założenia miasteczka z rokiem 1598, w którym rozpoczęła się przebudowa zamku.

³ Wolski K., „Krasieczyn – rys dziejów zamku i latyfundium krasieczyńskiego”, *Rocznik Przemyski*, tom IX, Przemysł, s. 304 i 305

Odmienną koncepcję dotyczącą historii powstania miasta Krasieczyn przedkłada J. Motylewicz w swoim artykule pt. „*Krasieczyn w drugiej połowie XVIII wieku. Zarys wybranych problemów z dziejów miasta*”⁴. Autor przedstawiając hipotezę powołuje się na inwentarze klucza krasieczyńskiego z końca XVIII wieku, które jak twierdzi są materiałami nieobiektywnymi, lecz stanowią jedyne niepodważalne źródło informacji. Artykuł neguje koncepcję J. T. Frazika odnoszącą się do połączenia historii zamku z pobliską wsią Śliwnicą. J. Motylewicz skłania się do zespołu złożonego z trzech wyodrębniających się ogniw – zamku, wsi Śliwnica oraz terenu zwanego Komar. Autor określa zamek jako najstarszą część zespołu, a pozostałe dwie przypisuje do okresu związanego z budową fortyfikacji oraz z przesunięciem osadnictwa. W artykule podważone zostały wnioski.

J. Frazika oparte na analizie dat występowania w badanych źródłach nazwy wsi czy później miasteczka. Określa ten sposób jako mało precyzyjny. Autor dokładnie bada herbarz A. Bonieckiego, w którym jest zawarta sentencja o Stanisławie Krasickim, który „w 1580 r. nabył Dubiecko, założył Krasieczyn, w którym zaczął budować zamek.” J. Motylewicz podkreśla fakt, że rok 1580 prawdopodobnie odnosi się tylko do transakcji dotyczącej Dubiecka. Lokalizuje kupno Dubiecka na rok 1588, a co za tym idzie, przesuwając dalej w czasie założenie Krasieczyna oraz budowę zamku. Autor podważa także wagę pobytu Zygmunta III w Krasieczynie pod względem konstytuowania miasta. Motylewicz opisując mechanizm zakładania miast, który często nie był związany ze staraniem się o akceptację królewską, podważa tym znaczenie Zygmunta III w prawnym nadaniu statusu miasta. Artykuł podsumowuje datę początku miasta jako nie łatwą do określenia, lecz zasługi w budowie miasta w większości przypisuje Marcinowi Krasickiemu.

Zagadnienie powstania miasta zostało także przeanalizowane przez Stanisława Krycińskiego w publikacji pt. „*Krasieczyn. Dzieje zamku i miejscowości*”⁵. Autor przedstawia tezę, według której zasługi związane z lokacją miasta należy przypisać Stanisławowi Krasickiemu pod koniec wieku XVI w. Autor argumentuje swoją koncepcję tekstem z ww. herbarza A. Bonieckiego. Kryciński odmiennie do Motylewicza odczytuje sentencję dotyczącą kupna Dubiecka jako bezpośredni ciąg zdarzeń.

⁴ Motylewicz J., „Krasieczyn w drugiej połowie XVIII wieku. Zarys wybranych problemów z dziejów miasta”, *Przemyskie zapiski historyczne*, R. III (1985)

⁵ S. Kryciński, *Krasieczyn. Dzieje zamku i miejscowości*, Warszawa 1990, s. 9-14

3. Analiza struktury zabudowy

Zachowała się niewielka ilość materiałów pozwalająca szczegółowo określić charakterystykę przestrzenną założenia. Jednym z nielicznych zachowanych do dnia dzisiejszego dokumentów przybliżających pierwotne założenie urbanistyczne jest fragment mapy sporządzonej przez ppłk. Miega oraz płk. Siegera w latach 1779-1782 (Rys. 2). Na fragmencie ww. dokumentu przedstawiającego badany teren łatwo można odnaleźć lokalizację zamku oraz oddzielone fosą założenie przyrynkowe połączone mostem. Mapa przedstawia miasteczko położone na osi biegnącej od zamku przez most. Posiłkując się oznaczeniami zawartymi w dołączonej legendzie odczytać można układ urbanistyczny. Budynki zlokalizowane zostały z trzech stron rynku, lecz przedstawiona mapa nie pozwala określić dokładniejszej formy zabudowy oraz ilości obiektów. Ze strony północno-zachodniej oraz południowo-zachodniej uwidoczniona została zabudowa, w przeciwieństwie do strony północno-wschodniej. Przyczyny tak tworzącej się struktury urbanistycznej można się doszukiwać w położeniu zamku. Obszar położony na południowy-wschód od rynku wg. legendy zajmowała fosa. Układ głównego ciągu komunikacyjnego przebiegał ku dzisiejszej drodze krajowej nr 28 oraz drodze lokalnej.



Rys. 2. Krasiczyn. Fragment mapy sporządzonej przez ppłk. Miega oraz płk. Siegera w latach 1779-1782 w skali 1:28 800. Oryginał znajduje się w Kriegsarchiv w Wiedniu

Fig. 2. Partial map of Krasiczyn from 1779-1782

Ważnym źródłem informacji dotyczącej zabudowy jest wspomniany artykuł J. Motylewicza. Autor stara się dokładniej określić układ przestrzenny miasteczka bazując na podstawie materiałów będących w Bibliotece Akademii Nauk we Lwowie. Według badacza miasto zostało zlokalizowane między zamkiem a rzeką San. J. Motylewicz podkreśla, że taka lokalizacja miasteczka wpłynęła na jego kształt. Podkreślone zostało także zagrożenie zalewowe jakie rzeka San stanowiła dla obszaru miejskiego. Autor określił pierwotne założenie urbanistyczne opierając się na XVIII – wiecznych źródłach, zakładając niewielkie zmiany w zabudowie. Opisuje czworoboczny rynek otoczony z trzech stron osiemnastoma działkami, a czwartą wschodnią stronę określa jako przeznaczoną na drogę dojazdową do Zamku. W artykule charakteryzuje zabudowę pisząc *„Za pierwszą linią zabudowy, ukształtowała się druga – od strony wschodniej i zachodniej, tzw. zatyłki, która nie oddzieliła się jednak ostatecznie, jako osobny jej element, przyjmując formę zabudowy rozproszonej.”*⁶

Nie zostały niestety dokładniej sprecyzowane lub oszacowane daty powstania pierwszej jak i drugiej linii zabudowy oraz brakuje informacji dotyczących budynków niestanowiących zabudowy przyrynkowej. Opisanie są trzy ulice – nad staw, ku rynkowi oraz za ogród włoski, lecz zabudowa definiowana jest jako niesystematyczna.

Liczbę domów Motylewicz opisuje jako *„nad stawem – 11, nad stawem ku rynkowi – 12, za ogrodem włoskim – 23, na zatyłkach – 12 ... , w ostatniej ćwierci XVIII wieku, łącznie z zabudową przyrynkową, było w Krasiczynie 77 domów mieszkalnych oraz 16 użyteczności publicznej i inwentarskich.”*⁷. Konstrukcja domów została opisana jako w większości drewniana. Wyszczególnione zostało 6 domów z murowaną ścianą frontową oraz 5 całościowo murowanych. Z badań nad materiałami pochodzącymi z Biblioteki Akademii Nauk we Lwowie autor w sposób dokładny opisuje wnętrza budynków. Motylewicz pisze *„Domy przyrynkowe, wśród których jeden określono jako ratusz składały się z 1 do 4 izb, alkierza i komory, z której prowadziło wejście do piwnic. Do domów dobudowano zajezdne stajnie. Większość budynków posiadała kaflowe piece, oszklone okna i gontowe dachy”*⁸.

Stanisław Kryciński w swoim opracowaniu opisuje miasto Krasiczyn z prostokątnym rynkiem otoczonym drewnianą zabudową. Wymienia 18 domów położonych z trzech stron rynku. Argumentuje niezabudowanie części wschodniej istnieniem drogi prowadzącej na zamek oraz drogi z Birczy do Przemyśla. Opisana została także druga linia zabudowy, która rozwijała się w stronę połu-

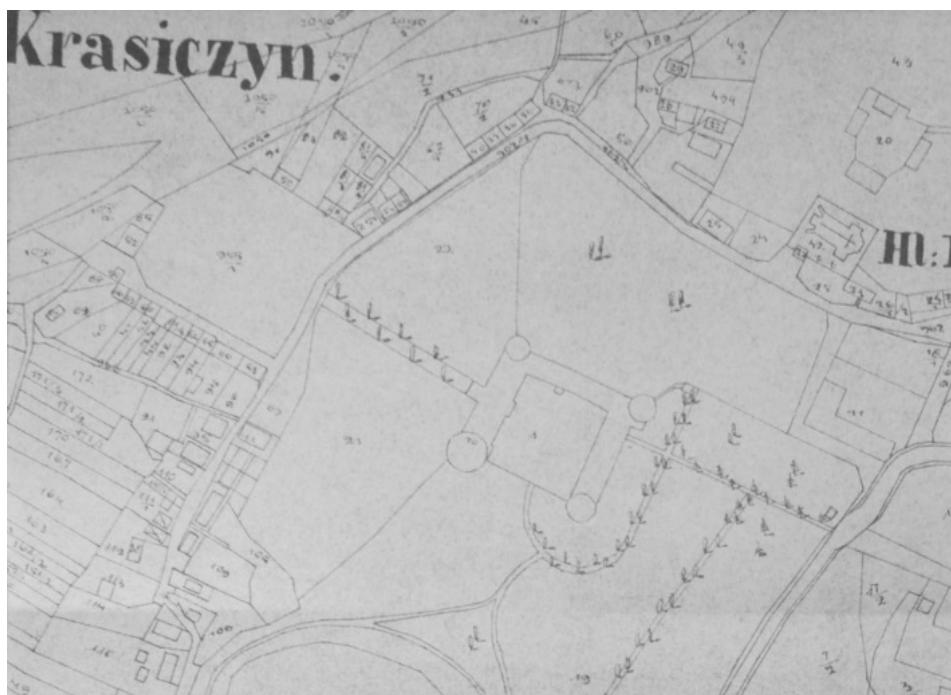
⁶ Motylewicz J., „Krasiczyn w drugiej połowie XVIII wieku. Zarys wybranych problemów z dziejów miasta”, Przemyskie zapiski historyczne, R. III (1985), s. 105

⁷ Tamże, s. 105

⁸ Tamże, s. 105

dniową oraz północną. Charakteryzuje oś kompozycyjną biegnąca od zamku przez most do założenia rynkowego. Wspomniana została także bliskość rzeki San, która blokowała większy rozwój założenia. Sieć ulic została scharakteryzowana jako niesystematyczna.

Informację dotyczące historii miasta Krasieczyna można odnaleźć także w zbiorach Wojewódzkiego Urzędu Ochrony Zabytków w Przemyślu (Rys. 3). Według materiałów data ukończenia budowy zamku tj. 1619 r. była powiązana z lokacją miasta. Materiały określają miasteczko jedynie jako element zespołu rezydencjonalnego, które nie spełniło założeń rozwojowych. W dokumentach można odnaleźć także w miarę dokładnie opisany układ przestrzenny założenia. Oprócz czworobocznego zamku, w skład założenia przestrzennego wchodzi także miasteczko, wieś, ogród i folwark. Plac miejski o wymiarach ok. 95 x 100 m zlokalizowany był w głównej osi fasady zamkowej. Położony był między rzeką a zamkiem, do którego prowadziła aleja. Trzy pierzeje rynku otaczało pojedyncze pasmo działek.



Rys. 3. Krasieczyn. Plan katastralny z 1852 r. Oryginał znajduje się w zbiorach Wojewódzkiego Urzędu Ochrony Zabytków w Przemyślu

Fig. 3. Cadastral plan of Krasieczyn from 1852

4. Podsumowanie

Analizując przebieg procesu powstawania miasteczka oraz opierając się na zgromadzonym materiale można podjąć próbę określenia zasadniczych etapów formowania się założenia.

Ważnym wydarzeniem była decyzja Stanisława Krasickiego o rozbudowie dworu obronnego. Miasto z założenia miało być uzupełnieniem układu przestrzennego opartego o zamek. Powstał układ, w którym rezydencja połączona została z miastem.

Etapem obejmującym czynności przekładające się na lokację miasta było nakreślenie pierwotnej koncepcji układu przestrzennego opartego na czworokącie otoczonego z trzech stron osiemnastoma działkami. Za koniec tego okresu można uznać realizację założenia rynkowego z otwarciem kompozycyjnym w stronę zamku.

Swobodny rozwój miasta przyczynił się do powstania drugiej linii zabudowy. Niesystematyczny rozwój sieci ulic czy lokalizacja zabudowy aż przy „ogrodzie włoskim” zapewne nie była planowana w początkowym okresie jego wzrostu. Ograniczenie miasteczka z jednej strony rzeką a z drugiej strony zamkiem nie pozwoliło na swobodny rozwój zabudowy, co miało przełożenie na rozrastanie się zabudowy tylko w dwóch kierunkach.

Literatura

- [1] Motylewicz J., Krasicyn w drugiej połowie XVIII w. Zarys wybranych problemów z dziejów miasta, Przemyskie Zapiski Historyczne, R. III, Przemyśl, 1985, s. 99-111.
- [2] Kryciński S., Krasicyn. Dzieje zamku i miejscowości, Warszawa (1990).
- [3] Frazik J. T., Z zagadnień rozwoju przestrzennego miasta Krasicyna, Teka Komisji Urbanistyki i Architektury, Tom 11 (1977) s. 33-42.
- [4] Wolski K., „Krasicyn – rys dziejów zamku i latyfundium krasicyńskiego, Rocznik Przemyski, tom IX, Przemyśl, s. 304 i 305.
- [5] S. Bartmiński, Krasicyn Miejscowość, Zamek, Park, Parafia, Krasicyn 1998.
- [6] Muzeum Okręgowe w Rzeszowie, Materiały i sprawozdania Rzeszowskiego Ośrodka Archeologicznego za rok 1967, Rzeszów (1971).
- [7] Frazik J. T., Z badań nad najstarszymi dziejami zamku w Krasicynie, Biuletyn Historii Sztuki, Tom 31, Numer 2 (1969) s. 249-254.
- [8] Frazik J. T., Krasicyn – Zamek, pow. Przemyśl, Informator Archeologiczny: badania, Tom 2 (1968) s. 390-391.
- [9] Horwat J., Działalność polityczna rodziny Krasickich od roku 1540-1717, Rocznik Przemyski, t. XXI, Przemyśl, (1982), s. 67-78.
- [10] J. T. Frazik, M. Książek, „Studium historyczno – urbanistyczne miasta Krasicyna”, Kraków 1975, s. 46 (maszynopis w Instytucie Historii Architektury i Konserwacji Zabytków Politechniki Krakowskiej).

- [11] A. Kunysz, „Badania archeologiczno-architektoniczne w Krasieczynie, pow. Przemyski”, Sprawozdanie Rzeszowskiego Ośrodka Archeologicznego za rok 1965, Rzeszów 1966, s. 106-111.

ANCIENT ASSUMPTIONS OF URBAN PLANNING IN THE AREA OF MAIN SQUARE IN KRASICZYN

Summary

The current article describes previous ideas concerning urban layout of the nearest neighborhood of Krasieczyn Palace. The location conditions were analyzed and individual steps of development has been specified. Krasieczyn is a village located in Podkarpackie province, in the south-eastern Poland. Based on the collected source materials and field research the characteristics of assumptions of urban development were examined. Krasieczyn was located on the main axis connected the main entrance to the palace on the west. Wood building in the nearest area of the main market was replaced by wood-and-brick structure with characteristic orientation of the gable ends towards the center of the urban interior.

Keywords: Historical urbanistic system, buildings in small towns, urban layout characteristic for small towns, buildings around the palace

Przesłano do redakcji: 2.08.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Agnieszka Faustyna SZUTA¹

CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA POPULARNOŚĆ LEŚNYCH TEATRÓW PLENEROWYCH OBRĘBU DAWNYCH ZIEM CESARSTWA NIEMIECKIEGO

Niniejszy artykuł stanowi próbę odpowiedzi na pytanie, jakie czynniki wpłynęły na popularność i sukces teatrów plenerowych zlokalizowanych w obszarach leśnych, na terenie dawnych ziem cesarstwa niemieckiego. Głównym przedmiotem rozważań są dwa teatry: Teatr Leśny w Gdańsku Wrzeszczu oraz Opera Leśna w Sopocie. Obiekty te zostają skonfrontowane z teatrem pod gołym niebem Freilichtbühne w Mülheim an der Ruhr, sceną leśną Waldbühne w Berlinie oraz teatrem ludowym Le Théâtre du Peuple w Bussang. Artykuł przedstawia sytuację polityczną panującą w okresie powstania ww. teatrów plenerowych oraz jej wpływ na rozwój tych obiektów. Ukazany zostaje związek czasu wdrożenia nowości technicznych do omawianych teatrów z ich popularnością. Przedstawia się także wpływ dostępności transportu zbiorowego do wybranych teatrów oraz dodatkowych funkcji pełnionych przez miasta/wsie, w których obiekty te zostały zlokalizowane. Za pomocą metody analizy porównawczej i logicznej argumentacji określono czynniki odpowiedzialne stan i funkcjonowanie leśnych teatrów plenerowych w czasach obecnych.

Słowa kluczowe: teatry plenerowe, teatry leśne, ziemie niemieckie, Opera Leśna Sopot, Teatr Leśny Wrzeszcz, Teatr ludowy Bussang, amfiteatr Waldbühne Berlin

1. Wprowadzenie

W ciągu lat, wielokrotnie poruszano kwestię powiązań oraz wpływów sytuacji politycznej i ekonomicznej charakterystycznej dla danego obszaru, na zlokalizowane w nim organizacje kulturalne. W książce Theatre Worlds in Motion: Structures, Politics and Developments in the Countries of Western Europe [20] przeanalizowane zostały historyczne tradycje i położenie teatrów w wybranych krajach, a także ich funkcjonowanie w społeczeństwie i wpływ państwa na ich rozwój. Loren Kruger w książce The national stage: Theatre and cultural legitimation in England, France, and America porównuje teatry w Anglii, Francji oraz Ameryce w czasie kryzysu politycznego. Rozważa relacje teatrów publicznych z krajowymi programami politycznymi [9]. W Le théâtre du peuple [14] R. Rol-

¹ Agnieszka Faustyna Szuta Wydział Architektury, Politechnika Gdańska, ul. Gabriela Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk e-mail: szuta.agnieszka@wp.pl

land również ukazuje sytuację polityczną panującą od czasów Rewolucji Francuskiej, aczkolwiek sam esej jest próbą reformy organizacji teatralnych. Manifestuje o dostępność teatru dla ludu, w którym cena biletu nie będzie odzwierciedleniem statusu społecznego. Nawiązujący do dawnych teatrów plebejskich, Teatr „Rondo” w Słupsku, otwarty był dla szerokiego grona odbiorców. Został scharakteryzowany przez A. Sobiecką w artykule Ujarzmienie pejzażu, czyli o możliwościach teatru plenerowego [16]. Niniejszy artykuł stanowi ciąg dalszy rozważań dotyczących wpływu czynników (między innymi) politycznych na rozwój teatrów, przy czym krąg badanych obiektów zostaje zawężony do tych, zlokalizowanych na terenie dawnej II Rzeszy. Kolejno, z terytorium Cesarstwa Niemieckiego wybrano jedynie te teatry plenerowe, które znajdują się w obszarze leśnym. Oprócz politycznych oddziaływań na rozwój leśnych² teatrów plenerowych, zostają także przedstawione inne uwarunkowania tj.: dostępność obiektów względem komunikacji publicznej, dodatkowe funkcje i usługi oferowane przez miejscowości w których teatry zostały zlokalizowane, a także czas wdrożenia innowacji technicznych do wyselekcjonowanych obiektów. Analizie poddane zostają: Teatr Leśny w Gdańsku –Wrzeszczu oraz Opera Leśna w Sopocie (zlokalizowane na terenie obecnej Polski), a także Teatr Freilichtbühne w Mülheim an der Ruhr, i scena leśna Waldbühne w Berlinie (zlokalizowane na terenie obecnych Niemiec) oraz teatr ludowy Le Théâtre du Peuple w Bussang (zlokalizowany w obszarze obecnej Francji).

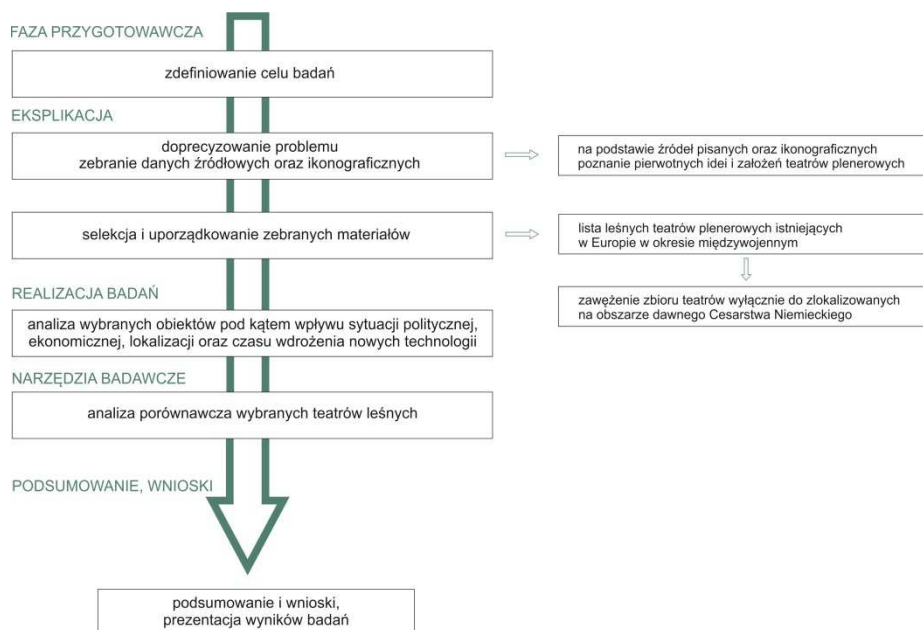
2. Metodyka badań oraz przebieg procesu badawczego

Celem niniejszego artykułu jest zdefiniowanie czynników wpływających na popularność i sukces leśnych teatrów plenerowych powstałych na obszarze dawnych ziem Cesarstwa Niemieckiego. Postawiono pytanie: jakie czynniki stanowią o popularności Teatru Leśnego we Wrzeszczu oraz Opery Leśnej w Sopocie? Stało się to podstawą do rozpoczęcia badań. Kolejne fazy badań przedstawione zostały na schemacie (Rys.1.)

Pierwszym etapem badań było zapoznanie się z dotychczasowymi publikacjami dotyczącymi rozwoju i funkcjonowania teatrów plenerowych. Przygotowania objęły szerokie spektrum literatury [3, 4, 5, 6, 9, 12, 14, 17, 20]. Kierunek oraz zmiany zachodzące w rozwoju i kształtowaniu się stosunków społecznych zostały w artykule poparte cytatami.

Kolejnym krokiem było zweryfikowanie oraz uporządkowanie zebranego materiału. Poznanie doświadczeń w budowie i rozwoju teatrów plenerowych w krajach europejskich, stało się tłem dla przeprowadzanych badań. Rozwój teatrów plenerowych przedstawia się w oparciu o materiały źródłowe. Na podstawie ww. źródeł (w tym ikonograficznych oraz kartograficznych) przygotowany został zbiór obiektów teatralnych istniejących w okresie międzywojennym w krajach europejskich. Z tego zbioru wybrano teatry, które zostały zlokalizowane, podobnie

² Dla potrzeb artykułu wprowadza się przymiotnik „leśny” odnoszący się do obszaru położonego w lesie lub na jego obrzeżach



Rys. 1. Schemat przebiegu badań

Fig. 1. The research scheme

jak obiekty sopocko - wrzeszczańskie, w leśnym otoczeniu. Kolejno, wybrano spośród nich jedynie teatry położone na terenie dawnego Cesarstwa Niemieckiego. Wyselekcjonowane teatry następnie poddano analizom, w których wzięto pod uwagę:

- motywy i cel otwarcia teatrów;
- sytuację polityczną panującą w kraju w czasie powstania obiektów;
- dodatkowe atrakcje oferowane przez miejscowości w których zlokalizowano leśne sceny;
- położenie i dostęp komunikacji zbiorowej do omawianych teatrów (Tabela 1, Tabela 2);
- czas wdrożenia nowych technologii do analizowanych obiektów;
- istnienie funkcji towarzyszących, zapleczy technicznych;

W badaniach wykorzystana została metoda porównawcza oraz logicznej argumentacji. Po wzajemnym skonfrontowaniu wybranych obiektów oraz podsumowaniu wszystkich wykonanych analiz i zestawień (Tabela 1, Tabela 2) stało się możliwe określenie czynników wpływających na rozwój i popularność leśnych teatrów plenerowych powstałych na terytorium dawnego cesarstwa niemieckiego.³

³ Wybrane obiekty teatralne powstały pomiędzy ostatnią dekadą XIX wieku a początkiem wieku XX

3. Teatr plenerowy – motywy i okoliczności powstania

Motywy powstania teatru plenerowego można odnaleźć w starożytności. Religie, misteria i wierzenia skłaniały ludzi do wypowiedzi otwartej, powiązanej z niezbadanymi siłami przyrody. Początek teatru związany jest z rytuałem ofiary wedyjskiej.⁴ Wątek dramatycznych aktorom dostarczały hymny dialogowe zapisane w Rygwedzie,⁵ która powstała u progu XV w. p. n. e. To właśnie z azjatyckiej kolebki kulturowej wywodzi się idea teatru otwartego [5].

Wydarzenia będące powiązaniem sztuki teatralnej i obrzędów religijnych, można odnaleźć również w starożytnej Europie. W Grecji, widowiska te związane były ze świętem ku czci boga Dionizosa (ostatnia dekada VI w. p. n. e). Przedstawienia plenerowe łączyły świat ludzki z mitycznym światem boskim, odnosiły się do idei sztuki propagującej życie w symbiozie z naturą. Widowiska zwykle odbywały się na stokach wzgórz, istotna była dostępność pola przedstawienia - winna umożliwić zebranie się wszystkich mieszkańców miasta. Wybrany teren nie miał wydzielonej granicy, bo „granice mógł ustanowić każdy, kto jeszcze przyszedł, kto stanął dalej, na zboczu, nie był poza teatrem, był w teatrze, teatr kończył się dopiero za nim, teatr mógł obejmować całe plemię, całą krainę, rozchodził się koncentrycznymi kręgami, promieniował i włączał”⁶ Już w czasach starożytnych uwidoczniła się społeczna funkcja teatru – zebrania nie skupiały się wyłącznie na kulcie religijnym (Grecy doskonale znali mity, a co za tym idzie, nie zbierali się na przedstawieniu w celu ich poznania), miały również dostarczać rozrywki, a także stawały się powodem do spotkań z ludźmi [4].

4. Teatr XX wieku – powrót do antycznych korzeni

Architektura teatralna rozwijała się powoli, zgodnie z postępem kolejnych epok i świadomości społecznej. Istotne dla opracowania zmiany przyniósł wiek XX, w którym nastąpił zwrot rozwoju architektury teatralnej ku jej antycznym korzeniom.

W I połowie XX wieku wykreowano w przestrzeń zmienną⁷, z dobrą akustyką i widocznością sprzyjającą koncentracji. Przeszłość ta znalazła zastosowanie głównie w małych pomieszczeniach, a zatem przedstawienia były raczej kameralne i dla elity. Sale okazały się mało elastyczne - tym samym ograniczające repertuar⁸.

⁴ Ofiara (jadźña); rytuał ofiarny był centralnym punktem wedyzmu i braminizmu; wydarzeniu towarzyszył taniec, śpiew, muzyka oraz recytacja [29]

⁵ Rygweda - najstarsza z wed, świętych ksiąg hinduizmu, jej powstanie datuje się na 1500 r. p.n.e. W Europie pierwsi autorzy sztuk teatralnych czerpali z Iliady i Odysei (ok 800 r. p.n.e) [5, 29]

⁶ Cyt: Braun K *Przeszłość teatralna*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1982

⁷ Barokowe mury gmachów teatralnych pozostały bez większych zmian, wyposażono je natomiast w urządzenia techniczne, oświetleniowe i dźwiękowe [4]

⁸ W odpowiedzi na problem powstał projekt Teatru Totalnego o nieograniczonych możliwościach transformacji sceny (1927r.) W. Gropiusa i E. Piscatora w Berlinie. Eksperymenty umożliwiły bliższy kontakt aktora i widza, jednak nadal przestrzeń pozostawała sztuczna [3]

Co więcej, były odcięte od natury, K. Braun opisuje je jako zimne, laboratoryjne, technologiczne. W efekcie, teatr odwrócił się od miejsca które sam wytworzył. Rozpoczęto poszukiwanie obszarów, które zaspokoją potrzebę jedności człowieka z naturą i nie będą obarczone barierami strzeżonych terenów. Zaczęły powstawać teatry miejskie i plebejskie, ludowe - dostępne z racji niższych cen biletów.⁹ Sztuka wyszła poza ramy budynków, podporządkowując sobie naturalne tereny. A. Franczak określał teatr plenerowy jako „ próby ujarznienia pejzażu. Realizuje się z wnikliwego badania i adaptacji walorów teatralnych przestrzeni otwartej”.¹⁰ R. Schechner wprowadził termin „teatr environmentalny”, odnoszący się do teatru bez ściśle określonej granicy sceny i widowni (w tak utworzonej, wspólnej przestrzeni, aktorzy i widzowie zostają zbliżeni, tworzą jedno środowisko). Miejscem dla tego typu teatrów mogły być przestrzenie z dnia codziennego (np. park, ulica, hala). Akcja nie toczyła się na wydzielonym obszarze, co miało sprzyjać aktywizacji widowni i spowodować jej większe zaangażowanie w przedstawienie [4, 8].

O zatarciu granicy pomiędzy aktorem a widzem w XX wieku postulowało wielu dramaturgów i uczonych. Jeden z reformatorów francuskich, A. Artaud, postulował o zamianę sceny oraz widowni w nieograniczone miejsce tak, aby wytworzyć i umocnić więź pomiędzy widzem i aktorem. Ten i wiele innych postulatów wpłynęło na projekty ówczesnych architektów [17]. Przestrzeń widowisk plenerowych oferowała łatwy, bezpośredni kontakt. Akcja spektakli odbywających się pod gołym niebem obejmowała wszystkich zgromadzonych, a aktorzy znajdujący się na scenie otoczonej trybunami byli dobrze widoczni. Niemniej jednak, przedstawienia plenerowe miały mankamenty - nie sprzyjały skupieniu. Powszechna dostępność występów przesyłała tłumy, obecne były również dzieci, stąd nieustanny tłok, część widowni była w ciągłym ruchu (np. w poszukiwaniu znajomych). W czasie widowisk panowała sielska atmosfera. Mimo to, sceny plenerowe stały się konkurencją dla miejskich teatrów (do których trudno było się dostać - jedną z przeszkód były kosztowne bilety) [4]. Widowiska odbywające się pod gołym niebem zaczęły cieszyć się ogromną popularnością w całej Europie.¹¹ Z czasem sceny plenerowe stały się również miejscem dla wypowiedzi politycznych. W latach 1934 - 1937 Niemcy zrealizowali 40 teatrów pod gołym niebem.¹² Ich położenie było zwykle ustronne na przykład w lasach czy górach.

⁹ Pierwszym teatrem ludowym jest Le Théâtre du Peuple w Bussang, omówiony w rozdziale 5

¹⁰ Cyt: A. Franczak, Programy i założenia Międzynarodowych Warsztatów Widowisk Plenerowych, archiwum SOK, teczka dokumentacyjna 32/14, 15 oraz 32/20, 21, [cyt.za:] A. Sobiecka *Ujarznienie pejzażu, czyli o możliwościach teatru plenerowego*. Tom 9, s. 251-261 Świat Tekstów. Rocznik Słupski, 2011

¹¹ Skalę i popularność widowisk plenerowych obrazuje wiele przykładów, tj.: przedstawienie Firmina Gemier'a w Vaud (Szwajcaria) w 1903 roku, udział w nim wzięło 2400 statystów; Max Reinhardt dawał masowe widowiska w latach 1910-1920 w Berlinie, później Wiedniu, Wrocławiu, Londynie i Stanach Zjednoczonych, potem Wiedniu. Tego typu widowiska odbywały się także w Rosji Radzieckiej głównie w latach. 1919-20 [17]

¹² Hitlerowcy fascynowali się przedstawieniami pod gołym niebem. W 1934-37 zaplanowali wybudowanie 500 teatrów plenerowych, z czego zrealizowano 40. Teatry te zwano „Thing”,

J. Szerszeń charakteryzuje teatr wieku XIX oraz początku XX jako cofający się w rozwoju, co popiera przykładem teatru pod gołym niebem powstałym na wzór starożytny. Lata 60. XX wieku przyniosły nowe pomysły i idee.¹³ Przez pryzmat uczestników konkursu „Teatr Jutra” można wysnuć interesujące wnioski odnośnie relacji przestrzeni miejskiej i teatru. Jednym z nich jest fakt, że autorzy projektów postulowali przeciw lokalizowaniu teatrów z dala od życia miejskiego, na „zielonych wyspach”¹⁴. Sytuowali ww. budynki w śródmieściu lub okolicy, w pobliżu głównych ciągów pieszych i węzłów komunikacyjnych tak, aby były łatwo dostępne dla widzów. Podobne spojrzenie odnośnie lokalizacji ukazują teoretyczne projekty realizowane na seminarium „Mobiler Spielraum” na Uniwersytecie Technicznym w Darmstadt. Obiekty teatralne umieszczano w aktywnych częściach miasta tak, aby umożliwić kontakt międzyludzki [17].

Teatr XX wieku z jednej strony czerpał inspiracje z barokowych wzorców - w zamkniętych gmachach znalazło się bogactwo zdobień i wiele efektów; przedstawienia były dla elity, kosztowne, jednak z dobrą technologią i sprzyjające skupieniu. Z drugiej zaś strony, postulowano o dostępność i powszechność przedstawień, chciano wyrwać się z ograniczonych pomieszczeń. W efekcie teatr plenerowy przeciwstawił się dworskiemu i zwrócił się w kierunku pierwotnych idei, ku przestrzeni naturalnej, niearanżowanej. Wkrótce, wystąpienia plenerowe zreszające tłumy, zostały wykorzystane do masowego przekazu politycznego i celów propagandowych.

5. Francja: Le Théâtre du Peuple de Bussang – Teatr ludowy w Bussang

Teatr ludowy w Bussang (fr.: Le Théâtre du Peuple de Bussang) powstał najwcześniej ze wszystkich omawianych w artykule obiektów. Jego ideą przewodnią była otwartość i dostępność dla wszystkich widzów, tym samym odrzucono teatry „zamknięte”. Teatr w Bussang był przedmiotem rozważań wielu historyków pod kątem rozwoju kulturowego, postaw społecznych oraz w kontekście teatrów ludowych. Jego przykład ukazuje, w jaki sposób przedstawienia odbywające się pod gołym niebem wpłynęły na społeczność - heterogeniczne jednostki stawały się wspólnotą za sprawą emocji związanych z przedstawieniem (np. jednoczesne wzruszenie, śmiech). Wystąpienia plenerowe przyciągały tłum podobnie jak w czasach starożytnych przedstawienia oparte na mitach skupiały ludność Aten [10, 14, 26].

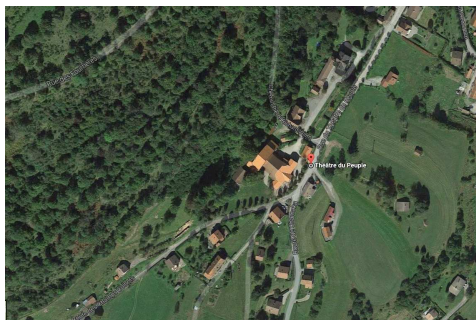
„Thingplatz” lub „Thingstatte”. W Operze Leśnej w Sopocie, odbywały się festiwale wagnerowskie, na wzór festiwali w Bayreuth [4]

¹³ Jednym z nich jest rozwiązanie A. Pronaszki i S. Bryły obrazujące odmienne spojrzenie na rolę teatru w społeczeństwie. Zaproponowano teatr „ruchomy” którego rozwiązanie łączy się z ideą teatrów objazdowych [3]

¹⁴ Zielone wyspy – J. Szerszeń określał w ten sposób teatry sytuowane w plenerze, w okolicach leśnych, z dala od komunikacji [17]

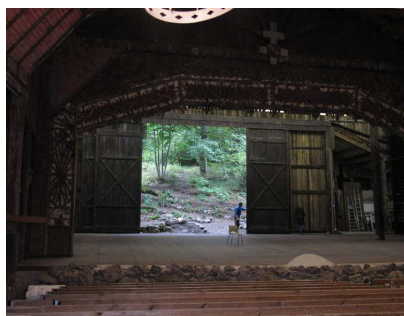
Teatr ludowy w Bussang został założony przez Maurice Pottechera w 1895 r. Obiekt ten zlokalizowano w leśnym otoczeniu (Rys. 2), pomiędzy wzgórzami w Bussang, w regionie Grand Est (departament Wogenzy) we Francji.¹⁵ Istotną rolę w rozwoju przedsięwzięcia odegrało otwarcie nowej linii kolejowej, ponieważ Bussang jak dotąd był znacznie oddalony od głównych arterii komunikacyjnych. Otwarcie linii kolejowej z przystankiem w Bussang było utrudnione ze względów politycznych (sprawa traktatu frankfurckiego), bowiem wyznaczona trasa była oddalona o niespełna 6 km od granicy z Niemcami. Ostatecznie zapadła przychylna decyzja i otwarto nową linię pociągową. Od 1892 r. Bussang został połączony z francuską siecią kolejową (odległość od Paryża wynosiła około 9 godzin). Ta inwestycja przyczyniła się do lokalnego rozwoju gospodarczego, w tym przemysłu i turystyki. Przedstawienia w teatrze ludowym zsynchronizowano z rozkładem jazdy pociągów. Nowa linia miała także swoją użyteczność wojskową, łączyła Bussang (który był posterunkiem granicznym) z Alzacją [10, 32, 33].

Na wystawiane w Le Théâtre du Peuple sztuki przybywała ludność z wielu pobliskich miast¹⁶ w poszukiwaniu rozrywki, a także kuracjusze. Latem wioska odwiedzana była przez wielu turystów¹⁷, którzy przyzwyczajeni do przedstawień również chętnie brali udział w tych, wystawianych na scenie w Bussang. Od 1896 r. zaczęto oferować płatne występny, które już w kolejnym roku dały sposobność do wystawiania bezpłatnych sztuk dla miejscowej ludności i ubogich. Regularną widownię zapewniała kolej, korzystali z niej również aktorzy i inni występujący, którzy później świadczyli o artystycznym działaniu teatru w Bussang w Paryżu [10].



Rys. 2. Teatr ludowy w Bussang: widok z lotu ptaka

Fig. 2. The Théâtre du peuple in Bussang: bird's-eye view



Rys. 3. Teatr ludowy w Bussang: otwarta brama z widokiem na las

Fig. 3. The Théâtre du peuple in Bussang: Open gate with a forest view

¹⁵ W czasie powstania teatru teren ten należał do Cesarstwa Niemieckiego

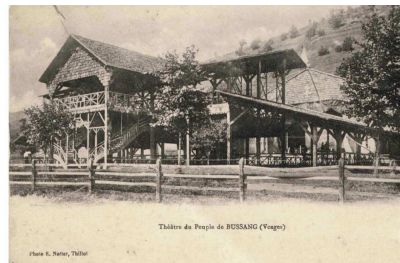
¹⁶ Przykładem służy miasto Vittel - oddalone o ok 100 km od Bussang; zlokalizowano w nim luksusowy teatr kasyna Vittel, nie zabrał on publiczności teatru w Bussang; teatry rozwijały się równolegle [20]

¹⁷ Dla zaspokojenia potrzeb stacjonujących wybudowano w okolicy kilka hoteli.



Rys. 4. Teatr ludowy w Bussang: otwarta brama z widokiem na las, 1895

Fig. 4. The Théâtre du peuple in Bussang: Open gate with a forest view, 1895



Rys. 5. Teatr ludowy w Bussang: rok 1898,

Fig. 5. The Théâtre du peuple in Bussang: 1898

W niniejszej analizie, teatr ludowy w Bussang zostaje wykorzystany także jako przykład efektywnego wdrażania postępu techniki do teatrów plenerowych. Ww. teatr otwiera się na pejzaż czterema, tylnymi bramami (Rys. 3,4). W 1896 r. dobudowano scenę o wymiarach 15m x10m x10m (szer. x gł. x wys.), pod którą zamontowano właz. Po pierwszym wystąpieniu również uwzględniono potrzeby widzów, dla których osadzono ławki mieszczące 2 tysiące osób¹⁸ [14]. W związku z rozwojem kina, film zaczął stawać się konkurencją dla przedstawienia teatralnego, co spowodowało zwiększenie znaczenia umiejętności aktorów, wyposażenia oraz zabudowy i technologii teatralnej. Ustosunkowując się do nowych wymagań, rozwój teatru w Bussang trwał nieustannie. W 1898 r. powstał trybun boczny, a także orchestra i proscenium. Już w 1904 r. doprowadzono instalację elektryczną. W przeciągu kilku lat teatr został pokryty dachem dobudowano ponad tysiąc miejsc. (Rys. 5) W czasie II Wojny Światowej teatr został zbombardowany siedem razy. Bussang przestał być popularnym kurortem, większość hoteli została zniszczona, a kolej opuszczona. Niemniej z uporem remontowano i odnawiano teatr. W latach 1945-1950 wyłożono podłogę, zbudowano pomieszczenia przeznaczone na garderobę i warsztaty krawieckie. W 1975 r. obiekt został mianowany zabytkiem. W latach 1986-1994 dobudowano pracownię dekoracji oraz zrekonstruowano pierwotne wejście. Aktualnie teatr jest drewnianym obiektem całorocznym [14, 26].

Teatr ludowy w Bussang przyczyniał się do rozwoju kulturalnego społeczności od XIX w. Jego przykład pokazuje, że przedstawienia nie były tylko środkiem gromadzącym ludzi, ale również odgrywały istotną rolę w łączeniu różnych warstw społecznych. Budowa nowej linii kolejowej umożliwiła udział w wystąpieniach gościom z okolicznych miast, turystom i kuracjom, co z kolei wpłynęło na rozwój gospodarczy miejscowości (ze względu na licznie przybywających turystów wybudowano hotele). Płatne inscenizacje dla turystów i kuracjuszy, pokryły koszty (darmowych) przedstawień dla miejscowej, uboższej społecz-

¹⁸ Montaż ławek pozwolił na przedłużenie czasu trwania przedstawienia, widzowie spoza miejscowości wymagali komfortu odsłuchu zbliżonego do zwykłego teatru.

ności. Teatr ciągle się rozwijał, co zagwarantowało satysfakcję widzów (dostawienie ławek) i aktorów (dobudowa garderób, zakładów krawieckich). Wielokrotne bombardowania i powojenne zniszczenia nie przeszkodziły w ciągłym rozwoju obiektu. Studium przypadku ukazuje również, że obiekt, który jest rozwijany zgodnie z postępowaniem technicznym oraz poczynane są starania by sprostać coraz to śmielszym wymaganiom aktorów i widzów - może być popularny nieustannie, pomimo wyspowego położenia, z dala od głównych arterii komunikacyjnych [10].

6. Niemcy: Freilichtbühne Mülheim an der Ruhr – Teatr Plenerowy w Mülheim an der Ruhr; Dietrich-Eckart Freilichtbühne/ Waldbühne Berlin – Scena Leśna w Berlinie

Już w czasie przedwojennym, w Niemczech popularnością cieszyły się tzw. Thingplatz or Thingstätte - miejsca gdzie odbywały się występy plenerowe. Były to teatry pod gołym niebem budowane na wzór starożytnych, greckich amfiteatrów. Założeniem tego typu przedsięwzięć było utworzenie miejsc pozwalających na uczestnictwo w przedstawieniach i spotkaniach wszystkich zainteresowanym.¹⁹ Z czasem, celem wystąpień stało się przygotowanie i utożsamienie widowni z rewolucją narodowo-socjalistyczną [12]. W tym rozdziale przedstawione zostają dwa teatry: Teatr Plenerowy w Mülheim oraz Scena Leśna w Berlinie.

Teatr Plenerowy w Mülheim an der Ruhr (niem. Freilichtbühne Mülheim an der Ruhr), położony jest w leśnym otoczeniu (Rys. 6) w zagłębiu Ruhry, Nadrenii Północnej-Wstfalii tj. zachodnia części Niemiec. W 1930 r. Fritz Keßler, dy-



Rys. 6. Teatr w Mülheim: widok z lotu ptaka

Fig. 6. Theatre in Mülheim: bird's-eye view

¹⁹ Założeniem ruchu Thingspiel było spotkanie ludu Volk na völkischskie – wystąpieniach teatralnych i propagandowych. Thingplatz, czyli miejsce służące tym zebraniom, budowane były w naturalnym otoczeniu. Więcej: [11]

rektor parków w Mülheim, starał się przekształcić teren dawnego kamieniołomu w park i nie dopuścić do powstania tam wysypiska. Projekt parku Dimbeck był trudny do zrealizowania z racji panującego kryzysu ekonomicznego i pozostał niedokończony. W 1933 r. projekt został przejęty przez Reich Labour Service. Wówczas wzbogacono projekt o plan teatru pod gołym niebem, powstało również nowe połączenie dla pieszych z historycznym centrum miasta. Miejsce było i jest dobrze skomunikowany również z pobliskimi miejscowościami [21, 23].

Teatr plenerowy (zbudowany jako Nazi Thingplatz) został otwarty 28.06.1936 r., sprzedano około 3 tysiące biletów. Zapotrzebowanie było tak duże, że kolejnego dnia powtórzono występ. Podczas wojny obiekt został wykorzystany jako schron oraz szpital polowy. Działanie teatru zostało wznowione dopiero 30.06.1954 r. Przedstawienie przyciągnęło ponad 2 tysiące widzów, w latach 1954-1956 odbyło się 56 spektakli. Wkrótce działalność została ponownie zawieszona, aż do 1971 r. kiedy odbył się Karl May Festiwal w Mülheim. Wówczas kompleks Dimbeck przeżył swoisty renesans, jednakże zainteresowanie miejscem było tylko chwilowe. W 2000 r. organizacja Freunde der Europa-Freilichtbühne Mülheim podjęła działania mające na celu wykorzystanie teatru jako przestrzeni służącej do wystawiania sztuk o szerszym spektrum. W 2003 r. ww. organizacja dołączyła do Regler Production, które z kolei leśną scenę w Mülheim wykorzystało do wielu kulturalnych wydarzeń. W 2006 r. całość obiektu unowocześniono, odświeżono działy obsługowe. Dzięki sponsorom, polepszone także elementy części technicznej. Wydarzenia towarzyszące odbywającym się mistrzostwom świata przyciągnęły do sceny nową publiczność. Teatr w Mülheim stał się rozpoznawalny dopiero po 2006 r., a dochody które przynosi zostają przeznaczone na jego wyposażenie [21, 23].

Zespół parku na Dimbeck i Freilichtbühne Mülheim an der Ruhr stał się alternatywnym wykorzystaniem terenu dawnego kamieniołomu. Projekt stanowił znaczące osiągnięcie urbanistyczne, początkowo nowo zaaranżowane miejsce przyciągało dużą liczbę gości, tym samym przyczyniło się do rozwoju życia kulturalnego miasta. Do czasu wojny Park Dimbeck wraz ze sceną pod gołym niebem cieszył się dużym zainteresowaniem. Choć dobrze skomunikowany, [31, 32] obiekt szybko stracił zainteresowanie i nie powrócił do dawnej świetności. Teatr nie był doposażony, nie rozwijał się (Rys.7). W latach 70. wzbudził ponowne zainteresowanie za sprawą Karl May Festiwal. Szansa na odrodzenie się teatru jednak nie została wykorzystana i obiekt ponownie popadł w zapomnienie. Sytuacja zaczęła się zmieniać dopiero w ostatnim dziesięcioleciu, odkąd podjęto działania na rzecz odświeżenia i unowocześnienia teatru. Obiekt stopniowo staje się rozpoznawalnym miejscem.

Warto zwrócić uwagę na inny teatr, również położony w Niemczech. Scena Leśna w Berlinie, zyskała i zachowała popularność, w przeciwieństwie do wyżej omówionego Teatru Plenerowego w Mülheim. Wybudowano ją jako Teatr Plenerowy Dietrich - Eckart²⁰ (niem. Dietrich-Eckart Freilichtbühne) w 1936 r. Powsta-

²⁰ Dietrich-Eckart – poeta i krytyk, po I wojnie był znany w kręgach bawarskich nazistów, pierwszy wychwycił talent Hitlera do wygłaszania przemówień



Rys. 7. Od lewej: Teatr w Mülheim: widok na trybuny wiek XX; Teatr w Mülheim: widok na trybuny wiek XXI

Fig. 7. From left: Theatre in Mülheim: view of the grandstand 20th century; Theatre in Mülheim: view of the grandstand 21th century

nie obiektu zainicjował ówczesny minister propagandy i oświecenia publicznego - J. Goebbels, projekt wykonał Werner March. Architektura tego obiektu opiera się na dawnych wzorcach greckich.

Scenę leśną zlokalizowano w naturalnym wąwozie (Rys. 8) pomiędzy wzgórzami Murellenberg a północnymi zboczami Pichelsberge, na których opierają się trybuny. Dostęp do obiektu był łatwy, pod względem urbanistycznym, scena była częścią Planu Germania²¹. Teatr plenerowy otwarto latem w 1936 r. wraz z igrzyskami olimpijskimi. Na widowni zasiąść może ponad 20 tysięcy osób. Podczas rządów Hitlera, obiekt stał się idealnym miejscem dla propagandowych wystąpień [19, 30, 31, 32].

Na Scenie Leśnej w Berlinie odbywały się także inne, różnego rodzaju widowiska, od bokserskich poprzez taneczne i chóralne. W 1937 r. obchodzono tam uroczystość z okazji 700-lecia Berlina. W 1939 odbywały się opery Wagnera, opłacane i współprojektowane z Hitlerem. Po II wojnie teatr służył jako kino letnie, ceniony za bardzo dobrą akustykę. Do 1960 r. wszystkie wojenne zniszczenia zostały odbudowane, a w 1961 r. odbył się pierwszy koncert rockowy. Podczas jednego z koncertów w 1965 r. doszło do zamieszek skutkujących wieloma zniszczeniami. Niemniej, naprawiono je w przeciągu siedmiu lat. W 1982 r. zostało zainstalowane zadaszenie. Miejsce co roku przyciąga tysiące



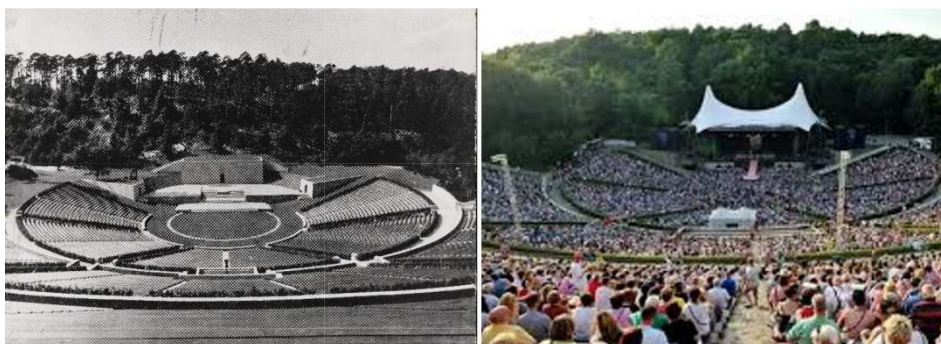
Rys. 8. Teatr w Waldbühne: widok z lotu ptaka

Fig. 8. Theatre in Waldbühne: bird's-eye view

²¹ Projekt przebudowy Berlina, będący częściowo wizją A. Hitlera; niem. Welthauptstadt - Stolica Świata Germania

widzów i jest bardzo dobrze skomunikowane. Inwestycje w teatr i jego rozwój techniczny (Rys. 9) zaowocowały w postaci dużej, nieprzerwanej popularności Sceny Leśnej w Berlinie zarówno dawniej jak i dziś [19, 30].

Sceny plenerowe zaczęły się cieszyć coraz to większym zainteresowaniem wśród władz, pobudki polityczne przyczyniły się do powstawania obiektów w tym typie. Scenę Leśną w Berlinie pierwotnie nazwano na cześć nazistowskiego pisarza Dietrich-Eckart. Obiekt położony w sąsiedztwie stadionu olimpijskiego był dobrze skomunikowany. Teatr przeszedł liczne modernizacje i remonty, był stale rozwijany i dostosowywany do budzących się potrzeb. Do dziś kontynuuje działalność z nieprzerwaną popularnością.



Rys. 9. Od lewej Teatr w Waldbühne: widok sceny i trybun w kierunku północno-zachodnim wiek XX; Teatr w Waldbühne: wiek XXI

Fig. 9. Theatre in Waldbühne: View of the grandstand and stage, north-west view 20th century; Theatre in Waldbühne: 21th century

7. Polska: Teatr Leśny w Gaju Gutenberga w Gdańsku - Wrzeszczu, Opera Leśna w Sopocie

Tuż po I Wojnie Światowej, Niemcy wzywali naród do nacjonalizmu, a ruch volkish zaczął się przeradzać w ideologię polityczną²². Powszechność i dostępność teatrów pod gołym niebem przyciągała tłumy, sztuka stopniowo przybierała wydźwięk politycznego, a sceny plenerowe zaczęto wykorzystywać do celów propagandowych. U początku XX wieku w Polsce, w województwie pomorskim,

²² W odpowiedzi na rewolucję przemysłową w XIX w Europie, narodził się nowy ruch romantyczny, a w jego konsekwencji ruch volkish. Volkish, początkowo marginalny politycznie, sprzyjał emocjom, koncentrował się na człowieku i świecie. Po I wojnie Niemcy wzywały naród do nacjonalizmu, wówczas volk zaczął być używany jako symbol proletariatu. Odrodziła się niemiecka polityka i przekonanie, że naród niemiecki winien zająć miejsce przywódcy ludzkości. Ruch nie rozszerzał się uniwersalnie, ograniczał się do konkretnej jednostki narodowej i stanowił podstawę do intensywnego nacjonalizmu w następnych dziesięcioleciach [11]

istotną rolę w krzewieniu Volkskultur²³ pełniły dwa obiekty: Teatr Leśny w Gaju Gutenbergu w Gdańsku²⁴ Wrzeszczu oraz Opera Leśna w Sopocie.

W okolicy dzielnicy willowej, na wzgórzach we Wrzeszczu, w Gaju Gutenbergu (Rys. 10), w 1911 r. został otwarty Teatr Leśny. Miejsce to przyciągało bogatych gdańszczan zachęconych położeniem, z którego rozciągały się niesamowite widoki. Jaśkowa Dolina już wcześniej, pod koniec XVII wieku, cieszyła się zainteresowaniem. Teren po przeciwnej stronie gaju, dziś znany jako Wzgórze Sobótki, nabył Johann Labes. Założył tam dwór, a urządzoną promenadę udostępnił mieszkańcom. Określeniem „Park Jaśkowej Doliny” nazywa się tereny od gaju Gutenbergu aż po wzgórze Sobótki [15].



Rys. 10. Teatr leśny we Wrzeszczu: widok z lotu ptaka

Fig. 10. The Forest Theatre in Wrzeszcz: bird's-eye view

Niestety, podczas gdańskiej okupacji, teren ten był sukcesywnie niszczone, w 1832 r. założono tam park miejski którego celem było ratowanie tego, co jeszcze na tym obszarze zostało. W 1840 r. z okazji upamiętnienia 400 rocznicy wynalezienia druku, ku uczczeniu pamięci jego wynalazcy J. Guttenberga, wzniesiono pierwszą, drewnianą altanę. Umieszczono ją w centralnym punkcie powstałego gaju Gutenbergu, który stał się częścią Jaśkowego Lasu. Znajdujące się tam wzgórze nazwano kolejno Wzgórzami Heveliusza, Kopernika i Wintera. Na obszarze wzgórz Heveliusza i Wintera powstał Teatr Leśny. Działalność (pod nazwą Waldspiele) rozpoczął 25.06.1911 r. przedstawieniem „Sen nocy letniej” W. Szekspira. Scena była trójpoziomowa o fenomenalnej akustyce. Na stoku wzgórz Heveliusza zlokalizowano widownię liczącą 2 tysiące miejsc, a na przeciwległym Wzgórzu Wintera umiejscowiono scenę mieszczącą orkiestrę i tysiąc śpiewaków. Teatr wyposażony był także w garderoby i toalety, wybudowano kasy, doprowadzono elektryczność, a teren został ogrodzony. Obiekt cieszył się powodzeniem, przeniesiono tam festyny śpiewacze z pobliskiego Gaju Śpiewaków. Opera „Zygfyd” R. Wagnera wystawiona tuż przed I wojną przeszła najsmielsze oczekiwania. Sprzedano 6 tysięcy biletów, a samo przedstawienie powtórzono. Zorganizowano także pociąg dowożący widzów z Elbląga. I Wojna Światowa zwińczyła karierę teatru. Obiekt był nieczynny od 1920 r., sporadycznie wykorzystany dla potrzeb imprez okolicznościowych. Po II wojnie sytuacja w dalszym ciągu nie uległa

²³ Niemcy nakłaniały ludzi do spojrzenia na swój język i kulturę [1, 6]

²⁴ W latach 1815-1920 oraz 1939-1945 Gdańsk był miastem garnizonowym. Feldmarszałek August von Mackensen, dowódca huzarów Leibhusaren Brigade, na początku XX w. mieszkał w willi przy ul. Małachowskiego we Wrzeszczu. Z jego inspiracji powstała Opera Leśna w Sopocie oraz rozwijał się hipodrom [22]

zmianie. Dopiero w 1998 r. teatr został reaktywowany i ponownie otwarty z inicjatywy mieszkańców [15, 22, 25].

Początkowo teatr cieszył się powodzeniem, do czasu I Wojny Światowej sukcesywnie rozbudowywany i doposażany nie tracił zainteresowania. Po wojnie nie wrócił do swojej świetności (Rys. 11) mimo szczególnych walorów akustycznych i bardzo dobrej komunikacji z całym Trójmiastem oraz okolicznymi, mniejszymi miejscowościami [32, 34]. Reaktywowany został u schyłku XX wieku. Teatr Leśny we Wrzeszczu nadal nie jest rozpoznawalny w szerszym gronie.



Rys. 11. Od lewej: Teatr leśny we Wrzeszczu, wiek XX; Teatr leśny we Wrzeszczu, wiek XXI

Fig. 11. From left: The Forest Theatre in Wrzeszcz 20th century; The Forest Theatre in Wrzeszcz 21th century

U progu XX wieku Sopot był prężnie rozwijającym się miastem. W 1904 roku oddano do użytku Zakład Kąpielowy, niebawem zaczęto wznosić kolejne Domy Kuracyjne, powstał rozległy kompleks zabudowań. Władze Sopotu w celu uatrakcyjnienia oferty dla gości, oprócz Domów Zdrojowych, zadbały o powstanie teatru, kasyna, restauracji, winiarni, a także o organizację wyścigów konnych na hipodromie.²⁵

Do budowy teatru przyczynił się ówczesny burmistrz, Max Woldmenn. i Przekonał Radę Miasta do przekazania na rzecz tego przedsięwzięcia nadwyżki z budżetu. Miejsce dla Teatru Leśnego w Sopocie (poprzednika dzisiejszej Opery Leśnej) wybrał Paul Walther Schaffer, kapelmistrz Teatru Miejskiego w Gdańsku, a później dyrektor Teatru Leśnego w Sopocie. Sopotką scenę zlokalizowano na polanie (Rys. 12), powyżej doliny Prątki, pomiędzy wzgórzami sopockiego lasu. W pobliżu znajdował się hipodrom, przy którym wybudowano przystanek kolejowy.

²⁵ Pod koniec XIX wieku w Sopocie powstał tor wyścigów konnych. Stacjonująca we Wrzeszczu jednostka kawalerii cesarskiej, początkowo ćwiczyła umiejętności jeździeckie na poligonie w dzisiejszym Gdańsku -Zaspie. Szef huzarów, August von Mackensen upodobał sobie sopocki kurort i wsparł władze Sopotu w budowie hipodromu. Modne wówczas wyścigi konne stały się dodatkową atrakcją miasta. Do pomocy w budowie toru wykorzystani zostali podwładni Mackensena, którzy później pomogli też wybudować Operę Leśną. W celu ułatwienia dostępu do hipodromu wybudowano przystanek kolejowy o nazwie Zoppot Rennplatz

Budowę teatru rozpoczęto w kwietniu 1909 roku, a w sierpniu odbyło się pierwsze przedstawienie. W tym czasie w Niemczech funkcjonowało już kilkadziesiąt teatrów pod gołym niebem.²⁶ Sopockie wystąpienia zakończyły się sukcesem, również finansowym. Koszty budowy teatru szybko się zwróciły, miejsce cieszyło się ogromnym powodzeniem, a to stało się argumentem do kontynuowania przedsięwzięcia [2].

Każdego roku, wykluczając lata 1915-19 oraz rok 1923, na sopockiej scenie leśnej odbywały się przedstawienia. Głównym założeniem tego teatru było prezentowanie spektakli operowych. Niemniej jednak wciąż był to jedynie teatr uzdrowski. Występujący tam kompozytorzy byli głównie niemieccy. Poziom reprezentowany przez aktorów i śpiewaków wykraczał niewiele ponad przeciętność, podobnie jak i repertuar.²⁷ Przełom nastąpił w 1914 roku, kiedy na leśnej scenie pojawili się wykonawcy rozpoczynający swoje wielkie kariery: Lotta Lehmann i Richard Tauber [2].

Wznowiona po wojnie w 1920 r. działalność sopockiej opery zaczęła się nie najlepiej. Sytuacja polityczna, powstanie suwerennego państwa polskiego oraz ustanowienie granicy Wolnego Miasta Gdańsk w odległości ok. 1,5 km. od Opery Leśnej - wszystko to znalazło odzwierciedlenie w repertuarze sopockiej sceny. Wpływ polityki można odnaleźć również w słowie „natura” które zyskało nowe znaczenie. Dotychczas symbolizowało przyrodę, miejsce kontaktu sztuki i natury, teraz zaczęło się odnosić również do natury niemieckiej kultury.

W 1921 r. po śmierci P. Walthera-Schäffera kierownictwo nad operą objął Hermann Merz. W 1922 r. pierwszy raz w Sopocie wystawiony został „Zygfryd” R. Wagnera (mimo, że inscenizacja nie odbyła się z takim rozmachem jak zaplanował Merz) opera w Sopocie została okrzyknięta „Bayreuth Północy”. W sopockiej operze leśnej zaczęto organizować festiwale dramatów Wagnera, udział w nich brała niemiecka elita solistów i orkiestr. Rozstawione przedstawienia zaczęły przyciągać mieszkańców innych krajów europejskich, a także Ameryki. Merz wywiązał się z oczekiwań nowego burmistrza Sopotu, Ericha Lauego, którego celem było uczynić Sopot uzdrowskiem o światowej renomie. Za czasów panowania Hitlera, opera została bardziej dofinansowana, szczególnie ze względu



Rys. 12. Opera Leśna w Sopocie: widok z lotu ptaka

Fig. 12. The Forest Theatre in Wrzeszcz: bird's-eye view

²⁶ Powołując się na teksty źródłowe [2] jedynie w okolicach dzisiejszego Trójmiasta teatry plenerowe pełniły w dużej mierze funkcję scen operowych; konkurować z Sopotem próbował Ahlbeck (nadmorski kurort)

²⁷ Więcej o pierwszym pokazie opery R. Wagnera w Sopocie oraz indywidualnych predyspozycjach i możliwościach inscenizacji sceny leśnej w Sopocie czyt.: [2]

na twórczość Wagnera. Były to czasy świetności sopockiej sceny, widownia liczyła około cztery tysiące miejsc co równało się z ilością miejsc stojących, scena mieściła ponad stu osobową orkiestrę. Obiekt odniósł duży sukces. Początkowa szerokość sceny była bliska 30m, od widowni oddzielała ją kurtyna wykonana z żelaznej siatki (wysokość - 12m, długość - 38m) [27]. Z budżetu miasta wygospodarowano pieniądze na rozbudowę teatru. Powiększono scenę (zwiększono szerokość do około 50m), wybudowano kanał dla orkiestry, dobudowano trybunę honorową. Wprowadzono nowoczesny park oświetleniowy, pomyślano również o zapleczu. Występować zaczęli bardziej wybitni artyści. Widownia w sezonie liczyła ponad 20 tys. osób, a miejsc mieli dyspozycji 5,5 tysiąca. Pojawiły się także funkcje towarzyszące jak sklepiki z pamiątkami i żywnością.

W 1923 r. nie odbyły się na sopockiej scenie leśnej żadne spektakle. Wystąpienia miał poprowadzić Knappertsbusch, jednak objął posadę w Monachium. Dodatkowo we znaki dała się również pogarszająca się sytuacja ekonomiczna. Kolejne przedstawienie w Operze Leśnej (Walkiria)²⁸ odbyło się dopiero w 1924 r. Atutem tej sceny leśnej, jak podają teksty źródłowe, była fenomenalna akustyka pozwalająca wszystkim widzom, nawet z najbardziej oddalonych miejsc, na zrozumienie każdego słowa pochodzącego ze sceny. Początkowo wojna nie wypłynęła na sopockie festiwale, dopiero w jej kilku ostatnich latach częstotliwość przedstawień zmalała.²⁹ Widownia opery leśnej zwykle wypełniała się żołnierzami i przygodnymi gośćmi. 1942 był ostatnim, oficjalnym rokiem w którym odbywał się festiwal Sopocki. Niemniej jednak, Merzowi udało się jeszcze przedłużyć działalność opery o kilka występów; okrojono fundusze, ograniczono inscenizację, ale dzięki temu wystawiono jeszcze w 1943 r. Zygryda i Walkirię. Wkrótce po tym, teren opery stał się magazynem - obok teatralnych rekwizytów znalazło się wyposażenie szkół, które to z kolei pełniły funkcję szpitali. Ostatecznie zakończyły trzy spektakle Zygryda w lecie w 1944 r. [2].

Działalność opery została wznowiona po II wojnie, jednak obiekt wykorzystywany był sporadycznie³⁰, zazwyczaj do lokalnych przedstawień regionalnych zespołów np. Zespołu Mazowsze. W 1961 r. w Operze Leśnej został zainaugurowany Międzynarodowy Festiwal Piosenki. Był to moment przełomowy dla sopockiej opery. Jej teren został rozbudowany, przeprowadzono generalny remont, obiekt przykryto dachem (1964 r.). Przedstawienie „Halki” przyciągnęło dużą widownię, a nowe zadaszenie polepszyło akustykę miejsca. Zdarzenia z 1980 r. spowodowały, że kolejne widowisko odbyło się dopiero 4 lata później³¹ [7].

Po wejściu Polski do Unii Europejskiej (2004r.) zaczęto mówić o potrzebie remontu Opery Leśnej w Sopocie, aby wykorzystać cały potencjał miejsca. Mini-

²⁸ Odnosząc się do repertuaru wystawiono prawie wszystkie dzieła R. Wagnera poza Tristanem i Izoldą, co było niespełnionym marzeniem Merza; więcej o repertuarze czyt.: [2]

²⁹ Od 1939 w kurorcie istniał obóz pracy. Obozowi robotnicy wykorzystywani byli do robót budowlanych i remontowych, w tym przy Operze Leśnej [7]

³⁰ Więcej o pierwszym powojennym sezonie czyt.: [7]

³¹ Zdarzenia te wiązały się z sytuacją polityczną w województwie gdańskim, w tym ze strajkami w Stoczni Gdańskiej

ster Zdrojewski uznał projekt za kluczowy w kwestii rozwoju kultury. Miasto zleciło wykonanie projektu modernizacji, dzięki wsparciu finansowym Ministra Kultury i Dziedzictwa Narodowego³² (Rys.13) Prace budowlane rozpoczęto w 2010 r. Główne zmiany wprowadzane przez projekt to: całkowita wymiana konstrukcji zadaszania (co umożliwi organizację widowisk poza sezonem, a co za tym idzie, wzrośnie liczba wydarzeń kulturalnych), przebudowa widowni (zwiększenie liczby miejsc z 4,5 tys do 6 tys; ponad 100 miejsc dla osób niepełnosprawnych), sceny oraz garderób i pomieszczeń technicznych, a także wewnętrznego układu drogowego, by skrócić czas przygotowania scenografii. Aktualnie Opera Leśna w Sopocie jest obiektem rozpoznawalnym w skali kraju i poza jego granicami. Do dziś odbywają się tu: Sopot Festiwal oraz festiwal Top Trendy i inne [13, 18, 24, 28].



Rys. 13. Od lewej: zdjęcie archiwalne -Opera Leśna w Sopocie: przedstawienia opery Wagnera Parsifal, 1928 rok; Opera Leśna w Sopocie: wiek XXI

Fig. 13. The Forest Opera in Sopot: performance opera by Wagnera Parsifal, 1928; The Forest Opera in Sopot: 21th century

Przykład Opery Leśnej w Sopocie ukazuje jak ścisły jest związek polityki ze sztuką, a także jego oddziaływanie na rozwój i funkcjonowanie obiektów teatralnych. Oprócz działalności władz Sopotu mających na celu uatrakcyjnienie wizerunku miasta, również pobudki polityczne stały się istotnym czynnikiem w rozwoju i funkcjonowaniu Opery Leśnej. Obiekt ten prawie nieustannie (nie wliczając chwilowych zawiesznień działalności) cieszył się uznaniem, rozwijał się w rytm postępu technicznego i potrzeb widzów. Został zadaszony, zadbano także o dodatkowe funkcje (np. sklepiki) Scena nie straciła popularności, jest stale uczęszczana.

8. Porównanie przedstawionych obiektów sopocko -wrzeszczańskich; odniesienie do pozostałych przedstawionych obiektów

Oba tytułowe obiekty odegrały istotną rolę w krzewieniu tzw. volkkulture w XX wiecznej Polsce. Opera Leśna w Sopocie miała stać się atrakcyjnym elementem w ofercie kulturalnej miasta, tym samym przyczynić się do jego rozwoju

³² Tytuł projektu: "Remont i przebudowa Opery Leśnej w Sopocie Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego „Infrastruktura i Środowisko”

i wzmocnić jego pozycję także jako miasta kurortowego. Teatr w Gdańsku był natomiast dopełnieniem założenia parkowego, a sam Gdańsk kilka lat po otwarciu teatru został miastem garnizonowym. Oba obiekty cieszył się dużym zainteresowaniem. Zarówno Teatr Leśny we Wrzeszczu jak i Opera Leśna w Sopocie są obiektami o położeniu wyspowym; w czasie swojego powstania, były podobnie zlokalizowane względem dostępności do komunikacji zbiorowej. W pierwszych latach istnienia, obiekt we Wrzeszczu był na tyle atrakcyjny, że dla widzów zorganizowano specjalny pociąg.

Tabela 1. Przybliżony czas i długość trasy ze stacji kolejowej do wybranego teatru leśnego; opracowanie autora na podstawie, <http://mapa.trojmiasto.pl/>, <https://www.google.pl/maps>

Table 1. Approximate time and length of the route from the train station to the selected forest theater; based on <http://mapa.trojmiasto.pl/>, <https://www.google.pl/maps>

OBIEKT	Odległość od PKP/ SKM/ PKM	Sposób połączenia stacji PKP/ SKM/ PKM z teatrem	Odległość od najbliższego przystanku autobusowego	Średni czas podróży ze stacji PKM do teatru
TEATR LEŚNY WE WRZESZCZU	~1700m	tramwaj /autobus	~270m	13 min
OPERA LEŚNA W SOPOCIE	~1600m	autobus	~900m	25 min

Tabela 1. przedstawia przybliżony czas i odległość obiektów w Sopocie oraz Wrzeszczu od środków transportu publicznego. Od lat 80. łatwiej dostać się do Wrzeszcza. Linia autobusów PKS, umożliwiła bezpośredni dojazd np. z Kaszub. Od tego czasu Wrzeszcz jest znacznie lepiej skomunikowany niż Sopot. W 2015 r. wprowadzono linię PKM łączącą Gdańsk - Wrzeszcz z Kartuzami oraz Kościerzyną, co daje możliwość bezpośredniego dojazdu również widzom z okolicznych miejscowości. Droga prowadząca do obu teatrów jest podobna. Wiedzie przez miasto i główne węzły komunikacyjne, strefę handlu, wkracza w okolicę zabudowy mieszkaniowej. Pojawienie się terenów leśnych sygnalizuje zbliżenie się do celu. Okolica jest raczej bezpieczna, na trasie możliwa jest obserwacja tamtejszej, charakterystycznej architektury. Dojazd do teatru we Wrzeszczu jest zdecydowanie łatwiejszy aniżeli do Sopotu, co zostało przedstawione w tabeli 1.

Do czasu wybuchu I wojny światowej, z jednej strony Teatr Leśny we Wrzeszczu konkurował z Operą Leśną w Sopocie, z drugiej zaś sceny stanowiły wzajemne uzupełnienie, bowiem Teatr Leśny we Wrzeszczu wystawiał na początku lipca, natomiast scena leśna w Sopocie u końca jego końca. Wybuch I wojny zmienił wszystkie plany [2]. Po wojnie utrzymała się jedynie sopocka scena, aczkolwiek jej działalność wznowiono na nowych zasadach. Z kolei Teatr Leśny we Wrzeszczu nie wrócił do początkowej świetności. W przeciwieństwie do Teatru Leśnego we Wrzeszczu, Opera Leśna w Sopocie była remontowana, modernizowana, rozwijała się zgodnie z zapotrzebowaniem widzów i myślą techniczną. Obiekt we Wrzeszczu został reaktywowany z inicjatywy mieszkańców, sopocka opera została dofinansowana w ramach projektu unijnego. Teatr we

Wrzeszczu rozmiarem dorównuje operze w Sopocie, to jednak sopocka opera wiedzy prym pod kątem technicznym. Teatr we Wrzeszczu popularny jest jedynie wśród lokalnej społeczności, natomiast opera w Sopocie jest rozpoznawalna również poza granicami kraju.

W wieku XX nastąpił istotny dla opracowania zwrot architektury teatralnej w stronę jej antycznych korzeni. Teatr poszukiwał przestrzeni dostępnej dla szerokiego grona, nie będącej hermetycznym tworem, izolującym widzów i świat zewnętrzny. Pierwsze teatry plenerowe stały się alternatywą dla barokowego teatru włoskiego. Teatry ze sceną pod gołym niebem szybko znalazły uznanie w całej Europie. Obiekty tego typu stały się przedmiotem niniejszych badań.

Każdy z omówionych teatrów powstał w leśnym, naturalnym otoczeniu. Podłożem dla tych obiektów stały się greckie idee, takie jak: odczucie wolności, symbioza z naturą, wiarą i kosmosem. Aby wzmocnić poczucie bliskości przyrody, lokalizowano je w leśnych obszarach. Analizowane teatry, w momencie swojego powstania znajdowały się na terenach będących pod wpływem kultury niemieckiej. Zyskały określenie Thingplatz, umożliwiały zebranie się tłumu i wkrótce stały się miejscem wystąpień propagandowych.

Wszystkie teatry plenerowe opierały się na otwartości i dostępności, idea ta stała się szczególnie ważna w Le Théâtre du Peuple w Bussang, który mógł stanowić inspirację dla później powstających scen. Le Théâtre du Peuple w Bussang, Opera leśna w Sopocie i Waldbühne w Berlinie służyły uatrakcyjnieniu oferty miast, znajdowały się w sąsiedztwie stadionu, hipodromu czy też kurortu (lub same były miejscowościami kurortowymi), wszystko to zapewniało dodatkową widownię w postaci kuracjuszy i turystów. Dwa z omawianych przypadków: Teatr Leśny we Wrzeszczu oraz Freilichtbühne w Mülheim, powstały jako część założeń parkowych. Jak ukazuje tabela, istnieje zależność pomiędzy pełnieniem dodatkowych funkcji przez miasta a popularnością obiektów.

Pod względem komunikacji teatr w Bussang wypada najgorzej na tle pozostałych omawianych obiektów, najbliższy przystanek komunikacji zbiorowej (tu kolej) oddalony jest o ~14 km. W przypadku Opery Leśnej w Sopocie odległość wynosi ~900 m, z kolei odległość Teatru w Waldbühne i Mülheim od najbliższego przystanku plasuje się w okolicach 700-500 m. Najkorzystniej zlokalizowany pod względem komunikacji publicznej jest Teatr Leśny we Wrzeszczu, położony jest ~300m od przystanku, dodatkowo wyprowadzenie nowej linii PKM w XXI w., szczególnie wyróżniło tę lokalizację. Jak ukazano, odległość od przystanku komunikacji publicznej z miejscem w którym odbywa się widowisko plenerowe nie stanowiło znaczącego utrudnienia, jeśli była konieczność po prostu organizowano pociąg (np. dla widzów z Elbląga). Teatr leśny we Wrzeszczu mimo bardzo łatwego dostępu do transportu zbiorowego, nie cieszy się taką polarnością jak gorzej skomunikowana, pobliska opera w Sopocie czy też zupełnie oddalony od przystanków Teatr w Bussag.

Tabela 2. Konfrontacja obiektów pomorskich z pozostałymi omówionymi w tekście

Table 2. Confrontation of Pomeranian objects with others discussed in the text

OBIEKT	Teatr Leśny we Wrzeszczu	Opera Leśna w Sopocie	Le Théâtre du Peuple w Bussang	Freilichtbühne w Mülheim	Waldbühne w Berlinie
Rok otwarcia	1911	1909	1895	1936	1936
Położenie	wyspowa w obszarze leśnym	wyspowa w obszarze leśnym	wyspowa w obszarze leśnym	wyspowa w obszarze leśnym	wyspowa w obszarze leśnym
Sytuacja polityczna	teren pod wpływem kultury niemieckiej	teren pod wpływem kultury niemieckiej	teren pod wpływem kultury niemieckiej	teren pod wpływem kultury niemieckiej	teren pod wpływem kultury niemieckiej
Przeznaczenie, cel powstania	jako część parku Gutenberga - ku uczczeniu pamięci wynalazcy	wzbogacenie oferty miasta wraz z hipodromem - inicjatywa burmistrza Sopotu	pierwszy teatr dla ludu; udostępnienie i rozpowszechnienie sztuki wśród całej ludności	jako część parku Dimmbels - wzbogacenie oferty miasta	wzbogacenie oferty miasta wraz ze stadionem - inicjatywa ministra propagandy
Sąsiadujące funkcje/oferta miasta	-	kurort, Hipodrom	kurort, hotele dla turystów	-	stadion olimpijski
Odległość od najbliższych przystanków transportu publicznego	300 m	900 m	14 km	700-500 m	700-500 m
Czas wdrożenia nowości technicznych	w ostatnich 50ciu latach	Nieustannie, w rytm rozwoju postępu techniki i zapotrzebowania widzów	Nieustannie, w rytm rozwoju postępu techniki i zapotrzebowania widzów	W ostatnich 50ciu latach	Nieustannie, w rytm rozwoju postępu techniki i zapotrzebowania widzów
Wielkość widowni	2.000	4.000 → 6.000	~1.000	2.300 → 3.000	~22.290
Pełnione funkcje	w czasie wojny pełnił funkcję szpitalu polowego/magazynu; po czasie wojny obiekt zapomniany, reaktywowany w latach 90. XX w.	w czasie wojny pełnił funkcję szpitalu polowego/ magazynu; Funkcjonuje cały czas z przerwami; nigdy nie zamknięto na dłużej	funkcjonuje cały czas z przerwami; nigdy nie zamknięto na dłużej	w czasie wojny pełnił funkcję szpitalu polowego; Po czasie wojny obiekt zapomniany, reaktywowany w 2006 r.	funkcjonuje cały czas z przerwami; nigdy nie zamknięto na dłużej
Czas modernizacji	od 2000 r.	sukcesywnie z zapotrzebowaniem; wpływy z kasy miejskiej, rządowej	sukcesywnie odnawiany w razie potrzeb (np. po bombardowaniach)	od 2000 r.	sukcesywnie z zapotrzebowaniem
Popularność w XXI wieku	mała	wysoka, obiekt rozpoznawalny w skali międzynarodowej	wysoka, obiekt rozpoznawalny w skali międzynarodowej	mała	wysoka, obiekt rozpoznawalny w skali międzynarodowej

Można odnaleźć kolejną analogie pomiędzy Teatrem w Bussang, Operą Leśną w Sopocie i Sceną Leśną w Berlinie. Teatry były dofinansowywane lub środki ze sprzedaży biletów zostawały przeznaczone na ich rozwój lub wystawienie darmowych sztuk dla lokalnej społeczności. Zestawianie w tabeli wykazuje, że obecnie popularne są obiekty, które postępowały wraz z rozwojem myśli technicznej. Do teatru w Bussang, mimo wielokrotnych bombardowań, doprowadzono elektryczność w pierwszej dekadzie XX wieku, w latach 20. zadaszono, w 50. dobudowano funkcje pomocnicze; Teatr w Waldbühne zadaszono w latach 80. Operę Leśną w Sopocie zadaszono, podobnie jak teatr w Waldbühne, ale wcześniej, już w latach 60. Teatry w: Bussang, Berlinie i Sopocie rozwijały się stale, zgodnie z postępem technicznym, (także z uwagą na konkurencyjnie rozwijające się kina) i coraz to śmielszymi wymaganiami publiczności; wzrastał poziom gry aktorskiej, dbano o akustykę, miejsca na widowni, garderoby, dodatkowe usługi- sklepiki, toalety. Wszystkie trzy obiekty są rozpoznawalne w skali międzynarodowej. Unowocześnianie Teatru Leśnego w Mülheim an der Ruhr podobnie jak Teatr Leśny we Wrzeszczu rozpoczęło się stosunkowo niedawno, a to jak wykazano, jest ściśle związane ze skalą ich popularności w czasach obecnych. Teatr Mülheim nie był modernizowany aż do 2006 roku podobnie jak Teatr Leśny we Wrzeszczu, który również nie został doposażony. Oba obiekty nie należą do rozpoznawalnych w szerszej skali.

Wszystkie przytoczone obiekty zawiesiły czasowo swoją działalność. Zestawianie w tabeli wykazuje, że obecnie, po reaktywacji, popularne są obiekty które rozwijały się w myśl postępu techniki, były modernizowane, a miasta (lub pobliskie miejscowości) w których zostały zlokalizowane oferowały szerszy zakres usług i atrakcji. Brak rozwoju teatrów plenerowych pod kątem technicznym wiąże się ze zmniejszonym zainteresowaniem, nawet jeśli obiekty te były bardzo dobrze skomunikowane.

9. Wnioski oraz podsumowanie

Czynniki wpływające na popularność leśnych teatrów plenerowych w Europie początku XX wieku to: sytuacja polityczna, czas wdrożenia nowych technologii oraz inwestycje w rozwój teatrów, dostępność dodatkowych usług.

Sytuacja polityczna na początku XX wieku charakteryzowała się rosnącą niestabilnością „Od kryzysu gospodarczego w 1929 r. coraz więcej publicznych teatrów musiało zostać zamknięte, a większość prywatnych teatrów zbankrutowała. Po przejściu władzy przez Nazistów w 1933 r. zmiana była gwałtowna: dyktatura państwowa w sferze kultury, "likwidacja" Żydów, "koordynacja" teatrów"³³ [tłum. Autora] [9, 20], kryzysem gospodarczym „Teatr publiczny w Niemczech, uoso-

³³ „From the economic crisis of 1929 on, more and more public theatres had to close, while the majority of private theatres went bankrupt. After the Nazi took power 1933, the change was rapid: state dictatorship of culture, ‘eradication’ of Jews, ‘co-ordination’ of theatres.” s. 232, *H. Van Maanen, S.E Wilmer Theatre Worlds in Motion, Structures, Politics and Developments in the Countries of Western Europe*. Amsterdam -Atlanta, GA,1998

bień niemieckiego systemu teatralnego (...) Ten teatr doświadcza wznoszeń i upadków swojego społeczeństwa w sferze ekonomicznej: innymi słowy, ukazuje czasy dobrobytu a także potrzeby oszczędzania na czas recesji(...)”³⁴ [tłum. autora] a zatem i napiętymi stosunkami społecznymi [9, 20]. Ludzie potrzebowali nowych miejsc aby spotykać się, celebrować wspólnotę, wyrażać swoje przekonania polityczne i nastroje. „Skrzyżowanie sfery politycznych, ekonomicznych i estetycznych w teatrze, a także dwuznaczność tych relacji, uczyniło teatr sceną na której obserwuje się złożoność i sprzeczność relacji między dyskursami i praktykami podtrzymującymi hegemonię kulturową”³⁵ [tłum. autora]. W tym czasie teatry w: Mülheim, Waldbühne, Bussang, Sopocie oraz Wrzeszczu cieszące się dużą frekwencją, stały się także sceną dla wystąpień propagandowych.

Wszystkie teatry analizowane w artykule nawiązują do starożytnych tradycji i antycznych wzorców. Omawiane teatry są „zielonymi wyspami”. Ukazuje się, że lokalizacja i dostępność komunikacyjna w wypadku leśnych teatrów plenerowych nie jest wyznacznikiem ich popularności. Natomiast, jednym z czynników wyróżniającym teatry pod gołym niebem jest natomiast oferta dodatkowych atrakcji proponowana przez miejscowości, w których sceny leśne zostały zlokalizowane np. uzdrowisko czy obiekty sportowe.

Po I wojnie ludzie „zachłysłeni” się techniką, co przekształciło się w kierunek rozwojowy około 1920 r. Zwrot w ewolucji ww. teatrów, nastąpił po ich reaktywacji. Czas wdrożenia nowości technicznych i udogodnień dla widzów/aktorów do omawianych obiektów jest różny. Jak wykazano, czynnik ten wywiera duży wpływ na popularność i rozpoznawalność leśnych teatrów plenerowych. Warto przytoczyć słowa Jacka Szerszenia: „Architektura jest nieodzownym warunkiem istnienia teatru. Powinna ona być środkiem technicznym, którego główny element stanowiłby teatr jako medium. (...) Jest ona w pewnym sensie przestrzenno-technicznym zbytkiem dla wytworzenia różnorodnych możliwości inscenizacyjnych teatru i spełniania jego technologicznych potrzeb.”³⁶ Teatry w: Bussang, Berlinie i Sopocie rozwijały się stale, zgodnie z postępem technicznym, unowocześnianie teatrów we Wrzeszczu i Mülheim zaczęło się stosunkowo niedawno, a to jak wykazano, wiąże się z ich mniejszą popularnością. Obecnie, w zasadzie nieustannie, Teatr Le Théâtre du Peuple w Bussang, Teatr Waldbühne w Berlinie oraz Opera Leśna

³⁴ „The public theatre in Germany, the epitome of the German theatre system (...) This theatre experiences the economic ups and downs of its society: in the other words, it shows a growth in prosperous times and has to make savings in times of recession (or as at present, due to the declining availability of public funds due to unification).” s. 250, H. Van Maanen, *S.E. Wilmer Theatre Worlds in Motion, Structures, Politics and Developments in the Countries of Western Europe*. Amsterdam -Atlanta, GA, 1998

³⁵ „The intersection of political, economic, and aesthetic spheres in the institution of theatre as well as the ambiguity of those relationships makes theatre an exemplary site for investigating the complex and contradictory relationships among the discourses and practices sustaining cultural hegemony.” L. Kruger *The national stage: Theatre and cultural legitimation in England, France, and America* The University of Chicago Press, USA 1992

³⁶ Szerszeń J. *Śródmieście jako obszar kultury*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa - Łódź 1987

w Sopocie cieszą się popularnością w skali międzynarodowej, natomiast Teatr w Mülheim an der Ruhr i Teatr Leśny we Wrzeszczu nie są aż tak rozpoznawalne.

Wyżej omówione leśne teatry plenerowe, zlokalizowane na terenie dawnego cesarstwa niemieckiego i będące także pod wpływem niemieckiej kultury, to miejsca z pozoru frywolne, nastawione na kontakt z naturą. Jednakże, na ich przykładzie uwidacznia się rola polityki, ekonomii, technologii oraz lokalizacji i dodatkowych funkcji pełnionych przez miasta, w ich rozwoju, sukcesie i popularności w czasach obecnych.

Literatura

- [1] Anselm H.: *Theatre in Europe Under German Occupation*, Routledge, 2017.
- [2] Błażewski M.: Śpiewacy sopockiej Waldoper w nagraniach płytowych, s. 106-112, nr XIX, *Rocznik Sopocki*, 2006.
- [3] Bożyk E.: *Historia Architektury Budynku Teatralnego i techniki sceny w teatrze europejskim*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Kraków 1956.
- [4] Braun K.: *Przestrzeń teatralna*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1982.
- [5] Byrski M. K.: Teatr najantyczniejszy, Tom 18, s. 11-47, nr 1-2 (69-70) „Pamiętnik Teatralny: czasopismo kwartalne poświęcone historii i krytyce teatru, Instytut Sztuki Polskiej Akademii Nauk, 1969.
- [6] Jacobeit W.: Concerning the Traditiona Understanding of "Folk Culture" in the German Democratic Republic. A Scholarly - Historical Retrospective. no. 1 (1991): 67-94, *Asian Folklore Studies* 50, 1999.
- [7] Kot T.: *Kurier Sopocki*, Copyright Kuryer Sopocki, 2013.
http://www.dawnysopot.pl/Kuryer_Sopocki_Sopot_1939_1945.pdf [dostęp: 03.03.2017].
- [8] Kozień – Woźniak M.: *Teatry interferencji. Współczesna architektura teatralna a nieformalna przestrzeń teatru*, Wydawnictwo PK Kraków 2015.
- [9] Kruger L.: *The national stage: Theatre and cultural legitimation in England, France, and America*, The University of Chicago Press, USA 1992.
- [10] Leveratto J.-M. LE THÉÂTRE DU PEUPLE DE BUSSANG Histoire et sociologie d'une innovation, s. 5-19 Vingtième Siècle. Revue d'histoire, Presses de Sciences Po (P.F.N.S.P.) 2004/3 no 83.
- [11] Levin H.: Anti-Semitism in German 'Volk' Culture: Propaganda through the Pen and Screen, *Earlham Historical Journal*, Fall 2014 Edition.
- [12] London J.: *Theatre Under the Nazise*, Manchester University Press 2000.
- [13] Mamuszka F.: *Bedeker Sopocki*. Wydawnictwo Morskie Gdańsk, Gdańsk 1981.
- [14] Rolland R.: *Le théâtre du peuple préface de Chantal Meyer-Plantureux*, Bruksela, 2003.
- [15] Sas-Bojarska A.: Park w metropolii – perspektywy i paradoksy. s. 175-192 *Biuletyn KPZK, PAN, Komitet Przestrzennego Zagospodarowania Kraju*, No 259/2015.
- [16] Sobiecka A.: Ujarzmienie pejzażu, czyli o możliwościach teatru plenerowego. Tom 9, s. 251-261 *Świat Tekstów. Rocznik Słupski*, Wydawnictwo Naukowe Akademii Pomorskiej w Słupsku, 2011.
- [17] Szerszeń J.: *Śródmieście jako obszar kultury*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa - Łódź 1987.
- [18] Tarkowska A.: *Sopot między wojnami. Opowieść o życiu miasta 1918-1939*, Księżny Młyn Dom Wydawniczy, Łódź 2011.

- [19] Werner E.: Theatergebäude. 1. Geschichtliche Entwicklung, Tom 1, VEB Verlag Technik Berlin, 1954.
- [20] Van Maanen H., Wilmer S.E.: Theatre Worlds in Motion, Structures, Politics and Developments in the Countries of Western Europe. Amsterdam -Atlanta, GA, 1998.
- [21] http://freilichtbuehne-mh.de/?page_id=37 [dostęp: 03.03.2017].
- [22] <http://www.gedanopedia.pl/> [dostęp: 03.03.2017].
- [23] <https://www.muelheim-ruhr.de> [dostęp: 03.03.2017].
- [24] http://www.muratorplus.pl/inwestycje/inwestycje-publiczne/opera-lesna-w-sopocie-jest-juz-po-remoncie_78207.html [dostęp: 03.03.2017].
- [25] <http://www.teatrlsny.pl/> [dostęp: 03.03.2017].
- [26] <http://www.theatredupeople.com> [dostęp: 03.03.2017].
- [27] <http://operalesna.sopot.pl/historia-opery-lesnej-w-sopocie> [dostęp: 03.03.2017].
- [28] <http://sopot.naszemiasto.pl/artykul/otwarcie-opery-lesnej-po-remoncie-zobacz-juz-teraz,1489825,artgal,t,id,tm.html> [dostęp: 03.03.2017].
- [29] <http://www.unesco.org/new/en/communication-and-information/flagship-project-activities/memory-of-the-world/register/full-list-of-registered-heritage/registered-heritage-page-7/rigveda/> [dostęp: 03.03.2017].
- [30] <http://www.waldbuehne-berlin.de/location.html> [dostęp: 03.03.2017].
- [31] <https://www.verkehr.nrw/> [dostęp: 03.03.2017].
- [32] <https://www.google.pl/maps>.
- [33] <http://www.massif-des-vosges.com/carte-interactive.htm>.
- [34] www.jakdojade.pl.

THE FACTORS INFLUENCING THE POPULARITY OF OPEN AIR, FOREST BASED THEATRES IN 20TH CENTURY EUROPE

Summary

This article attempts to answer which factors influenced the popularity and success of open air, located in forest areas theaters, in the former lands of the German Empire. The main subjects of study are two theaters: The Forest Theatre in Gdansk Wrzeszcz and The Forest Opera in Sopot, which are juxtaposed with the open air theatre Freilichtbühne in Mülheim, the forest stage Waldbühne in Berlin and the folk theater The People's Theater in Bussang. The essay presents the political situation when the above mentioned outdoor theaters were build and its impact on their development. The relationship between the time of implementation of new technologies to the discussed theaters and their popularity is also shown. The article examines the influence of the accessibility of public transport to selected theaters and additional functions performed by the cities / villages in which these venues were located. By the use of the comparative method and logical argumentation it became possible to identify the factors responsible for the continued existence and current condition of open -air, forest theaters in modern times.

Keywords: open-air theaters, The Forest Opera Sopot, The Forest Theatre Gdansk Wrzeszcz, The People's Theater in Bussang, amphitheater Waldbühne Berlin

Przesłano do redakcji: 30.03.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Agnieszka GENEROWICZ¹
 Ryszarda IWANEJKO²

MOŻLIWOŚCI PROWADZENIA SELEKTYWNEJ ZBIÓRKI ODPADÓW KOMUNALNYCH PRZY CZĘŚCIOWO NIEPEWNEJ SYTUACJI RYNKOWEJ – PODSTAWY TECHNICZNE I MOŻLIWOŚCI ROZWIĄZAŃ SEGREGACJI

System segregacji odpadów „u źródła” jest początkowym elementem kompleksowego rozwiązania gospodarki odpadami w regionie. Pomimo prostoty rozwiązań technicznych i technologicznych systemu segregacji jego efektywność ekonomiczna i ekologiczna jest zależna od wielu aspektów i parametrów wewnętrznych (poziom i możliwości recyklingu i przetworzenia), jak i uwarunkowań zewnętrznych (warunki rynkowe, współpraca z recyklerami, popyt na produkty z odpadów).

Proces decyzyjny we wszystkich dziedzinach wiąże się z ryzykiem podjęcia nieoptymalnych decyzji, a w przypadku gospodarowania odpadami ich skutkiem mogą być: straty finansowe, nieosiągnięcie wymaganych poziomów odzysku lub recyklingu, szkody środowiskowe, brak akceptacji społecznej.

Celem artykułu jest przedstawienie metodyki podejmowania decyzji i wyboru wariantu segregacji w gospodarstwach domowych, przy częściowo niepewnej sytuacji rynkowej, a co za tym idzie przy istnieniu niepewności co do możliwości przekazania odzyskanych frakcji surowców wtórnych do przetwarzania i recyklingu odzyskanych frakcji.

Ze względu na obszerność tematu, artykuł podzielono na dwie integralne części. Część I artykułu stanowi opis uwarunkowań prawnych i możliwości technicznych rozwiązania selektywnej zbiórki odpadów, jako jednego z elementów kompleksowego systemu gospodarki odpadami. Analiza ta będzie stanowić bazę do podjęcia decyzji w zakresie wprowadzenia rozwiązań technicznych segregacji „u źródła”. Część II artykułu wskazuje kolejne kroki, oparte na odpowiednich metodach matematycznych, które są konieczne do rozwiązania problemu wyznaczenia najkorzystniejszego rozwiązania segregacji odpadów i pozyskiwania z nich frakcji użytkowych [20].

Słowa kluczowe: odzysk odpadów, segregacja „u źródła”, surowce wtórne, analiza decyzyjna, niepewna sytuacja rynkowa

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Agnieszka Generowicz, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków; tel. 126282183; agenerowicz@pk.edu.pl

² Ryszarda Iwanejko, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska ul. Warszawska 24, 31 - 155 Kraków; riw@vistula.wis.pk.edu.pl

1. Wprowadzenie

Według ustawy o odpadach (Dz. U. 2013 poz. 21) [16, 17] odzysk to jakikolwiek proces, którego głównym wynikiem jest to, aby odpady służyły użytecznemu zastosowaniu przez zastąpienie innych materiałów, które w przeciwnym przypadku zostałyby użyte do spełnienia danej funkcji, lub w wyniku, którego odpady są przygotowywane do spełnienia takiej funkcji w danym zakładzie lub ogólnie w gospodarce. Do form odzysku zaliczamy również odzysk energii z termicznego przekształcania odpadów. Jedną z form odzysku jest również recykling, definiowany jako odzysk, w ramach którego odpady są ponownie przetwarzane na produkty, materiały lub substancje wykorzystywane w celach pierwotnym lub innych. Obejmuje to ponowne przetwarzanie materiału organicznego (recykling organiczny), ale nie obejmuje odzysku energii i ponownego przetwarzania na materiały, które mają być wykorzystane jako paliwa lub do celów wypełniania wyrobisk. Zagadnienia dotyczące wykorzystania odpadów zostały uzupełnione w przepisach prawa pojęciami „ponownego użycia” i „przygotowaniu do ponownego użycia”. Odzysk odpadów musi być rozumiany wyłącznie w sensie recyklingu, przetworzenia i wykorzystania odpadów. Jeżeli tak się nie stanie to gospodarowanie odpadami będzie systemem deficytowym ekonomicznie i szkodliwym dla środowiska. Dla prawidłowego funkcjonowania takiego systemu, konieczne jest, więc zorganizowanie:

- segregacji i odbioru wysegregowanych frakcji do przetworzenia i wykorzystania,
- selektywnej zbiórki odpadów problemowych, w tym m. in. niebezpiecznych, elektrycznych, elektronicznych, wielkogabarytowych, budowlanych itp.,
- gromadzenia i wywozu odpadów zmieszanych.

2. Formy odzysku odpadów segregowanych „u źródła” i możliwości ich przetwarzania

W strukturze systemu gospodarki odpadami wyróżnić można następujące elementy [2, 3, 5, 11]:

- zbiórkę odpadów selektywnie gromadzonych i zmieszanych,
- odbiór i transport wszystkich frakcji,
- recykling surowców,
- inne formy odzysku w tym również odzysk energii,
- ostateczne unieszkodliwienie.

Odpady powinny być zbierane w sposób selektywny. Wg dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady Europy 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylającej niektóre dyrektywy, „selektywna zbiórka oznacza zbiórkę, w ramach której dany strumień odpadów obejmuje jedynie odpady jednego rodzaju i o tym samym charakterze w celu ułatwienia specyficznego przetwarzania”. U nas w kraju w tym zakresie obowiązuje rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 29. 12. 2016 r. w sprawie szczegółowego sposobu

selektywnego zbierania wybranych frakcji odpadów (Dz. U. 2017 poz. 19). Rozporządzenie określa: szczegółowy sposób selektywnego zbierania wybranych frakcji odpadów, określa również kiedy wymóg selektywnego zbierania uważa się za spełniony oraz rodzaje odpadów komunalnych podlegające obowiązkowi selektywnego zbierania. Wg rozporządzenia selektywnie zbiera się: papier, szkło, metale, tworzywa sztuczne, odpady ulegające biodegradacji, ze szczególnym uwzględnieniem bioodpadów.

W rozporządzeniu wymóg selektywnego zbierania odpadów uważa się za spełniony, jeżeli:

- 1) na terenie gminy frakcje odpadów są selektywnie zbierane w sposób, o którym mowa w zapisach rozporządzenia, w miejscu ich wytworzenia i na terenach przeznaczonych do użytku publicznego;
- 2) pojemniki oraz worki, zapewniają zabezpieczenie odpadów przed pogorszeniem jakości zbieranej frakcji odpadów dla przyszłych procesów ich przetwarzania (np. są zadaszone, zabezpieczone przed działaniem niepowołanych osób).

Odzysk odpadów, w tym recykling oraz recykling organiczny to kolejny etap mający za zadanie skierowanie do wykorzystania jak największego strumienia odzyskanych frakcji użytkowych.

Ostatni etap to ostateczne unieszkodliwianie odpadów, czyli poddanie odpadów procesom przekształceń biologicznych, fizycznych lub chemicznych (określonym w zał. Nr 6 do ustawy o odpadach), w celu doprowadzenia ich do stanu, który nie stwarza zagrożenia dla życia i zdrowia ludzi lub środowiska [6, 7].

Zbiórka odpadów obejmuje następujące sposoby organizacji segregacji surowców wtórnych:

- kolorowe kontenery, z których każdy przeznaczony jest na inny rodzaj surowca,
- zbiórka selektywna „u źródła”, która może być realizowana np. jako system dwupojemnikowy: tzw. odpady suche i mokre; system trójpojemnikowy: surowce wtórne, bioodpady, pozostałe odpady zmieszane lub system wielopojemnikowy; każda frakcja zbierana jest w rozdzielaniu na frakcje
- zbiorcze punkty selektywnego gromadzenia, wyposażone w szereg kontenerów, pojemników oraz przygotowanych miejsc do gromadzenia odpadów selektywnie zebranych, (w tym również odpadów niebezpiecznych i problemowych), gdzie obsługa zapewnia kontrolę i bezpieczeństwo dla mieszkańców i środowiska naturalnego.

Uzupełnieniem wyszczególnionych metod segregacji mogą być alternatywne metody gromadzenia odpadów, wymagające rozwiązań na poziomie przepisów prawa lub ogólnokrajowych rozwiązań systemowych, które spowodują, że wysegregowane frakcje stanowią cenny surowiec, a nie odpad. Należą do nich np.:

- system skupu, organizowany jako punkt lub sieć punktów ze zorganizowanym systemem transportu własnym lub recyklera,
- system kaucji zwrotnej, możliwy do zorganizowania w przypadku normalizacji opakowań, dodatkowo musi być zapewnione doczyszczanie gwarantujące pełną sterylność opakowania i jego powtórne wykorzystanie; podobnie jak

w poprzednim przypadku opłacalność ekonomiczna zapewni, że odpady dostarczone przez mieszkańców trafią do recyklingu,

- społeczna zbiórka od ludności, organizowana okresowo jako zbiórka np. odzieży, makulatury w szkołach, leków, odpadów niebezpiecznych, odpadów wielkogabarytowych itp.; taka akcyjna zbiórka stanowi najczęściej uzupełnienie stałych akcji segregacji odpadów.

Efektom segregacji odpadów w gminie są nie tylko surowce, ale również inne frakcje takie jak: odpady niebezpieczne, elektryczne i elektroniczne, budowlane itp. Ich zbiórka jest dużo trudniejsza i skomplikowana, ponieważ przy ich zbiorce i gromadzeniu należy zapewnić pełne bezpieczeństwo ludzi i środowiska naturalnego. Istotne znaczenia dla zbiórki odpadów ma także przepis ustawy z dnia 29 lipca 2005 r. o zużytych sprzęcie elektrycznym i elektronicznym (Dz. U. z 2005 r., Nr 180, poz. 1495z późn. zm.) [18], zobowiązujący do selektywnego zbierania oraz do nieodpłatnego przyjmowania tego sprzętu, gdy pochodzi on z gospodarstw domowych.

Zbiórka odpadów niebezpiecznych wysegregowanych z odpadów komunalnych (np. baterii, opakowań po środkach czystości, butelek po olejach, świetlówek itp.) na terenie gminy może być realizowana przez zorganizowanie:

- odbioru w wyznaczonym punkcie zbiórki odpadów problemowych jako niezależny punkt zbiórki lub element zakładu gospodarki odpadami. W takim przypadku odpady muszą być dostarczane przez samych mieszkańców do takich punktów. Punkt musi być zamknięty, zabezpieczony, monitorowany i przynajmniej okresowo musi być zatrudniony pracownik obsługujący,
- systematycznego okresowego odbioru odpadów przez specjalistyczny pojazd (mobilny punkt zbiórki odpadów niebezpiecznych), a następnie ich magazynowanie do celów dalszego transportu na terenie gminy lub poza nią,
- zbiórki przy współpracy z właścicielami obiektów handlowych (np. apteki, sklepy oferujące sprzedaż środków ochrony roślin, artykuły fotograficzne, farby i rozpuszczalniki, stacje obsługi samochodów itp.). W takim przypadku właściwe władze samorządowe zawierają umowy z właścicielami obiektów handlowych w zakresie odbioru i przechowywania różnych rodzajów odpadów niebezpiecznych. Odpady te są odbierane przy użyciu specjalistycznego samochodu z obiektów po zgłoszeniu zawiadomienia.

Na mocy ustawy na producentach i importerach wprowadzających na rynek polski urządzenia elektryczne i elektroniczne spoczywa obowiązek zorganizowania i sfinansowania, zbierania, odbioru, przetwarzania, odzysku i recyklingu zużytego sprzętu. Ustawa ta dopuszcza przeniesienie części zobowiązań z wprowadzającego urządzenia na organizację odzysku sprzętu elektrycznego i elektronicznego, a w przypadku wprowadzających sprzęt oświetleniowy nawet zobowiązuje do przeniesienia obowiązków na organizację odzysku sprzętu elektrycznego i elektronicznego (Dz. U. 05.180.1495 z późn. zm).

Po wejściu w życie ustawy z dnia 21 listopada 2008 r. o zmianie ustawy o zużytych sprzęcie elektrycznym i elektronicznym oraz o zmianie niektórych

innych ustaw (Dz. U. z 2008 r., Nr 223, poz. 1464), możliwe są rozwiązania selektywnej zbiórki odpadów elektrycznych, elektronicznych na terenie gminy przez mieszkańców, oddających je bezpłatnie do:

- punktu skupu złomu, który posiada pozwolenie na prowadzenie działalności w zakresie zbierania zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego i jest zarejestrowany w Głównym Inspektoracie Ochrony Środowiska GIOŚ. Punkty złomu nie mogą traktować zużytych pralek, lodówek ani zmywarek jako złomu i rozbierać ich na części w nieodpowiednich warunkach. Włączenie punktów skupu złomu ma ograniczyć szarą strefę nierejestrowanego przepływu elektro-śmieci oraz gwarantować ich prawidłowe i bezpieczne przetworzenie,
- punktu serwisowego, w przypadku, gdy koszt serwisu jest wyższy niż cena zakupu nowego urządzenia lub gdy naprawa jest nieskuteczna. Serwisant może odmówić przyjęcia zużytego sprzętu, gdy klient przyniesie go z zamiarem pozbycia się, a nie naprawy oraz gdy stare urządzenie stanowi zagrożenie dla zdrowia lub życia pracowników,
- sklepu lub hurtowni, w momencie zakupu nowych urządzeń na zasadzie wymiany (1 za 1, czyli stary sprzęt za nowy). Transport trzeba zapewnić we własnym zakresie lub uzgodnić w sklepie odpłatnie.
- specjalnego punktu zbierania, który znajduje się w gminie. Transport trzeba zapewnić we własnym zakresie.

Odpady wysegregowane „u źródła” trafiają do sortowni, a następnie do procesów recyklingu. Materiał lub substancja w procesie recyklingu muszą uzyskać taką formę, aby nadawały się do wykorzystania. Sortownia może pracować segregując:

- różne frakcje użytkowe z segregacji wielopojemnikowej „u źródła” w celu ich uzdatnienia i przekazania do przetworzenia,
- odpady z segregacji dwupojemnikowej (zmieszane surowce wtórne), w celu ich rozdzielenia, uzdatnienia i przekazania do sprzedaży lub wykorzystania,
- odpady surowe, zmieszane, częściowo segregowane na frakcje użytkowe, kierowane do wykorzystania oraz pozostałość po sortowaniu, kierowana np. do spalania z odzyskiem energii lub do składowania
- odpady jednorodne ze znanego źródła kierowane do wykorzystania lub do przetworzenia i wykorzystania np. budowlane.

Uzdatnianie odpadów i przygotowanie ich do wykorzystania odbywa się w sortowniach. Ich podstawowym zadaniem jest:

- rozdzielenie frakcji użytkowych od pozostałych,
- rozdzielenie frakcji palnych od pozostałych,
- waloryzacja, czyli powtórna selekcja i czyszczenie odpadów dostarczanych z segregacji „u źródła” lub z kontenerów,
- rozdrabnianie celem wykorzystania jako paliwa,
- rozdrabnianie i prasowanie celem ułatwienia transportu,
- czasowe magazynowanie odzyskanych surowców.

Wysegregowane frakcje są umieszczane w kontenerach, poddawane prasowaniu lub belowaniu w celu optymalizacji ich transportu. Tak przygotowane są najczęściej magazynowane na terenie sortowni do czasu odbioru.

3. Matematyczne ujęcie problemu wyboru systemu segregacji odpadów komunalnych „u źródła”

Wybór najlepszej metody segregacji odpadów powinien być poprzedzony udzieleniem sobie odpowiedzi na podstawowe, wiążące się ze sobą pytania:

- jakie są możliwe warianty i możliwości techniczne rozwiązania zbiórki odpadów selektywnie gromadzonych?
- co z nimi później można będzie zrobić, czyli jakie będą warunki gospodarcze wykorzystania ich?
- co tak naprawdę chcemy osiągnąć a czego chcemy uniknąć, czyli jakie są kryteria wyboru systemu segregacji i ich przetworzenia?
- jak bardzo niepewna jest przyszłość, w zakresie możliwości odzysku i recyklingu odpadów, czyli jaka jest sytuacja decyzyjna?

Pytanie pierwsze wiąże się z możliwościami zbiórki odpadów w gospodarstwach domowych. Odzysk frakcji surowcowej, wysegregowanej z odpadów komunalnych jest możliwy po rozmieszczeniu kolorowych pojemników (lub worków) w poszczególnych gospodarstwach domowych (najczęściej jednorodzinnych). Później pozyskane surowce po procesach sortowania (przesiewanie, odzysk ręczny lub fotooptyczny, separatory mechaniczne) nadają się do sprzedania jako cenna frakcja użytkowa. Taka zbiórka może być realizowana jako:

- system dwupojemnikowy: odpady suche (wszelkie czyste surowce wtórne odbierane i zawożone do sortowni, gdzie rozdzielone będą na poszczególne frakcje) i mokre (pozostałe, frakcje, w tym organiczne, które będą poddawane stabilizacji biologicznej lub spalaniu przed ostatecznym składowaniem);
- system trójpojemnikowy: surowce wtórne (np. szkło białe i kolorowe, papier i tworzywa sztuczne, metale), bioodpady (przeznaczone do stabilizacji biologicznej w procesie fermentacji beztlenowej lub kompostowania) oraz pozostałe odpady, które po przetworzeniu również będą składowane,
- system wielopojemnikowy; każda frakcja zbierana jest oddzielnie, czyli szkło białe, kolorowe, metal, tworzywa sztuczne, papier, odpady organiczne, odpady niebezpieczne itd.

Warianty projektowe można opisać poprzez tzw. atrybuty, czyli ich cechy (np. parametry, koszty), które charakteryzują warianty w sposób niezależny od decydenta. System zbiórki wielopojemnikowej pozwala na zebranie bardzo czystej frakcji surowcowej, nadającej się bezpośrednio do recyklingu, bez późniejszych procesów doczyszczania i waloryzacji, pozwala na oddzielenie odpadów niebezpiecznych z odpadów komunalnych. System taki ma jednocześnie wady, wśród których najistotniejszą są koszty, ale również zapewnienie miejsca do tak szczegółowej segregacji. Mniejsza ilość pojemników generuje niższe koszty, ale

wysegregowane frakcje potrzebują dodatkowych procesów doczyszczania i waloryzacji. Od organizacji systemu segregacji i selektywnej zbiórki od mieszkańców zależy będzie dalsze przetwarzanie odpadów oraz możliwości ich zbycia, recyklingu i wykorzystania, gdyż bezpośrednio po segregacji odpady kierowane są do sortowni, która może funkcjonować jako sortownia frakcji czystej (pozyskanej z selektywnej zbiórki) lub frakcji zmieszanej. Dlatego równocześnie z pytaniem pierwszym należy od razu zadać sobie kolejne pytanie.

Pytanie drugie wynika z konieczności uwzględnienia możliwych warunków gospodarczych (sytuacji rynkowej), które niezależnie od decydenta i mieszkańców mogą zaistnieć w przyszłości. W najprostszym przypadku można wyróżnić trzy rozłączne i uzupełniające się sytuacje:

- „słabe warunki rynkowe”, gdy wystąpi małe zapotrzebowanie na surowce wtórne, czyli nie ma możliwości pozbycia się odzyskanych „u źródła” frakcji lub te możliwości są niewielkie z uwagi na brak popytu i niskie ceny; wówczas zbiórka selektywna jest nieopłacalna ekonomicznie tak bardzo, że surowce trafiać będą na składowisko odpadów,
- „średnie warunki rynkowe”, gdy wystąpi średnie zapotrzebowanie na surowce wtórne, wówczas tylko część odzyskanych frakcji będzie kierowana do recyklingu i działalność ta będzie ekonomicznie słabo lub średnio opłacalna,
- „dobre warunki rynkowe”, gdy wystąpi duże zapotrzebowanie na surowce i wszelkie odzyskane frakcje; będą one sprzedawane i poddawane procesom recyklingu i będzie to proces opłacalny ekonomicznie.

Pytanie trzecie wiąże się z wyborem kryteriów, które powinien spełniać wybrany wariant projektowy. Kryteria powinny być niesprzeczne, powinny zapewnić wyczerpywalność, spójność i niepowtarzalność oceny. W zastosowaniach inżynierskich zazwyczaj uwzględnia się kryteria ekonomiczne (z podziałem na jednorazowe koszty inwestycyjne i ponoszone stale koszty eksploatacyjne), techniczne /technologiczne, ekologiczne, społecznościowe. W praktyce niektóre kryteria mogą być tzw. ilościowe a inne jakościowe. Kryteria ilościowe (mieralne) to takie, które odnoszą się do cech policzalnych. Atrybuty, które podlegają ocenie przez takie kryteria są zazwyczaj są wyrażane w miarach bezwzględnych (np. wielkości nakładów, zysków lub strat wyrażone w odpowiednich jednostkach monetarnych) lub względnych (np. udział obrotów przedsiębiorstwa na danym rynku wyrażony w skali procentowej). Kryteria jakościowe (niemieralne) to takie, które odnoszą się do cech niepoliczalnych (np. stopień funkcjonalności, nowoczesności, komfortu, efektywność ekologiczna, czy estetyka). Odpowiednie atrybuty są wówczas wyrażane w umownych punktowych skalach względnych, przez co w pewnym stopniu mogą być ocenami subiektywnymi. W ogólnym przypadku przykładowymi kryteriami w problemie zbiórki odpadów mogłyby być maksymalny zysk ze sprzedaży pozyskanych frakcji, maksymalny recykling surowców, minimalne koszty czy zaoszczędzona pojemność składowiska odpadów.

Pytanie czwarte jest związane z możliwością trafnego przewidzenia przyszłości. Niepewność przyszłości prawie zawsze niesie ryzyko podjęcia błędnych decyzji, których skutkiem może być nieosiągnięcie w oczekiwanym stopniu zamierzonego celu, wygenerowanie strat zamiast zysków czy nawet utrata bezpieczeństwa ekologicznego. Wspominane ryzyko zależy od tzw. sytuacji decyzyjnej lub warunków podejmowania decyzji. W zależności od zakresu i wiarygodności posiadanych informacji i prognoz, mogą to być [1, 4, 8, 12, 13, 14, 19]:

- warunki pewne lub zdominowane,
- warunki losowe lub warunki ryzyka,
- warunki niepewności (całkowitej),
- warunki pośrednie między warunkami losowymi a niepewnymi, nazywane tutaj warunkami częściowej niepewności.

Dla warunków pewnych decydent posiada pełną informację o przyszłości tj. o okolicznościach, które w przyszłości miałyby wpływ na rezultat podjętej decyzji. Wówczas efekt podjęcia każdej decyzji może zostać ściśle oszacowany lub przewidziany jeszcze przed jej podjęciem i jeżeli analizy takie zostaną przeprowadzane prawidłowo, to brak jest ryzyka podjęcia złej decyzji. W takiej sytuacji stosuje się klasyczne metody optymalizacji jedno- lub wielokryterialnej, ciągłej lub dyskretnej. Sytuacja jest najprostsza, gdy problem wyboru opiera się tylko na jednym kryterium (np. minimum kosztów albo maksymalny stopień odzysku). Wówczas stosuje się metody optymalizacji jednokryterialnej (np. rachunku różniczkowego, jeśli funkcję celu można przedstawić w postaci analitycznej, metodę SYMPLEKS, gdy zarówno funkcja celu jak i ograniczenia są liniowe czy metodę przeglądu wariantów w innych przypadkach). Trudności pojawiają się w sytuacji, gdy należy uwzględnić kilka kryteriów wyboru równocześnie, a pewne wartości powinny być maksymalizowane (np. zyski) a inne minimalizowane (np. koszty). W rzeczywistości kryteria, które należałoby uwzględnić, najczęściej są przeciwstawne, co oznacza, że nie istnieje jedno rozwiązanie, które byłoby najlepsze ze względu na wszystkie kryteria oceny jednocześnie. W sytuacji, gdy poszukuje się najlepszego, spełniającego szereg kryteriów, wariantu projektowego można określić zbiór rozwiązań kompromisowych, można jedno z kryteriów ustalić jako kryterium główne a inne jako kryteria drugorzędne, można określić tzw. ustępstwa albo też określić wagi dla poszczególnych kryteriów i utworzyć tzw. mega-kryterium. Najczęściej jednak decydent jest zainteresowany pełnym uporządkowaniem rozwiązań polioptymalnych i wskazaniu jednego „najlepszego” rozwiązania, które uwzględniałoby jego subiektywne preferencje. Obecnie uważa się, że najlepsza w takich sytuacjach jest opracowana przez Saaty’ego metoda wielokryterialnego wyboru AHP (Analytical Hierarchy Process). Rezultatem zastosowania metody AHP, oprócz wskazania najlepszego rozwiązania jest ranking wszystkich wariantów. Metoda ta zostanie szczegółowiej przedstawiona w dalszej części artykułu.

Dla warunków losowych możliwe jest określenie prawdopodobieństw zaistnienia w przyszłości tzw. stanów natury (czyli okoliczności niezależnych od

decydenta mających wpływ na rezultat działań decydenta), co oznacza, że z wyprzedzeniem można określić prawdopodobieństwa wystąpienia różnych skutków podjęcia każdej z decyzji. Stosuje się metody macierzy i drzew decyzyjnych, a jako kryterium wyboru przyjmuje się np. maksimum wartości oczekiwanej zysku lub minimum kosztów przy wielokrotnym dokonywaniu wyboru albo maksimum funkcji użyteczności przy wyborze jednokrotnym. Przy czym użyteczność jest umowną miarą stopnia osiągnięcia celu i zależy od preferencji decydenta i od sytuacji.

Dla warunków całkowicie niepewnych nie są znane prawdopodobieństwa zaistnienia możliwych stanów natury, a więc nie można wyznaczyć prawdopodobieństw a czasem nawet zakresów możliwych skutków. W takiej sytuacji stosuje się metody analogiczne jak dla sytuacji losowej, jednakże kryterium wyboru zależy od osobistych preferencji decydenta, czyli od jego stosunku do ryzyka (np. skłonność czy awersja do ryzyka).

Dla pośrednich warunków częściowej niepewności dostępne są jedynie niepełne informacje o możliwości wystąpienia w przyszłości określonych stanów natury. Wówczas można określić jedynie przedziały zmienności prawdopodobieństw ich zajść lub relacje między nimi. W takiej sytuacji można stosować metody tzw. nieostrego modelowania, z których matematycznie najprostszymi są metody niepełnej informacji liniowej (NIL) [9, 10, 15]. W praktyce właśnie takie przypadki najczęściej mają miejsce.

4. Rzeczywisty problem wyboru systemu segregacji odpadów komunalnych „u źródła”

Sposób segregacji odpadów komunalnych „u źródła” jako najlepszy przeanalizowano dla danej jednostki osadniczej (o ilości mieszkańców 45 tys.). Jednostka ma charakter małego miasta, które stanowi sypialnię większego, położonego blisko (20–40 km). Charakterystyki odpadów będą więc podobne jak w dużym mieście, czyli duża ilość surowców wtórnych i odpadów organicznych. Niewielka ilość zabudowy wielorodzinnej, brak większego przemysłu, ale dużo drobnych warsztatów.

Do dalszych analiz przyjęto przypadek, gdy w odebranych od mieszkańców odpadach jest frakcji surowej 50%, frakcji organicznej 25% całej masy odpadów a resztę stanowią odpady zmieszane, zanieczyszczone (np. popiołem); w tym również niebezpieczne. W przypadku segregacji dwupojemnikowej założono odzysk wyłącznie frakcji surowcowej odpadów, a następnie ich recykling. W przypadku segregacji trójpojemnikowej oprócz frakcji surowcowej założono również odzysk i recykling odpadów organicznych. W segregacji wielopojemnikowej dodatkowo można również wziąć pod uwagę odzysk i recykling odpadów budowlanych, niebezpiecznych, zielonych oraz oczywiście frakcji odpadów organicznych i wysoki poziom recyklingu odpadów surowcowych, zakładając 50% poziom recyklingu osiągnięty w roku 2020.

Dla przedstawionej gminy wskazano możliwe sposoby zbiórki odpadów, przedstawić istotne kryteria wyboru, oszacować wartości funkcji kryterialnych cech poszczególnych wariantów i dokonać wyboru najlepszego wariantu sposobu segregacji. Kolejność wymienionych poniżej wariantów i kryteriów jest przypadkowa i nie wynika z żadnych preferencji. Warianty segregacji odpadów, które mogą być realizowane w danej gminie zależą od możliwości tej gminy i poziomu edukacji ekologicznej mieszkańców. W ogólnym przypadku możliwe są dwa rozwiązania:

- dla gmin niewielkich nie mających zbyt wielu możliwości prowadzenia gospodarki odpadami na podstawie rozwiązań stosowanych w wojewódzkich planach gospodarki odpadami, można przyjąć, że gmina narzuca jedną z przedstawionych poniżej metod dla wszystkich mieszkańców; warianty te mogą być realizowane jedynie całościowo, oznaczono je jako:
 - W1- system dwupojemnikowy,
 - W2 - system trójpojemnikowy,
 - W3 - system wielopojemnikowy;
- dla takich gmin, które dysponują różnymi możliwościami prowadzenia gospodarki odpadami (np. sortownie, kompostowanie, spalarnie); dopuszcza się warianty polegające na realizacji odmiennych typów segregacji dla różnych grup mieszkańców (zabudowa jedno- i wielorodzinna) lub różnych rejonów gminy; przykładowymi alternatywnymi wariantami mogłyby być:
- V1 – gdy znacznie więcej mieszkańców (np. 50%-70%) wykorzystuje system dwupojemnikowy, mniej system trójpojemnikowy (np. 20%-30%), a najmniej system wielopojemnikowy (np.10%-20%),
- V2 – gdy system dwupojemnikowy wykorzystuje mniej mieszkańców (np. 20%-30%), najwięcej system trójpojemnikowy (np. 50%-70%), a system wielopojemnikowy (np.10%-20%),
- V3 – gdy system dwupojemnikowy wykorzystuje mało mieszkańców (np. 10%-20), więcej system trójpojemnikowy (np. 20%-30%), a najwięcej system wielopojemnikowy (np.50%-70%).

Wybór jednego z tych dwóch rozwiązań, nie wpływa na przedstawioną w dalszej części metodykę poszukiwania optymalnej decyzji wyboru sposobu segregacji odpadów „u źródła”, dlatego w dalszej części zastosowano jednolite oznaczenia W1, W2 i W3 i gdy mowa będzie np. o segregacji dwupojemnikowej należy przez nią rozumieć, w zależności od przyjętego rozwiązania, albo wyłączną segregację dwupojemnikową albo segregację mieszaną z przewagą segregacji dwupojemnikowej.

Przyjęto, że na wybór optymalnego rozwiązania mają wpływ trzy kryteria: dwa przeciwstawne wysuwane przez odbiorcę odpadów (gminę lub przedsiębiorstwo gospodarki odpadami) i jedno istotne dla mieszkańców gminy. Są to kryteria uwzględniające:

- K1 – koszty funkcjonowania systemu gospodarki odpadami,

- K2 – korzyść dla gminy lub przedsiębiorstwa gospodarki odpadami z przeprowadzanej przez mieszkańców segregacji u źródła;
- K3 – obciążenie i trudności dla mieszkańców związane z procesem segregacji „u źródła”.

Kryterium kosztowe K1 uwzględnia koszty ponoszone w związku z odbiorem odpadów i ich późniejszą segregacją. Przy braku segregacji odpadów przez mieszkańców odbiór z każdego punktu odbywałby się przeciętnie 2 razy w tygodniu, do czego wystarczyłyby zwykłe samochody śmieciarki. Przy dokonywaniu segregacji odpadów przez mieszkańców odbiór poszczególnych typów odpadów musiałby być częstszy i wymagałby użycia różnych rodzajów samochodów. Koszty są również generowane podczas samego procesu segregacji wtórnej przeprowadzanej w sortowni lub instalacji mechaniczno- biologicznego przetwarzania odpadów. Jest oczywiste, że gmina lub przedsiębiorstwo gospodarki odpadami jest zainteresowane ponoszeniem jak najniższych kosztów swojej działalności, gdyż wtedy osiąga większy zysk - dlatego kryterium K1 musi być minimalizowane.

Kryterium korzyści K2 łącznie ujmuje możliwy do uzyskania przy danym sposobie przeprowadzania segregacji odpadów przez mieszkańców stopień odzysku i recyklingu. Można założyć stałość rozkładu między odzyskiem i recyklingiem (przeciętnie po ok. 50%), co jest związane z charakterem gminy. Odbiorca odpadów na ogół jest zainteresowany jak najdokładniejszym przeprowadzaniem segregacji „u źródła”. Im dokładniejsza segregacja „u źródła” przeprowadzana przez mieszkańców i im lepsza sytuacja gospodarcza, tym większe będą korzyści / zyski. Dlatego kryterium K2 musi być maksymalizowane. W przeprowadzanej analizie pominięto kryterium maksymalnego zaoszczędzania miejsca na składowisku, gdyż jest ono zgodne z kryterium K2.

Kryterium obciążeniowe K3 to kryterium społeczne uwzględniające stanowisko mieszkańców gminy w sprawie prowadzonej segregacji, które łącznie ujmuje kryteria cząstkowe: 1⁰ – wielkość opłat ponoszonych przez mieszkańców, 2⁰ – uciążliwości związanej z segregacją odpadów, 3⁰ – możliwości wygospodarowania miejsca na postawienie kontenerów lub pojemników na odpady. To kryterium powinno być minimalizowane.

Przyjęte powyżej wszystkie kryteria należy potraktować jako mierzalne, przy czym wartości atrybutów (cech) poszczególnych wariantów projektowych, w zależności od kryterium wyrażono w dalszej części na podstawie doświadczenia. Dla dwóch pierwszych kryteriów wartości te są w oczywisty sposób zależne od mogącej w przyszłości wystąpić tzw. sytuacji gospodarczej, a dla kryterium trzeciego nie ma takiej zależności, ponieważ w rzeczywistości nie można zbyt dokładnie przewidzieć przyszłości tzn. nie można ocenić przyszłego „zapotrzebowania” ze strony przemysłu recyklerskiego na odzyskane lub wysegregowane surowce wtórne. Problem ten należy rozważać jako problem w tzw. pośredniej

sytuacji decyzyjnej (tj. przy niepełnej informacji). Zakłada się, że w przyszłości możliwe są trzy przedstawione wcześniej sytuacje gospodarcze:

- S1 – słabe warunki rynkowe,
- S2 – średnie warunki rynkowe,
- S3 – dobre warunki rynkowe.

Dla tak określonych warunków gospodarczych wartości atrybutów przedstawionych powyżej rozwiązań wariantowych względem przyjętych kryteriów oceny określono:

- dla K1 - w skali punktowej (0-10), przy czym ocena 10 punktów odpowiada najwyższym kosztom (ocena najgorsza); w każdej sytuacji rynkowej najtańszy jest wariant W,1 a najdroższy jest wariant W3, przy czym im lepsza sytuacja gospodarcza tym wyższe koszty, co wynika z warunków rynkowych prowadzenia systemu segregacji (tab.1),
- dla K2 – w skali procentowej względnej tj. odniesione do maksymalnego zysku, który jest możliwy dla sytuacji gospodarczej S3 (dobry zbytna surowce z segregacji) jeśli mieszkańcy stosują najdokładniejszą segregację (wariant W3), najmniejsze korzyści gmina osiąga przy braku segregacji (tab.2);
- dla K3 - w skali procentowej, przy czym wartości atrybutów poszczególnych wariantów segregacji stanowią odsetek mieszkańców gminy preferujących dany sposób segregacji; wartości te zostały oszacowane na podstawie rozpoznania i konsultacji społecznych i praktycznie nie zależą od mogącej zaistnieć w przyszłości sytuacji gospodarczej, (tab.3).

Tabela 1. Szacunkowe wartości atrybutów wariantów projektowych ze względu na kryterium kosztów K1 dla różnych warunków rynkowych [opracowanie własne]

Table 1. Estimated value of the design variant attributes for the K1 cost criterion for different market conditions [own elaboration]

Systemy segregacji	Warunki rynkowe		
	S1	S2	S3
W1, V1	1	1,5	5
W2, V2	2	3	7,5
W3, V3	3	5	10

Tabela 2. Szacunkowe wartości atrybutów wariantów projektowych ze względu na kryterium korzyści K2 dla różnych warunków rynkowych [opracowanie własne]

Table 2. Estimated attribute values for design variants based on the K2 benefit criterion for different market conditions [own elaboration]

Systemy segregacji	Warunki rynkowe		
	S1	S2	S3
W1, V1	5%	10%	25%
W2, V2	10%	20%	55%
W3, V3	20%	50%	100%

Tabela 3. Szacunkowe wartości atrybutów wariantów projektowych ze względu na kryterium obciążenia mieszkańców K3 niezależne od warunków rynkowych [opracowanie własne]

Table 3. Estimated values of design variant attributes due to the K3 population load factor independent of market conditions [own elaboration]

Systemy segregacji	Warunki rynkowe
	S1, S2 albo S3
W1, V1	30%
W2, V2	50%
W3, V3	20%

Postawione zadanie należy rozwiązywać etapowo. Najpierw, oddzielnie dla wszystkich trzech sytuacji gospodarczych (S1, S2, S3) należy wskazać najlepszy wariant segregacji. W tym celu kolejno zakłada się pewność co do wystąpienia każdej sytuacji, a wówczas wyboru jednego z trzech wariantów (W1, W2, W3) dokonuje się stosując metodę wielokryterialnego wyboru AHP. Rezultatem zastosowania tej metody jest ranking wariantów (tu: metod segregacji odpadów u źródła) dla określonych (zdeteminowanych) warunków (tu: sytuacji gospodarczej). Na koniec należy uwzględnić posiadane informacje co do możliwości wystąpienia poszczególnych sytuacji gospodarczych i zastosować metodę NIL, co pozwala na wskazanie jednego wariantu najlepszego w przypadku częściowo niepewnej przyszłości dla wszystkich sytuacji gospodarczych łącznie.

5. Podsumowanie

- Zagadnienia przedstawione w tej części stanowią wstęp i bazę do przeprowadzenia koniecznych analiz matematycznych dla problemu wyboru decyzji o sposobie segregacji odpadów „u źródła”. Takie przykładowe analizy są zamieszczone w drugiej części artykułu.
- Segregacja odpadów komunalnych stanowi pierwszy i integralny element kompleksowego systemu gospodarki odpadami, bez rozwijania którego nie byłoby możliwości rozbudowy kolejnych elementów, recyklingu i przetwarzania. Jego prawidłowe rozwiązanie niejednokrotnie stanowi kluczowy i pierwszy krok całego systemu, a jego zaniedbanie powoduje, że nie ma możliwości rozwoju kolejnych etapów. Rozwój segregacji „u źródła” i decyzja dotyczące jego kształtu jest zazwyczaj podejmowana na poziomie samorządu terytorialnego lub zakładu gospodarki komunalnej i stanowi trudne zadanie decyzyjne, z uwagi na konieczność pogodzenia wielu interesów i sprzecznych ze sobą celów np. interesu mieszkańców, zakładu gospodarki odpadami czy recyklerów, do których mają trafić zebrane odpady.
- Aby zarządzanie każdym przedsiębiorstwem czy przedsięwzięciem, a więc też i zbiórką, i zagospodarowaniem odpadów, było bardziej efektywne, powinno wykorzystywać matematyczne metody wspomagania decyzji.

- W celu wskazania najlepszego sposobu segregacji odpadów „u źródła” dla przedstawionego powyżej przykładu zaproponowano kombinację metody wielokryterialnego wyboru AHP oraz metodę decyzyjną NIL. Metodę wyboru najlepszego sposobu segregacji odpadów „u źródła” szczegółowo przedstawiono w II części artykułu.

Literatura

- [1] Aczel A.D.: Statystyka w zarządzaniu, PWN, Warszawa, 2000.
- [2] Bilitewski B., Härdtle G., Marek K.: Podręcznik gospodarki odpadami– teoria i praktyka, Wydawnictwo Seidel – Przywecki sp. z o.o, Warszawa, 2006.
- [3] Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Dz.U.UE.L.08.312.3).
- [4] Dryja M., Jankowska J., Jankowski M.: Przegląd metod i algorytmów numerycznych, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, część 2. Warszawa 1982.
- [5] Generowicz A.: Multi– criteria analysis of waste management in Szczecin, Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 23, No. 1, 2014, pp 57-63.
- [6] Generowicz A., Iwanejko R.: Wybór optymalnego rozwiązania systemu selektywnej zbiórki odpadów komunalnych przy niepewnej sytuacji rynkowej, Logistyka Vol. 3, 2015, 1414– 1422.
- [7] Iwanejko R.: Generowicz A., Ocena wariantów segregacji odpadów komunalnych „u źródła” z wykorzystaniem analizy decyzyjnej AHP, Gaz Woda Technika Sanitarna, Vol. 2016, pp. 266 – 271,
- [8] Iwanejko R., Generowicz A., Klasyfikacja przyczyn pożarów i ocena ryzyka ich występowania w obiektach gospodarki odpadami komunalnymi w aspekcie start ekonomicznych, ekologicznych i społecznych, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury JCEEA, 32 (62) /1, 2015, pp. 137 – 152,
- [9] Iwanejko R., Rybicki S.M.: Praktyczne aspekty stosowania metody hierarchicznego wyboru AHP w zagadnieniach zaopatrzenia w wodę, VIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo – Techniczna „Zaopatrzenie W Wodę, Jakość I Ochrona Wód”, Poznań 2008.
- [10] Kofler E.: Podejmowanie decyzji przy niepełnej informacji, Real Publishers, Zurych, 1993.
- [11] Kulczycka J., Generowicz A. Kowalski Z.: Strength and Weakness of Municipal and Packaging Waste System in Poland; book project under the working title "Integrated Waste Management – Volume I", August 2011; Publisher InTech; Edited by: Sunil Kumar.
- [12] Miller D.W., Stark M.K.: Praktyka i teoria decyzji, PWN, Warszawa 1971.
- [13] Moore P.G., Ryzyko w podejmowaniu decyzji, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 1975.
- [14] Rolad H.A., Moriarty B.: System Safety Engineering and Management, Jon Wiley & Sons. Inc., 1990.
- [15] Saaty T.L.: The Analytic Hierarchy Process, New York, Mc-Graw Hill, 1980.
- [16] Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz. U. 2013. 0. 21).

- [17] Ustawa z dnia 25 stycznia 2013 r. o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach (Dz. U. 2013. 0. 228).
- [18] Ustawa z dnia 29 lipca 2005 r. o zużytym sprzęcie elektrycznym i elektronicznym (Dz. U. z 2005 r., Nr 180, poz. 1495 z późn. zm.).
- [19] Żak J.: Wielokryterialne wspomaganie decyzji w transporcie drogowym, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, ss.46-73, 2005.
- [20] Generowicz A., Iwanejko R.: Możliwości prowadzenia selektywnej zbiórki odpadów komunalnych przy częściowo niepewnej sytuacji rynkowej – aplikacja metod obliczeniowych. Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA. T. XXXIV, z. 64 (4/II/17), s. 243-256, DOI:10.7862/rb.2017.243.

POSSIBILITY OF CONDUCTING SELECTIVE COLLECTION OF MUNICIPAL WASTE AT SOME PRECARIOUS MARKET SITUATION – TECHNICAL BASICS AND POSSIBILITIES OF SEGREGATION SYSTEM SOLUTION

S u m m a r y

The waste segregation system is the starting point for a comprehensive waste management solution in the region. In spite of the simplicity of the technical and technological arrangements of the segregation system, its economic and environmental efficiency depends on many aspects and internal parameters (level and capacity of recycling and processing) as well as external conditions (market conditions, cooperation with recyclers, demand for waste products).

Decision-making in all areas entails the risk of non-optimal decisions, and in the case of waste management, they can result in: financial losses, failure to meet the required levels of recovery or recycling, environmental damage, lack of social acceptance.

The aim of this article is to present the methodology for decision making and the choice of segregation option in households, with some uncertain market situation, and consequently the uncertainty as to the possibility of transferring recycled fraction of recycled materials to the processing and recycling of recovered fractions. Because of the breadth of the topic, the article is divided into two integral parts. Part I of the article describes legal conditions and technical possibilities of selective waste collection as one of the elements of a comprehensive waste management system. This analysis will be the basis for deciding on the introduction of technological solutions for segregation at source. Part II of the article shows the steps followed by the appropriate mathematical methods that are needed to solve the problem of determining the best solution for the segregation of waste and the utilization of the utility fractions.

Keywords: municipal waste recovery, source segregation, secondary raw materials, decision analysis, uncertain market situation

Przesłano do redakcji: 24.11.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Izabela PIEGDOŃ¹
Barbara TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK²

MOŻLIWOŚĆ WYKORZYSTANIA DANYCH O AWARIACH SIECI WODOCIĄGOWEJ W PROCESIE PLANOWANIA JEJ REMONTU

W badaniach prowadzonych nad niezawodnością i bezpieczeństwem funkcjonowania systemów wodociągowych, podstawą wszelkich badań i analiz stanowią dane eksploatacyjne dotyczące sieci wodociągowej, opracowane na bazie dzienników i protokołów awarii prowadzonych w każdym przedsiębiorstwie wodociągowym. Systematycznie prowadzone badania awaryjności obejmujące swoim zakresem analizę przyczyn, skutków, rodzaju awarii oraz ich liczby, pozwalają osobom decyzyjnym w przedsiębiorstwie podjąć odpowiednie działania odnośnie planowania remontów na sieci oraz zarządzania pracą brygad remontowych. W pracy zaprezentowano analizę awaryjności wybranej sieci wodociągowej województwa podkarpackiego. Wyszczególniono przyczyny awarii oraz ich sezonowość. Wyniki analiz oparto o dane eksploatacyjne z kilku ostatnich lat. Dodatkowo przedstawiono możliwość wykorzystania danych o awariach w procesie planowania remontów przewodów wodociągowych. W tym celu zaprezentowano możliwości stosowania mapy numerycznej oraz bazy danych GIS.

Słowa kluczowe: awaryjność, sieć wodociągowa, remont, GIS

1. Wprowadzenie

Systemy zaopatrzenia w wodę i odprowadzania ścieków są najstarszymi oraz najistotniejszymi systemami eksploatowanymi w każdej aglomeracji miejskiej. Realizują określone swoje zadania jednocześnie na danym obszarze terytorialnym. Systemy te należące do infrastruktury krytycznej państwa funkcjonują w Polsce ponad 120 lat. Umiejętne zarządzanie majątkiem sieciowym w każdym przedsiębiorstwie wodociągowo-kanalizacyjnym wpływa na jakość podejmowanych decyzji oraz wpływa na wzrost konkurencyjności na rynku. Dla każdego

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Izabela Piegdoń, Politechnika Rzeszowska, Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów; tel. 178651068; piegi@prz.edu.pl

² Barbara Tchórzewska-Cieślak, Politechnika Rzeszowska, Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów; tel.178651435; cbarbara@prz.edu.pl

mieszkańca miasta lub wsi – każdego klienta – niezwykle ważne jest poczucie stabilności i bezpieczeństwa w zakresie dostawy wody. Zapewnienie bezpieczeństwa dostawy wody stricte wiąże się z niezawodnością jej dostawy [35, 36]. Niezawodność systemu wodociągowego, definiowana jest jako właściwość polegająca na zdolności systemu do realizacji swoich funkcji w określonych warunkach istnienia i eksploatacji i w ciągu założonego czasu [12, 22, 37]. W przypadku systemu wodociągowego funkcje te polegają na dostarczaniu wody do miejsc jej użytkowania w wymaganej ilości, o odpowiedniej jakości, wymaganej ilości i o każdej porze dogodnej dla jej odbiorcy.

Dla realizacji zadań niezawodności dostawy wody niezbędne jest więc posiadanie szeregu informacji eksploatacyjnych o systemie, a także szczegółowych danych o charakterze statystycznym odnośnie zdarzeń niepożądanych jakimi są awarie na sieci wodociągowej. Zgodnie z Ustawą o stanie klęski żywiołowej z dnia 18 kwietnia 2002 r. (Dz.U. 2002 nr 62, poz.558) [42], awaria jest to gwałtowne, nieprzewidziane uszkodzenie lub zniszczenie obiektu budowlanego, urządzenia technicznego lub systemu urządzeń technicznych powodujące przerwę w ich używaniu lub utratę ich właściwości. Dane o awaryjności powinny umożliwiać dokładną identyfikację analizowanego obiektu, zaistniałego zdarzenia, a także jego analizę przyczynowo – skutkową. Kompletność oraz szczegółowość baz danych o awariach warunkuje w przyszłości prawidłową analizę i ocenę ryzyka wystąpienia takiego zdarzenia, a tym samym proces podejmowania decyzji związanych z pracą brygad remontowych oraz typowania tych przewodów, które nadają się do remontu w pierwszej kolejności [26]. Zgodnie z art. 3 pkt 8 ustawy Prawo budowlane przez remont należy rozumieć wykonanie na istniejącym obiekcie budowlanym robót budowlanych polegających na odtworzeniu stanu pierwotnego, a niestanowiących bieżącej konserwacji, przy czym dopuszcza się stosowanie wyrobów budowlanych innych niż użyto w stanie pierwotnym [41]. Często w przedsiębiorstwach wodociągowych decyzje odnośnie remontu sieci podejmowane są w sposób intuicyjny, wykorzystując między innymi doświadczenie i obserwacje pracowników.

Alternatywą do takiego podejmowania decyzji, mogą stanowić aplikacje GIS (ang. *Geographical Information Systems*), jako element wspomaganie procesu decyzyjnego w każdym przedsiębiorstwie wodociągowym. System zawiera funkcje pozyskiwania oraz przetwarzania danych o awaryjności sieci wodociągowej oraz pozwala na ich wizualizację przestrzenną, stając się narzędziem niezbędnym przy wyznaczaniu zadań brygdom remontowym [10, 27, 34]. Współczesne systemy geoinformacyjne stanowią często rozbudowane, zintegrowane systemy z narzędziami informatycznymi jakimi są monitoring sieci wodociągowej czy modele matematyczne [28, 40]. Głównym celem pracy jest możliwość wykorzystania danych o awariach sieci wodociągowej w procesie planowania jej remontu. Wykonano analizę awaryjności sieci wodociągowej jednego z miast Podkarpacia. W tym celu zaprezentowano możliwości stosowania mapy numerycznej oraz bazy danych GIS.

2. Związki przyczynowo-skutkowe awarii sieci wodociągowej

Analizy awaryjności, obejmujące rodzaje, przyczyny i skutki uszkodzeń są wyjściowym etapem działań zmierzających do oceny stanu technicznego przewodów oraz do podjęcia działań remontowych [4, 21, 26, 38]. Stanowią przedmiot badań od ponad 30 lat o czym świadczy liczna literatura [6, 7, 12, 16, 18, 29, 39, 43]. Negatywne skutki awarii bezpośrednio odczuwalne są przez producentów jak i odbiorców wody. Są to między innymi straty wody, przerwy w dostawie wody lub wtórne zanieczyszczenie wody wodociągowej. W literaturze wielokrotnie udowodniono, że na awaryjność przewodów wodociągowych, oraz związaną z nią wartość wskaźnika intensywności uszkodzeń, ma wpływ wiele czynników [2, 3, 5, 6, 9, 11, 13, 14, 17, 19, 24, 25, 30, 31]:

- funkcja przewodu (magistralny, rozdzielczy, przyłącze wodociągowe),
- średnica oraz materiał przewodów,
- wiek przewodu,
- zabezpieczenie antykorozyjne,
- sposób łączenia rur oraz kształtek i armatury,
- prędkość przepływu oraz panujące w przewodzie ciśnienie,
- niestabilność gruntu np. tereny górnicze,
- korozyjność podłoża,
- charakterystyka wód podziemnych,
- charakter obciążeń zewnętrznych (dynamiczne, statyczne),
- temperatura gruntu,
- roczna sezonowość,
- prace remontowo – konserwacyjne,
- monitoring sieci oraz szybkość lokalizacji i usuwania awarii.

Obecnie istotnym elementem w analizach awaryjności sieci wodociągowej jest możliwość wykorzystania baz danych GIS, które w istotny sposób wpływają na stopień szczegółowości przeprowadzanych obliczeń [10, 15, 19, 20, 27, 32, 33, 40].

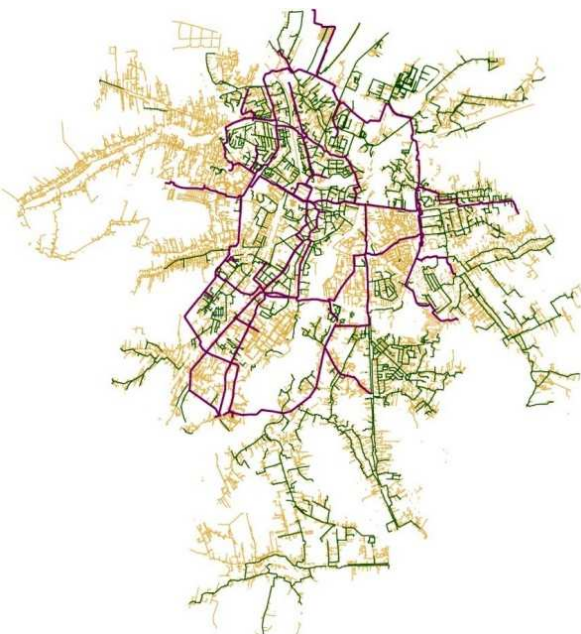
Rozproszenie infrastruktury wodociągowej na terenie miasta lub wsi powoduje, że dla brygad remontowych podczas wystąpienia awarii szczególnie istotnego znaczenia nabiera pytanie: *gdzie?* Informacja o lokalizacji odcinków sieci, przyłączy wodociągowych oraz armatury jest szczególnie ważna w procesie eksploatacji oraz efektywności usuwania negatywnych skutków wystąpienia zdarzeń niepożądanych. Równie istotnymi informacjami są dane dotyczące położenia innych sieci (kanalizacyjnych, gazowych itp.), które są cenną wskazówką podczas samych prac remontowych. Potencjał jaki daje GIS w procesie planowania remontów jest ogromny. Jednak większość przedsiębiorstw wodociągowych wciąż ze względów finansowych nie korzysta w pełni z jego możliwości. Bezpieczeństwo dostawy wody w dużej mierze zależy również od funkcjonowania innych infrastruktur krytycznych. Zaproponowano trzy grupy zagrożeń wpływających na pracę sieci wodociągowej. Pierwsza grupa to liniowa infra-

struktura podziemna np.: linie telekomunikacyjne, kable energetyczne, gazociągi, rurociągi ciepłe, sieci kanalizacyjne. Na przykład uszkodzenie rur kanalizacyjnych (wyciek ścieków do gruntu) lub zrzut ścieków bezpośrednio do rzeki może mieć wpływ na pogorszenie parametrów jakościowych wody pobieranej przez ujęcie powierzchniowe i podziemne. Innym zagrożeniem może być awaria sieci elektroenergetycznej typu blackout, której negatywne konsekwencje mogą mieć wpływ na pracę pompowni wodociągowych, systemu monitoringu, systemu SCADA. Drugą grupę stanowią ulice, drogi, autostrady, w tym transport substancji niebezpiecznych, których wyciek może spowodować degradację środowiska oraz pogorszenie jakości wód. W skład trzeciej grupy wchodzi zewnętrzne zagrożenia spowodowane siłami natury tj. susza, powódź, osuwiska. Dodatkowo należy również pamiętać o zagrożeniach cybernetycznych, powodowanych przez systemy telekomunikacyjne i osoby trzecie.

3. Analiza awaryjności przykładowego systemu wodociągowego

3.1. Charakterystyka obiektu badań

Analizę awaryjności wykonano dla przykładowej sieci wodociągowej dzięki danym udostępnionym przez przedsiębiorstwo wodociągowe. Łączna długość sieci wodociągowej wraz z przyłączami wynosi 1006,6 km (dane z 2017 r.). Sieć



stanowią: sieć magistralna o długości 54,9 km, wykonana jest z rur żeliwnych i stalowych, sieć rozdzielcza o długości 586,5 km, wykonana jest z żeliwa, stali, PE i PVC. Na rysunku 1 przedstawiono schemat analizowanej sieci wodociągowej. Kolorem fioletowym zaznaczono sieć magistralną, zielonym sieć rozdzielczą natomiast żółtym przyłącza wodociągowe.

Rys. 1. Schemat sieci wodociągowej (opracowanie własne na podstawie [44])

Fig. 1. Scheme of water supply network (own work based on [44])

3.2. Metodyka badań

Pierwszym krokiem w planowaniu remontów na sieci wodociągowej jest wykonanie analizy awaryjności. Główne źródło danych stanowi dokumentacja eksploatacyjna przedsiębiorstwa dotycząca ewidencji sieci oraz zgłoszeń awarii. Analizę awaryjności przeprowadza się w oparciu o rzeczywiste dane eksploatacyjne z 10 ostatnich lat pracy sieci. Dokładna analiza wymagała zebrania, posortowania i zweryfikowania zebranych danych.

Kolejnym etapem pracy było utworzenie bazy danych o awariach oraz uporządkowania zbioru parametrów technicznych sieci wodociągowej. Następnie tak utworzoną bazę danych zaimplementowano do programu GIS. Zakres danych tekstowych i przestrzennych opisujących zdarzenie awarii jakie należało umieścić w bazie danych obejmował:

- lokalizację uszkodzenia,
- przyczynę uszkodzenia,
- rodzaj, średnica i materiał przewodu na którym zaistniało uszkodzenie,
- numer brygady obsługującej dane uszkodzenie,
- datę zgłoszenia uszkodzenia,
- nadanie numeru identyfikacyjnego zdarzeniu.

Ostatnim etapem badań jest graficzna prezentacja danych oraz wyników analiz wygenerowana w programie GIS G/Technology oraz GeoMedia. Propozycja dotycząca graficznej wizualizacji analizy awaryjności przewodów wodociągowych sprowadza się do możliwości jej wykorzystania w procesie planowania remontów na sieci wodociągowej.

Obecnie w wielu przedsiębiorstwach wodociągowych dostępne zasoby danych dotyczące awaryjności przewodów wodociągowych, nie dają wystarczającej możliwości wyznaczenia dokładnych parametrów niezawodnej pracy przewodów. Często dane te są mało czytelne, zapisywane w starych książkach awarii bądź dostępne tylko w pamięci pracowników. Sytuacja taka powoduje, że analiza stanu technicznego sieci na podstawie awaryjności jest mało dokładna. W rezultacie utrudnione są działania mające na celu planowanie remontów, podejmowanie decyzji czy wszelkich inwestycji na sieci wodociągowej. Istnieje zatem potrzeba prezentacji dostępnych danych oraz ich uzupełniania w bazach danych GIS, które stanowią mogą alternatywę do stosowanych strategii planowania remontów [4, 21, 23].

3.3. Analiza awaryjności przewodów wodociągowych

W tabeli 1 przedstawiono liczbę awarii na sieci wodociągowej z podziałem na rodzaj sieci oraz odnosząc liczbę awarii do długości sieci uzyskując wskaźnik intensywności uszkodzeń $\lambda(t)$ [1, 6, 8, 12].

Z przeprowadzonej analizy awaryjności sieci wodociągowej, wynika, że wskaźnik intensywności uszkodzeń dla sieci magistralnej w każdym analizowanym roku przekracza wartość dopuszczalną tj. 0,3 uszk/km·rok. Najwyższą war-

Tabela 1. Zestawienie liczby awarii oraz wskaźnika intensywności uszkodzeń na sieci wodociągowej z podziałem na jej rodzaj w latach 2005-2014 (opracowanie własne)

Table 1. Summary of the number of failures and the failure indicator on the water supply network, with division into its type in the years 2005-2014 (own study)

Lata	Rodzaj sieci					
	Magistralna			Rozdzielcza		
	Długość (km)	Liczba awarii	λ_M (uszk./km·rok)	Długość (km)	Liczba awarii	λ_R (uszk./km·rok)
2005	49,5	48	0,97	350,5	87	0,25
2006	49,5	35	0,71	384,4	114	0,30
2007	49,5	40	0,81	443,5	90	0,20
2008	49,5	21	0,42	447,7	81	0,18
2009	49,8	32	0,64	468	72	0,15
2010	49,8	35	0,70	490,5	96	0,20
2011	49,8	45	0,90	504,1	92	0,18
2012	49,8	44	0,88	520,5	95	0,18
2013	49,8	24	0,48	524,8	103	0,20
2014	49,8	33	0,66	530	69	0,13

tość wskaźnika odnotowano w 2005 roku, gdzie $\lambda_M=0,97$ uszk/ km·rok, zaś najniższą w 2008 roku $\lambda_M=0,42$ uszk/ km·rok. Z kolei wartość wskaźnika dla sieci rozdzielczej kształtuje się poniżej wartości dopuszczalnej 0,5 uszk/km·rok. Najwyższą wartość wskaźnika odnotowano w 2006 roku, gdzie $\lambda_R=0,30$ uszk/ km·rok, zaś najniższą w 2013 roku $\lambda_R=0,13$ uszk/ km·rok. W tabeli 2 przedstawiono liczbę awarii na sieci wodociągowej z uwzględnieniem ich przyczyny.

Tabela 2. Zestawienie liczby awarii na sieci wodociągowej z podziałem na przyczynę awarii w latach 2005-2014 (opracowanie własne)

Table 2. List of the number of failures on the water supply network with division into the cause of the failure in the years 2005-2014 (own study)

Lata	Rodzaj uszkodzenia				
	Rozszczelnienie	Złamanie	Korozja	Pęknięcie	Uszkodzenie mechaniczne
2005	105	34	96	10	0
2006	107	47	118	24	2
2007	82	28	127	18	0
2008	71	30	102	15	0
2009	75	40	88	12	2
2010	76	32	127	19	1
2011	107	31	145	16	0
2012	95	32	145	11	0
2013	65	37	136	20	0
2014	69	25	119	11	0

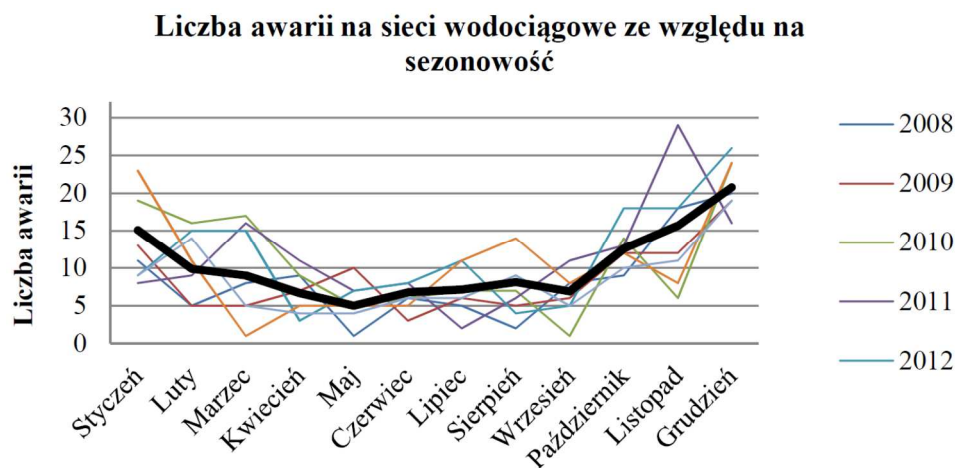
Analizując awaryjność pod względem przyczyny, stwierdzono największą liczbę awarii spowodowanych przez korozję, co potwierdza fakt, iż sieć wodociągowa posiada ponad 80 lat i głównie wykonana jest z żeliwa i stali. W tabeli 3 przedstawiono awaryjność sezonową sieci wodociągowej z siedmiu lat eksploatacji.

Tabela 3. Zestawienie liczby awarii na sieci wodociągowej ze względu na sezonowość w latach 2008-2014 (opracowanie własne)

Table 3. List of the number of failures on water supply networks due to seasonality in 2008-2014 (own study)

Lata	Miesiące											
	Styczeń	Luty	Marzec	Kwiecień	Maj	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień	Październik	Listopad	Grudzień
2008	11	5	8	9	1	6	5	2	8	9	18	20
2009	13	5	5	7	10	3	6	5	6	12	12	19
2010	19	16	17	9	5	6	7	7	1	14	6	24
2011	8	9	16	11	7	8	2	6	11	13	29	16
2012	9	15	15	3	7	8	11	4	5	18	18	26
2013	23	11	1	5	5	5	11	14	8	12	8	24
2014	9	14	5	4	4	6	6	9	5	10	11	19

Na rysunku 2 przedstawiono liczbę awarii sieci wodociągowej ze względu na sezonowość w latach 2008-2014.



Rys. 2. Zestawienie liczby awarii na sieci wodociągowej ze względu na sezonowość w latach 2008-2014 wraz z wartością średnią (opracowanie własne)

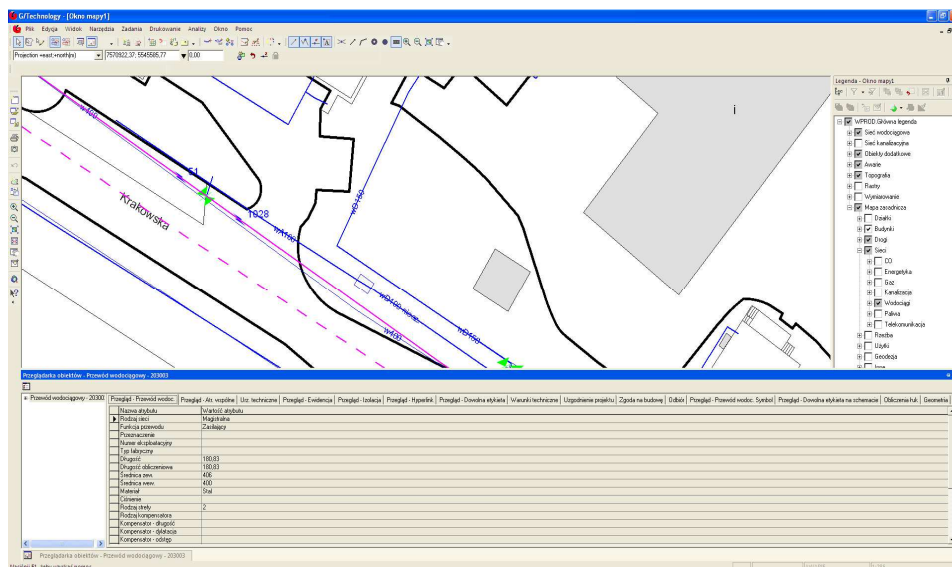
Fig. 2. List of the number of failures on water supply networks due to seasonality in 2008-2014 together with the average value (own study)

Uwzględniając pory roku można stwierdzić przyrost uszkodzeń w okresie jesienno-zimowym, których średnia liczba w okresie październik – styczeń wyniosła 108. Największa miesięczna awaryjność występuje w listopadzie, grudniu i styczniu co świadczy o dużym wpływie zmian temperatury na częstość awarii. W miesiącach od lutego do maja widoczny jest spadek awaryjności przewodów, która średnio wyniosła 57, czyli awaryjność w okresie wiosennym spada o 53% w stosunku do okresu jesienno-zimowego.

4. Wizualizacja przeprowadzonej analizy awaryjności sieci wodociągowej

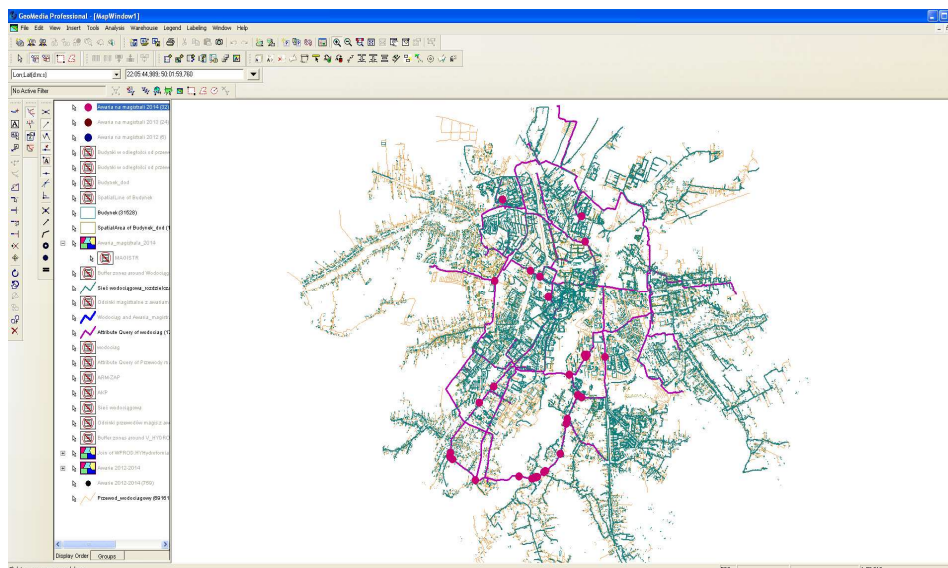
Przed podjęciem decyzji związanych z planowaniem remontów, niezbędne jest przeanalizowanie wszelkich informacji, danych, map, dotyczących bezpośrednio awaryjnych przewodów. Wykorzystując aplikację GIS oraz mapę numeryczną utworzono niezbędną bazę danych o awariach. Do prezentacji wyników wykorzystano program G/Technology oraz GeoMedia. Na rysunku 3 przedstawiono fragment cyfrowej mapy numerycznej z miejscami wystąpienia awarii wraz z charakterystyką przewodu, na którym zaistniała awaria.

Na rysunku 4 przedstawiono sieć wodociągową wraz z prezentacją przewodów na których nastąpiła awaria w 2014. Ze względu na pracochłonność procesu tworzenia mapy, graficzną prezentację wyników zaprezentowano dla roku 2014.



Rys. 3. Fragment mapy numerycznej z miejscem awarii wraz z charakterystyką przewodu wodociągowego (program G/Technology, opracowanie własne)

Fig. 3. Fragment of the numerical map with the place of failure together with the characteristics of the water pipe (G/Technology program, own study)



Rys. 4. Prezentacja analizy awaryjności przewodów wodociągowych magistralnych odnotowanych w 2014 roku (program GeoMedia, opracowanie własne)

Fig. 4. Presentation of the failure analysis of the main water main recorded in 2014 (GeoMedia program, own work)

Bazując na wynikach analizy awaryjności przewodów wodociągowych, możliwe jest graficzne wytypowanie tych przewodów, których ryzyko awarii jest największe. Aplikacje GIS dają możliwość wygenerowania mapy dla każdego rodzaju sieci z podziałem na średnicę, materiał czy przyczynę awarii. Istnieje możliwość wzbogacenia wizualizacji o raporty oraz wykresy, które w łatwy i przejrzysty sposób uświadomiłyby eksploatatora sieci o stanie technicznym przewodów, o budynkach i liczbie osób narażonych na brak lub ograniczenie w dostawie wody na skutek uszkodzenia konkretnego przewodu.

5. Wnioski

W procesie planowania remontów na sieci wodociągowej niezbędne jest posiadanie kompletnej i usystematyzowanej bazy danych o awariach. Stanowi ona podstawę podejmowania decyzji o pracy brygad remontowych. Remonty powinny być wykonywane wg długofalowej strategii nie ograniczającej się tylko do usuwania losowo występujących awarii. Dlatego też prawidłowa ocena stanu technicznego przewodów oraz typowanie odcinków do remontu, przyczynić się mogą do wydłużenia okresu eksploatacyjnego sieci nawet o kilkadziesiąt lat. Narzędziem wspomagającym proces podejmowania decyzji o remontach na sieci może być mapa numeryczna wraz z oprogramowaniem GIS. Przykładem wykorzystania GIS jest ewidencja awarii i wspomaganie pracy pogotowia wodocią-

gowego, typowanie obiektów do remontów i wymian, planowanie inwestycji i remontów, długoterminowe i szczegółowe planowanie wykonania prac eksploatacyjnych i inwestycyjnych oraz pełną nad nimi kontrolę. Umieszczenie danych w jednej centralnej bazie danych o awariach ułatwi i uporządkuje sposób korzystania z zasobów informacyjnych.

Literatura

- [1] Bajer J. Iwanejko R., Kapia J. *Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2007.
- [2] Bergel T Pawełek J. Quantitative and economical aspects of water loss in waterworks systems in rural areas, *Environment Protection Engineering*, Wroclaw University of Technology, the Department of Environmental Engineering, 3/2008, s. 59-64.
- [3] Boryczko K. Water age in the water supply network as health risk factor associated with collective water supply, *Ecological Chemistry And Engineering A-Chemia I Inżynieria Ekologiczna A*, 23(1)/2016, s. 33-43.
- [4] Dohnalik P. Planowanie remontów sieci wodociągowej, *Woda i My. Czasopismo MPWiK w Krakowie*, 22 i 23/2002, s. 1-2.
- [5] Dohnalik P. Wytrwał P. Wpływ stanu technicznego i niektórych czynników eksploatacyjnych na ryzyko wtórnego zanieczyszczenia wody w miejskich sieciach wodociągowych, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna, Sigma-NOT*, 11/2005, s. 31-33.
- [6] Hotłoś H. Ilościowa ocena wpływu wybranych czynników na parametry i koszty eksploatacyjne sieci wodociągowych, *Prace Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej*, nr 84, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2007.
- [7] Kowalski D. Kowalska B., Kwietniewski M., Wdowiak A. Analiza uszkodzeń sieci wodociągowej Lublina w latach 2008-2010, *Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody 2013*, Politechnika Śląska, Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, Gliwice. p. 401-412.
- [8] Królikowska J. Królikowski A. Analiza porównawcza wskaźników niezawodności wiejskich i komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę, *XXI Krajowa Konferencja IX Międzynarodowa Konferencja „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”*, PZITS O/Wielkopolski, Poznań, 2010, t. II, s. 411-419.
- [9] Kuliczkowski A. Kuliczowska E. Strategie odnowy przewodów wodociągowych, *Technologia Wody*, Wydawnictwo Seidel Przywecki, 2(10)/2011, s. 20-24.
- [10] Kwietniewski M. *GIS w wodociągach i kanalizacji*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, 2008.
- [11] Kwietniewski M. Miszta-Kruk K., Piotrowska A. Wpływ temperatury wody w sieci wodociągowej na jej awaryjność w świetle eksploatacyjnych badań niezawodności, *Czasopismo Techniczne*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 1-Ś(108)/2011, s. 113-129.
- [12] Kwietniewski M. Rak J. *Niezawodność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce*, Studia z zakresu inżynierii nr 67, Polska Akademia Nauk, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej, Instytut Podstawowych Problemów Techniki, Warszawa, 2010.
- [13] Kwietniewski M. Roman M., Kłos-Trębaczewicz H. *Niezawodność wodociągów i kanalizacji*, Arkady, Warszawa, 1993.

- [14] Lambert A. O. International report on water losses management and techniques, *Water Science & Technology: Water Supply*, IWA, 2(4)/2002.
- [15] Michael G., Zhang, J. Simplified GIS for Water Pipeline Management, *International Conference Pipelines: Infrastructure's Hidden Assets*, American Society of Civil Engineers, San Diego, 2009, 1, s. 412-419.
- [16] Pawełek J. Wojdyna M., Analiza uszkodzeń przewodów rozdzielczych w dużym systemie wodociągowym, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, Sigma-NOT, 2/2001, s. 49-54.
- [17] Piechurski F. Awarie w sieci wodociągowej, *Wodociągi Kanalizacja*, 3(133)/2015, s. 40-46.
- [18] Piegdoń I. Tchórzewska-Cieślak B. Analiza awaryjności sieci wodociągowej miasta Sanoka z uwzględnieniem strat wody, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, Sigma-NOT, 10/2012, s. 450-452.
- [19] Piegdoń I. Tchórzewska-Cieślak B. Methods of visualizing the risk of lack of water supply, *Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL 2014*, Taylor & Francis Group, 2014, s. 497-505.
- [20] Piegdoń I. Tchórzewska-Cieślak B., Szpak D. The use of geographical information system in the analysis of risk of failure of water supply network, *Environmental Engineering V*, Małgorzata Pawłowska & Lucjan Pawłowski, Editor. 2017, Taylor & Francis Group, London. p. 7-14.
- [21] Rak J. Metoda planowania remontów sieci wodociągowej, *Wodociągi - Kanalizacja*, 2007, s. 30-31.
- [22] Rak J. Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę, *Komitet Inżynierii Środowiska PAN*, Lublin, 2005.
- [23] Rak J. Zasady określania przynależności do infrastruktury krytycznej, *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture*, JCEEA. t. XXXIII, z. 63 (2/I/16), s. 291-298, DOI:10.7862/rb.2016.130.
- [24] Rak J. Boryczko K. The Issue Of Water Resources Diversification In Water Supply Systems, *Journal of KONBiN*, 35(1)/2015, s. 157-168.
- [25] Rak J. Kwietniewski M. Bezpieczeństwo i zagrożenia systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej*, Rzeszów, 2011.
- [26] Rak J. Tchórzewska-Cieślak B., Wiczysty A., Lubowiecka T. Metoda wyznaczania liczby brygad remontowych w systemie zaopatrzenia w wodę, *XVII Krajowa Konferencja V Międzynarodowa Konferencja „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”*, PZITS O/Wielkopolski, Poznań, 2002, s. 441-447.
- [27] Shamsi U.M. GIS Applications for Water, Wastewater, and Stormwater Systems, *CRC Press*, London, 2005.
- [28] Studziński J. Narzędzia informatyzacji miejskich sieci wodociągowych, *Wodociągi Kanalizacja*, Abrys, 7(75)/2010, s. 34-37.
- [29] Szpak D. Tchórzewska-Cieślak B. Analiza awaryjności sieci wodociągowej w aspekcie bezpieczeństwa funkcjonowania infrastruktury krytycznej, *CHEMIK*, 68(10)/2014, s. 862-867.
- [30] Szydłowski J. Awaria sieci wodociągowej – organizacja i działanie, *Woda i My*, *Czasopismo MPWiK Kraków*, 9/2010.
- [31] Tchórzewska-Cieślak B. Method of assessing of risk of failure in water supply system, *European safety and reliability conference ESREL.2007 Risk, reliability and societal safety*, Taylor & Francis, Stavanger, Norwegia, 2007, 2, s. 1535-1539.

- [32] Tchórzewska Cieślak B. Boryczko K., Piegoń I. Possibilistic risk analysis of failure in water supply network, Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL 2014, 2014, s. 1473-1480.
- [33] Tchórzewska Cieślak B. Piegoń I., Boryczko K. Wykorzystanie nowoczesnych technik informatycznych oraz baz danych w analizach ryzyka awarii podsystemu dystrybucji wody, INSTAL, (6)/2014, s. 76-79.
- [34] Vemulapally R. Development of Standard Geodatabase Model and its Applications for Municipal Water and Sewer Infrastructure, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 2010.
- [35] Who, Water Quality and Health Strategy 2013-2020, WHO Press, Geneva, 2013.
- [36] Who, Water Safety Plans. Managing drinking-water quality from catchment to consumer, Water, Sanitation and Health. Protection and the Human Environment World Health Organization, Geneva, 2005.
- [37] Wiczysty A. Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych, Skrypt. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 1990.
- [38] Wiczysty A. Iwanejko R., Lubowiecka T., Rak J. Określenie liczby brygad remontowych w podsystemie dystrybucji wody przy zastosowaniu modelu masowej obsługi, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 7/1990.
- [39] Zimoch I. Zintegrowana metoda analizy niezawodności funkcjonowania i bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2011.
- [40] Zimoch I. Paciej J. Zastosowanie Geograficznych Systemów Informacyjnych w zarządzaniu oraz prowadzeniu kontroli jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, INSTAL, 1/2013, s. 38-41.
- [41] Ustawa Prawo budowlane z dnia 7 lipca 1994.
- [42] Ustawa z dnia 18 kwietnia 2002 r. o stanie kłęski żywiolowej (Dz.U. 2002, nr 62, poz. 558).
- [43] Żaba T. Bajera J., Iwanejko R. Analiza awaryjności sieci wodociągowej miasta Krakowa, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, Sigma-NOT, 10/2012, s. 473-475.
- [44] Dane z Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Rzeszowie.

POSSIBILITY OF USING DATA ON THE WATER SUPPLY NETWORK FAILURES IN THE PLANNING OF ITS REPAIR

S u m m a r y

In research on the reliability and safety of water supply systems operation, the basis for all research and analyzes are operational data on the water supply network, developed on the basis of logs and failure protocols carried out in each water supply company. Systematically performed failures, including the analysis of causes, consequences, type of failures and their number, allow decision-makers in the enterprise to take appropriate actions regarding the planning of repairs on the network and management of maintenance brigades. The paper presents the failure analysis of a selected water supply network of the Podkarpackie region. The reasons for the failure and their seasonality are detailed. The results of analyzes were based on operational data from the last few years. Additionally, the possibility of using data on failures in the process of planning repairs of water pipes was presented. Due to this, the possibilities of using a numerical map and the GIS database were presented.

Keywords: failure, water network, repair, GIS

Przesłano do redakcji: 21.10.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Patrycja MICHALIK¹
Janusz RAK²

ANALIZA STRAT WODY WODOCIĄGU MIASTA BIECZ

W przedsiębiorstwach wodociągowych powinna być prowadzona analiza strat wody, która w dużym stopniu ułatwia podejmowanie działań renowacyjnych czy naprawczych, przyczyniających się do obniżenia kosztów związanych z produkcją i dystrybucją wody. Praca zawiera analizę zużycia wody oraz strat wody wodociągowej dla Biecza, sporządzonej na podstawie materiałów z Miejskiego Przedsiębiorstwa Gospodarki Komunalnej Sp. z o.o. w Bieczu. Przedstawiono bilans produkcji i sprzedaży wody wodociągowej w latach 2010-2016 roku. Obliczone zostały podstawowe wskaźniki strat wody, które odniesiono do wskaźników zaproponowanych przez International Water Association (IWA). Mianowicie wyznaczono: procentowy wskaźnik strat wody (WS), wskaźnik jednostkowy strat rzeczywistych (RLB), wskaźnik objętości wody niedochodowej (NRWB), wskaźnik strat nieuniknionych (UARL) oraz infrastrukturalny indeks wycieków (ILI). Otrzymaną wartość wskaźnika ILI porównano z zakresem oraz oceniono stan sieci wodociągowej według kategorii zaproponowanych przez IWA, Amerykańskie Stowarzyszenie Wodne (AWWA) oraz WBI Banding System dla krajów rozwijających się i rozwiniętych. Analizę strat wody wykonano również na podstawie jednostkowych wskaźników ilości wody, którymi są: jednostkowa ilość wody wtłoczonej do sieci, jednostkowa ilość wody sprzedanej ogółem, jednostkowa ilość wody sprzedana gospodarstwom domowym, jednostkowa ilość strat wody, jednostkowa ilość wody niedochodowej. Ponadto wyznaczone zostały jednostkowy wskaźnik obciążenia sieci wodociągowej oraz jednostkowy wskaźnik strat wody w odniesieniu do całej długości sieci wodociągowej.

Słowa kluczowe: system zaopatrzenia w wodę, sieć wodociągowa, zużycie wody, straty wody

1. Wprowadzenie

Biecz, to miasto położone w południowo-wschodniej części Polski, w województwie małopolskim, w powiecie gorlickim. Miasto leży na terenie Pogórza Karpackiego nad rzeką Ropą, na wysokości około 281 m n.p.m.. Biecz

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Patrycja Michalik, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów; 133337@stud.prz.edu.pl

² Janusz Rak, Politechnika Rzeszowska, Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków, ul. Poznańska 2, 35-959 Rzeszów; tel. 17 8651408; rakjan@prz.rzeszow.pl

posiada bogatą historię i liczne zabytki, z tego względu często nazywany jest małym Krakowem.

Według danych Głównego Urzędu Statystycznego z dnia 22 lipca 2016 roku, miasto Biecz posiada powierzchnię 17,71 km². Jego obszar stanowi około 18% powierzchni całej gminy Biecz. Aktualnie miasto zamieszkuje 4663 mieszkańców. Gęstość zaludnienia wynosi 263 os./km² [3].

Biecz położony jest w niewielkiej odległości od Słowacji i Ukrainy. Miasto znajduje się ok. 35 km od granicy ze Słowacją oraz ponad 100 km od granicy z Ukrainą. Wokół Biecza zlokalizowane są wsie: Binarowa, Głęboka, Grudna Kępska, Korczyzna, Libusza oraz Strzeszyn. Natomiast najbliższymi miastami są Gorlice i Jasło, zlokalizowane kolejno 8 km oraz 21 km od Biecza.

Miasto Biecz zaopatrywane jest ze studni kopanych i wierconych zlokalizowanych w pięciu jego częściach. Woda, pobierana ze wszystkich 22 studni na ujęciu „Wapniska” odprowadzana jest grawitacyjnie do trzech zbiorników wyrównawczych o łącznej pojemności równiej 140 m³. Woda z otworów S-1’, S-2’ i S-3’ jest uzdatniana w stacji uzdatniania wody, natomiast woda z pozostałych ujęć trafia bezpośrednio do sieci wodociągowej. Pobierana woda podziemna, z wyjątkiem jednego ujęcia, nie wymaga uzdatniania, lecz z uwagi na możliwość wtórnego zanieczyszczenia w sieci wodociągowej jest poddawana procesowi chlorowania. Ujęcie „Załawie”, znajdujące się na terenie Miejskiego Przedsiębiorstwa Gospodarki Komunalnej posiada Stację Uzdatniania Wody, do której trafia woda z trzech studni wierconych. Proces uzdatniania składa się z napowietrzania, filtracji pospiesznej oraz chlorowania. Ze względu na przekroczone wartości manganu i żelaza w wodzie podziemnej prowadzone jest jej odżelazianie i odmanganianie. Szereg procesów odbywa się w kompletnym urządzeniu zbiornikowym, którym jest Hydrofiltr, składający się z trzech części: technologicznej, którą tworzą komora wody surowej, czystej i odpowietrzania; zbiornika ciśnieniowego o pojemności 16,5 m³ oraz chloratora typu C-53. Sieć wodociągowa w Bieczu jest siecią rozgałęźną, ma długość łącznie 14,6 km oraz posiada 538 przyłączy wodociągowych do budynków mieszkalnych i zbiorowego zamieszkania. Wykonana jest w 60% z PE, w 30% ze stali i 10% z żeliwa. Sieć wyposażona jest w 20 hydrantów. Dystrybucja wody odbywa głównie w sposób grawitacyjny [4].

Celem pracy jest analiza i ocena strat wody w sieci wodociągowej miasta Biecz oraz porównanie wyznaczonych wskaźników strat wody z wartościami zaproponowanymi przez IWA, AWWA oraz WBI.

2. Analiza zużycia wody w Bieczu

W tabeli 1. został przedstawiony bilans produkcji wody dla miasta Biecz w latach 2010-2016, w którym szczegółowo przedstawiono ilość wody wtłoczonej do sieci, sprzedanej ogółem, sprzedanej gospodarstwom domowym, zużytej na cele własne sieci oraz straty wody.

Tabela 1. Zestawienie bilansu produkcji wody dla Biecza w roku 2016

Table 1. Summary of water sold in 2016

Rok	Woda włączona do sieci V_{wt}	Woda sprzedana ogółem V_{sp}	Woda sprzedana gospodarstwom domowym V_{spgd}	Zużycie wody na cele własne sieci V_{wt}	Straty wody w sieci V_{str}
	m ³ /rok	m ³ /rok	m ³ /rok	m ³ /rok	m ³ /rok
2010	75988,0	64741,0	36511,00	1332,0	9915,0
2011	75527,0	64477,0	36768,00	1300,0	9750,0
2012	70400,0	60098,0	45084,50	1212,0	9090,0
2013	69531,0	59314,0	43629,00	1202,0	9015,0
2014	66995,0	57,0152	41776,00	1158,0	8685,0
2015	69278,0	59095,0	42112,00	1198,0	8985,0
2016	71893,0	60373,0	41629,0	1410,0	10110,0

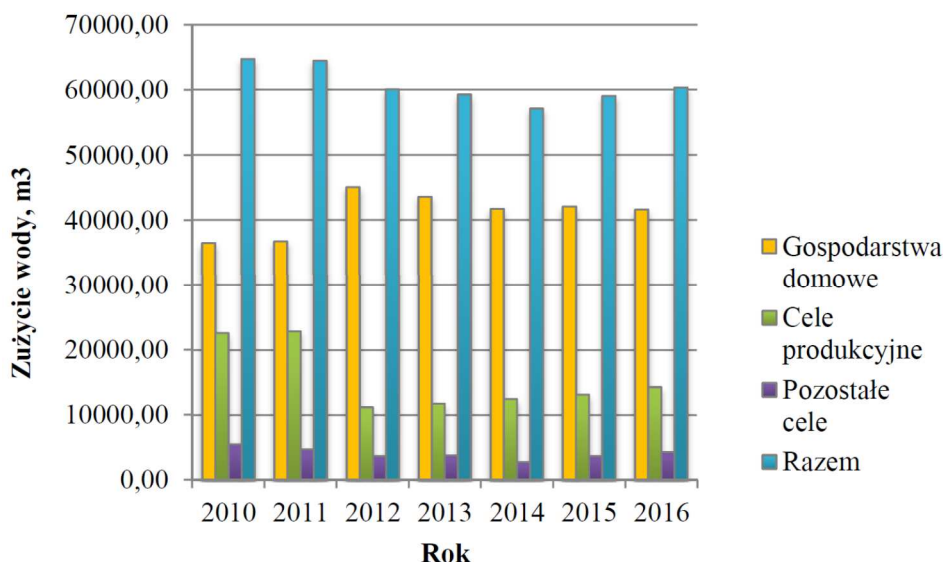
Analizując dane zamieszczone w tabeli 1 można zauważyć, iż ilość wody włączonej do sieci w latach 2010-2014 ma tendencję spadkową. 2014 rok charakteryzował się najmniejszą ilością wody dostarczonej do sieci, wynoszącą 66,995 tys. m³/rok, co jest wartością niższą od roku 2010 o prawie 9 tys. m³/rok. Ostatnie dwa lata przedstawiają nieznaczny wzrost poboru wody. W roku 2016 łącznie została włączona do sieci woda w ilości 71,893 tys. m³/rok, co w porównaniu z rokiem 2010 daje wartość o 5% mniejszą.

W tabeli 2 zestawiono ilości wody sprzedanej z podziałem na wodę sprzedaną poszczególnym grupom odbiorców. Roczna analiza zużycia wody w Bieczu została przedstawiona na przestrzeni siedmiu lat od 2010 do 2016. Szczegółowo w zużyciu wody w mieście wyróżnione są trzy cele: gospodarstwa domowe, cele usługowe oraz inne cele, uwzględniające m.in. wodę użytą na cele przeciwpożarowe.

Tabela 2. Zestawienie bilansu wody sprzedanej w roku 2016

Table 2. Summary of water sold in 2016

Rok	Woda sprzedana ogółem V_{sp}	Woda sprzedana gospodarstwom domowym	Woda sprzedana jednostkom usługowym	Woda sprzedana pozostałym jednostkom
	m ³ /rok	m ³ /rok	m ³ /rok	m ³ /rok
2010	64741,00	36511,00	22655,00	5575,00
2011	64477,00	36768,00	22910,00	4799,00
2012	60097,50	45084,50	11257,00	3756,00
2013	59314,00	43629,00	11816,00	3869,00
2014	57152,00	41776,00	12518,00	2858,00
2015	59095,00	42112,00	13198,00	3785,00
2016	60373,00	41629,00	14347,00	4397,00



Rysunek 1. Zużycie wody w Bieczu, uwzględniające poszczególne cele w latach 2010-2016

Figure 1. Water consumption in Biecz, taking into account individual objectives in 2010-2016

Roczne zmiany zużycia wody na poszczególne cele w Bieczu w latach 2010-2016 przedstawia rysunek 1. Zużycie wody w latach 2010-2016 ogółem miało charakter malejący. Od 2010 do 2014 roku można zaobserwować niewielki spadek zużycia wody, następnie wartości te zwiększają się w ostatnich dwóch latach. Ponadto, w 2012 roku obserwuje się wyraźny wzrost zużycia wody w gospodarstwach domowych o 8316,5 m³ oraz nagły, prawie 100% spadek zużycia wody na cele produkcyjne wynoszący 11653 m³. Od roku 2012 wykorzystanie wody w gospodarstwach domowych nieznacznie spada, natomiast obserwuje się przyrost wody zużywanej na cele produkcyjne. Najwyższe zużycie wody w gospodarstwach domowych miało miejsce w 2012 roku i wynosiło 45084,5 m³, przy czym w tym samym roku wystąpiło najmniejsze zużycie wody na cele produkcyjne, wynoszące 11257 m³. Natomiast najmniej wody w gospodarstwach domowych zużyto w 2010 roku – 36511 m³, co jest wartością niższą o 19% w stosunku do największego zużycia. Najwięcej wody na cele produkcyjne zostało zużyte w 2011 roku i wyniosło 22910 m³. Na pozostałe cele używana była niewielka ilość wody, która w latach 2010-2014 miała tendencję spadkową. Lata 2015 i 2016 charakteryzują się nieznacznym wzrostem zużycia wody na te cele. Ogółem najwyższe zużycie wody wystąpiło w 2010 roku – 64741 m³, natomiast najniższe w 2014 roku – 57152 m³.

3. Analiza strat wody w wodociągu miasta Biecz

Jednym z podstawowych problemów, związanych z eksploatacją systemów wodociągowych są straty wody [8, 9]. Wiele przedsiębiorstw wodociągowych w dzisiejszych czasach boryka się z nim. Większość z nich nie wykonuje żadnego bilansu strat wody, bądź ich wielkość jest świadomie zaniżana lub ukrywana. Ze względu na to, że w wielu przypadkach straty wody stanowią wysoki procent, tak ważna jest ich prawidłowa analiza, ułatwiająca podejmowanie decyzji w sprawach modernizacyjnych i eksploatacyjnych sieci wodociągowej [2]. Wskaźniki strat wody według IWA, które pozwalają na wyznaczenie prawidłowej oceny strat wody wodociągowej są następujące [7]:

- procentowy wskaźnik strat wody – WS

Wskaźnik ten mówi nam o tym jaki jest udział strat wody do ilości wody wtłoczonej do sieci wodociągowej. Wyraża go zależność (1):

$$WS = \frac{V_{str}}{V_{wtł}} \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

gdzie:

V_{str} – straty wody, [m³/rok],

$V_{wtł}$ – objętość wody wtłoczonej do sieci wodociągowej, [m³/rok].

- wskaźnik jednostkowy strat rzeczywistych – RLB

Wskaźnik ten określa ilość rzeczywistych strat wody ze względu na liczbę przyłączy wodociągowych. Może on być obliczony według dwóch metod wyrażonych wzorami (2) i (3):

$$RLB_1 = \frac{V_{str}}{(M + R) \cdot 365} [m^3/km \cdot d] \quad (2)$$

gdzie:

M – długość sieci magistralnej (w Bieczu nie występuje), [km],

R – długość sieci rozdzielczej, [km].

Wskaźnik RLB_1 stosowany jest w przypadku, gdy liczba podłączeń wodociągowych ($M+R$) na jeden kilometr sieci nie przekracza 20.

$$RLB_2 = \frac{V_{str} \cdot 1000}{L_{pw} \cdot 365} [dm^3/podłączenie\ wodociągowe \cdot d] \quad (3)$$

gdzie:

L_{pw} – liczba podłączeń wodociągowych, [-].

Wskaźnik RLB_2 stosowany jest w przypadku, gdy liczba połączeń wodociągowych (M+R) na jeden kilometr sieci jest większa lub równa 20.

- wskaźnik objętości wody niedochodowej – NRWB

Wskaźnik ten pozwala na obliczenie objętości wody niesprzedanej, która jest różnicą objętości wody wyprodukowanej i objętości wody sprzedanej. Wyznacza go zależność (4):

$$NRWB = \frac{V_{wtł} - V_{sp}}{V_{wtł}} [\%] \quad (4)$$

gdzie:

V_{sp} – objętość wody sprzedanej, [m³/rok].

- wskaźnik strat nieuniknionych - UARL

Wskaźnik ten wyznacza wielkość tzw. strat nieuniknionych, czyli niedużych wycieków, zwykle mniejszych od 0,5 m³/h, które trudno wykryć i zlokalizować. Objętość strat nieuniknionych określana jest na podstawie przyjętych składników:

- dla przewodów magistralnych i rozdzielczych – 18 dm³/km·d·1m H₂O ciśnienia,
- dla przewodów połączeń wodociągowych – 25 dm³/1m połączeń·d·1m H₂O ciśnienia,
- związane z liczbą połączeń wodociągowych – 0,8 dm³/1 połączenie·d·1mH₂O ciśnienia.

Wskaźnik UARL wyznacza zależność (5):

$$UARL = [18 \cdot (M + R) + 25 \cdot PW + 0,8 \cdot L_{pw}] \cdot 0,365 \cdot p [m^3/rok] \quad (5)$$

gdzie:

PW – długość połączeń wodociągowych, [km],

p – średnie ciśnienie w rozpatrywanej strefie pomiarowej, [mH₂O],

$p = 30 \text{ mH}_2\text{O}$,

0,365 – współczynnik przeliczający wartość na rok i m³.

- infrastrukturalny indeks wycieków – ILI

Wielkość ta to stosunek objętości strat wody do strat nieuniknionych. W sposób pośredni pozwala określić stan techniczny sieci wodociągowej na podstawie zakresów oraz kategorii podanych w tabeli 3. Indeks ILI wyraża zależność (6):

$$ILI = \frac{V_{str}}{UARL} [-] \quad (6)$$

Tabela 3. Zakres i kategorie klasyfikacji wskaźnika ILI, na podstawie [6]

Table 3. Coefficient values of ILI, based on [6]

Zakres i kategorie ILI wg IWA	Kategorie ILI	Zakres ILI wg WBI Banding System		Zakres ILI wg AWWA
		Kraje rozwijające się	Kraje rozwinięte	
ILI ≤ 1,5 – stan bardzo dobry	stan bardzo dobry	ILI ≤ 4,0	ILI ≤ 2,0	ILI ≤ 3,0
1,5 < ILI ≤ 2,0 – stan dobry				
2,0 < ILI ≤ 2,5 – stan średni	stan dobry	4,0 < ILI ≤ 8,0	2,0 < ILI ≤ 4,0	3,0 < ILI ≤ 5,0
2,5 < ILI ≤ 3,0 – stan słaby	stan słaby	8,0 < ILI ≤ 16,0	4,0 < ILI ≤ 8,0	5,0 < ILI ≤ 8,0
3,0 < ILI ≤ 3,5 – stan bardzo słaby				
ILI > 3,5 – stan niedopuszczalny	stan niedopuszczalny	ILI > 16,0	ILI > 8,0	ILI > 8,0

W tabeli 4 zestawiono długości sieci wodociągowej w Bieczu aktualnych na 2016 rok.

Tabela 5 ukazuje zestawienie obliczonych dla wodociągu bieckiego wskaźników strat wody w 2016 roku.

Udział strat wody do ilości wody wtłoczonej do sieci wodociągowej, wyrażony wskaźnikiem WS wynosi 14,06%. Wskaźnik objętości wody niesprzedanej występuje na poziomie 16,02%. Starty nieuniknione kształtują się na poziomie 9357,87 m³ rocznie. Wartość ta pozwala na wyznaczenie infrastrukturalnego indeksu wycieków ILI, który wynosi 1,08. Według kategorii i zakresu określonych przez Międzynarodowe Stowarzyszenie Wodne (IWA) dla wskaźnika ILI, można stwierdzić, iż stan sieci wodociągowej jest bardzo dobry, ponieważ wy-

Tabela 4. Zestawienie długości sieci wodociągowej w Bieczu w 2016 roku

Table 4. Summary of the water supply system length in Biecz in 2016

Rok	Długość sieci rozdzielczej R	Długość połączeń wodociągowych PW	Całkowita długość L	Liczba połączeń wodociągowych L _{pw}
	km	km	km	-
2016	14,6	6,456	21,056	538

Tabela 5. Zestawienie wskaźników strat wody w 2016 roku

Table 5. The list of water loss indicators in 2016

Rok	WS	RLB ₁	RLB ₂	NRWB	UARL	ILI
	%	m ³ /km·d	dm ³ /podł.wod.·d	%	m ³ /rok	-
2016	14,06	1,90	51,48	16,02	9357,87	1,08

stępuje na poziomie mniejszym niż 1,5. Przeciętne wartości indeksu ILI w Polsce dla miast wysokorozwiniętych występują w granicach 3,16-16,62 [1]. Według zakresu WBI Banding System otrzymany indeks ILI również ocenia stan sieci wodociągowej jako bardzo dobry, zarówno dla krajów rozwijających się jak i rozwiniętych. Podobny wniosek można wysunąć porównując wartość ILI z wartościami Amerykańskiego Stowarzyszenia Wodnego (AWWA). Należy jednak zauważyć, iż dosyć niski infrastrukturalny indeks wycieków ILI dla Biecza jest związany z wysoką wartością wskaźnika UARL, dla którego przyjęte składniki strat nieuniknionych mogą wydawać się zawyżone w przypadku małych miasteczek, jakim jest Biecz.

4. Jednostkowe wskaźniki strat wody dla systemu bieckiego

Analiza strat wody przedstawiana jest również na podstawie jednostkowych wskaźników ilości wody, które opisują wzory (7)-(11) [7]:

- jednostkowa ilość wody wtłoczonej do sieci

$$q_{wtł} = \frac{V_{wtł} \cdot 1000}{LM \cdot 365} \text{ [dm}^3/\text{M} \cdot \text{d}] \quad (7)$$

- jednostkowa ilość wody sprzedanej ogółem

$$q_{sp} = \frac{V_{sp} \cdot 1000}{LM \cdot 365} \text{ [dm}^3/\text{M} \cdot \text{d}] \quad (8)$$

- jednostkowa ilość wody sprzedana gospodarstwom domowym

$$q_{spgp} = \frac{V_{spgp} \cdot 1000}{LM \cdot 365} \text{ [dm}^3/\text{M} \cdot \text{d}] \quad (9)$$

- jednostkowa ilość strat wody

$$q_{str} = \frac{V_{str} \cdot 1000}{LM \cdot 365} \text{ [dm}^3/\text{M} \cdot \text{d}] \quad (10)$$

- jednostkowa ilość wody niedochodowej

$$q_{nd} = \frac{(V_{wtł} - V_{sp}) \cdot 1000}{LM \cdot 365} \text{ [dm}^3/\text{M} \cdot \text{d}] \quad (11)$$

W tabeli 6. zestawiono jednostkowe wskaźniki ilości wody dla 2016 roku.

Tabela 6. Jednostkowe wskaźniki ilości wody w 2016 roku

Table 6. Specific indicators of the water amount in 2016

Rok	Jednostkowy wskaźnik ilości wody						LM
	q _{wł}	q _{sp}	q _{spgd}	q _{str}	q _{wł}	q _{nd}	
	dm ³ /M·d	dm ³ /M·d	dm ³ /M·d	dm ³ /M·d	dm ³ /M·d	dm ³ /M·d	
2016	91,53	76,86	53,00	12,87	1,80	14,67	2152

Jednostkowa ilość wody wtłoczonej do sieci wynosi 91,53 dm³/M·d, a jednostkowy wskaźnik wody sprzedanej ogółem to 76,86 dm³/M·d, co jest wartością niższą od średniej wartości sprzedaży wody w Polsce. Jednostkowa ilość wody wyznaczona dla gospodarstw domowych w 2016 roku wyniosła 53,00 dm³/M·d, jest to zatem wartość dużo niższa od przeciętnego zapotrzebowania na wodę w Bieczu, wynoszącego 80-100 dm³/M·d [5]. Takie zużycie wody przez gospodarstwa domowe może wynikać z oszczędności, ceny wody lub korzystania z prywatnych studni. Jednostkowa ilość strat wody w badanym roku wyniosła 12,87 dm³/M·d.

Ponadto wyznaczone zostały jednostkowy wskaźnik obciążenia sieci wodociągowej oraz jednostkowy wskaźnik strat wody w odniesieniu do całej długości sieci wodociągowej, obliczone na podstawie wzorów (12)-(15) [7]:

- jednostkowy wskaźnik obciążenia hydraulicznego sieci wodociągowej

$$q_o = \frac{V_{wł}}{L_{M+R} \cdot 365} \text{ [m}^3\text{/km} \cdot \text{d]} \quad (12)$$

- jednostkowy wskaźnik strat wody w odniesieniu do całkowitej długości sieci wodociągowej

$$q_{strL} = \frac{V_{wł}}{L \cdot 365} \text{ [m}^3\text{/km} \cdot \text{d]} \quad (13)$$

$$V'_{str} = V_{str} - UARL \text{ [m}^3\text{/rok]} \quad (14)$$

$$q'_{strL} = \frac{V'_{str}}{L \cdot 365} \text{ [m}^3\text{/km} \cdot \text{d]} \quad (15)$$

Tabela 7 przedstawia wyliczone wskaźniki jednostkowych obciążeń hydraulicznych sieci wodociągowej w Bieczu na rok 2016.

Tabela 7. Zestawienie wskaźników jednostkowych obciążeń hydraulicznych sieci wodociągowej w Bieczu w 2016 roku

Table 7. The list of individual indicators hydraulics loads of water in Biecz in 2016

Rok	q_0	q_{strL}	V'_{str}	q'_{strL}
	$m^3/km \cdot d$	$m^3/km \cdot d$	m^3/rok	$m^3/km \cdot d$
2016	13,49	9,35	752,13	0,10

Według danych zamieszczonych w tabeli 7 jednostkowy wskaźnik obciążeń hydraulicznych w 2016 roku w Bieczu wyniósł 13,49 $m^3/km \cdot d$, natomiast jednostkowy wskaźnik strat wody wyliczony na 1 km całkowitej długości sieci wodociągowej wyniósł 9,35 $m^3/km \cdot d$.

5. Wnioski

Ilość wody wtłoczonej do sieci wodociągowej w Bieczu w latach 2010-2014 ma tendencję spadkową. 2014 rok charakteryzował się najmniejszą ilością wody dostarczonej do sieci, wynoszącą 66,995 tys. m^3/rok , co jest wartością niższą od roku 2010 o prawie 9 tys. m^3/rok . Ostatnie dwa lata przedstawiają nieznaczny wzrost poboru wody. W roku 2016 łącznie została wtłoczona do sieci woda w ilości 71,893 tys. m^3/rok , co w porównaniu z rokiem 2010 daje wartość o 5% mniejszą.

Zużycie wody w latach 2010-2016 ogółem miało charakter malejący. Nastąpił spadek z wartości 64741,00 m^3 w 2010 roku do 60373,00 m^3 w 2016 roku. W roku 2014 sumaryczne zużycie wody było najmniejsze, a wyniosło 54152,00 m^3 , jest to wartość niższa od zużycia z 2010 roku o prawie 12%. Natomiast kolejne dwa lata charakteryzowały się nieznacznym wzrostem zużycia na poziomie 2-3% w każdym roku.

Starty wody w bieckim wodociągu w 2016 roku wyniosły 10110,0 m^3/rok . Analiza strat wody według IWA wykazała, że wartość procentowego wskaźnika strat wody w 2016 roku wynosi 14,06%, wskaźnik objętości wody niesprzedanej występuje na poziomie 16,02%, a starty nieuniknione kształtują się na poziomie 9357,87 m^3 rocznie. Wyznaczony infrastrukturalny indeks wycieków ILI, wynoszący 1,08 pozwala wysunąć wniosek, iż stan sieci wodociągowej w Bieczu według kategorii IWA jest bardzo dobry. Porównując tę wartość z zakresami współczynnika ILI według AWWA i WBI Banding System również dochodzi się do tego samego wniosku. Należy jednak zauważyć, iż dosyć niski infrastrukturalny indeks wycieków ILI dla Biecza jest związany z wysoką wartością wskaźnika UARL, dla którego przyjęte składniki strat nieuniknionych mogą wydawać się zawyżone w przypadku małych miasteczek, jakim jest Biecz.

Jednostkowa ilość wody wtłoczonej do sieci wodociągowej w Bieczu wynosi 91,53 $dm^3/M \cdot d$, a jednostkowy wskaźnik wody sprzedanej ogółem to 76,86 $dm^3/M \cdot d$, co jest wartością niższą od średniej wartości sprzedaży wody

w Polsce. Jednostkowa ilość wody wyznaczona dla gospodarstw domowych w 2016 roku wyniosła 53,00 dm³/M·d, jest to zatem wartość dużo niższa od przeciętnego zapotrzebowania na wodę w Bieczu, wynoszącego 80-100 dm³/M·d. Takie zużycie wody przez gospodarstwa domowe może wynikać z oszczędności, ceny wody lub korzystania z prywatnych studni. Jednostkowa ilość strat wody w badanym roku wyniosła 12,87 dm³/M·d.

Literatura

- [1] Dohnalik P.: Straty wody w miejskich sieciach wodociągowych, Wydawnictwo Polskiej Fundacji Ochrony Zasobów Wodnych, Bydgoszcz 2000.
- [2] Hotłoś H.: Analiza strat wody w systemach wodociągowych, Ochrona Środowiska, nr 1, 2003, s. 17-24.
- [3] Główny Urząd Statystyczny: Powierzchnia i ludność w przekroju terytorialnym w 2016r., Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa 2016.
- [4] Jareniowski J.: Operat wodnoprawny na szczegółowe korzystanie wody obejmujące pobór wody z komunalnych ujęć wód podziemnych na potrzeby wodociągu miejskiego przez Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej w Bieczu Sp. z o.o., Jasło 2015.
- [5] Materiały z Miejskiego Przedsiębiorstwa Gospodarki Komunalnej w Bieczu, Sp. z o.o.
- [6] Pietrucha-Urbanik K., Studziński A.: Analiza strat wody wodociągu krośnieńskiego, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 10, 2012, s. 452-454.
- [7] Rak J., Sypień Ł.: Analiza strat wody w wodociągu miasta Jasła, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA, t. XXX, z. 60 (3/13), lipiec-wrzesień 2013, s. 5-18, DOI:10.7862/rb.2013.33.
- [8] Rak J., Tchórzewska-Cieślak B., Studziński A., Pietrucha-Urbanik K., Boryczko K.: Niezawodność i bezpieczeństwo systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2012.
- [9] Studziński A., Pietrucha-Urbanik K., Mędrala A.: Analiza strat wody oraz awaryjności w wybranych systemach zaopatrzenia w wodę, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA; 2014 z. 61, nr 4, s. 193-201; DOI:10.7862/rb.2014.137.

ANALYSIS OF THE WATER LOSSES IN THE BIECZ CITY

Summary

Water companies should carry out a water loss analysis, which greatly facilitates rehabilitation or renovation actions, contributing to reducing the costs associated with the production and distribution of water. The work includes the analysis of water consumption and water loss for Biecz, prepared on the basis of materials from the Municipal Enterprise of Municipal Utility in Biecz. The production and sale of tap water in 2010-2016 is presented. The basic water loss indicators have been calculated, referenced to the indicators proposed by the International Water Association (IWA). Namely, the percentages indicator of water loss (WS), real

indicator of losses (RLB), volume index of unprofitable water (NRWB), loss index unavoidable (UARL) and infrastructure leakage index (ILI) were determined. The ILI value has been compared to the range and water supply network rating by IWA, American Water Association (AWWA) and WBI Banding System for developing and developed countries. Water loss analysis was also done on the basis of unit water indicators, which are: unit water quantity injected into the grid, unit quantity of water sold in total, unit quantity of water sold to households, Profit water. In addition, the unit load index of the water supply network and the unit of water loss index for the entire length of the water supply network were determined.

Keywords: water supply system, water supply network, water consumption, water loss

Przesłano do redakcji: 22.10.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Bartosz CHWIEDUK¹

PORÓWNANIE MODELI PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO

W artykule porównano wyniki obliczeń napromieniowania słonecznego na powierzchnię skierowaną w różnych kierunkach oraz pochylonych pod różnym kątem. Do obliczeń wykorzystano dane meteorologiczne zaczerpnięte z kilku stacji pogodowych zlokalizowanych w Warszawie, Suwałkach, Gdańsku i Kołobrzegu. Dane napromieniowania na powierzchnię poziomą zostały zaczerpnięte ze strony internetowej www.meteonorm.com. W pierwszej kolejności przedstawiono porównywane modele promieniowania słonecznego. Wskazano jakiego rodzaju promieniowanie słoneczne jest uwzględniane w poszczególnych modelach. W następnym kroku porównano wartości napromieniowania dla powierzchni skierowanej na południe i pochylonej pod kątem 45° względem horyzontu w czterech uwzględnionych miejscowościach. Wskazano różnice w wynikach obliczeń przeprowadzonych obydwoma modelami i opisano z czego one wynikają. Kolejnym etapem analizy było wyznaczenie odpowiednich usytuowań powierzchni maksymalizując zyski energetyczne w przeciągu całego roku, w okresie letnim oraz zimowym. Na koniec porównano napromieniowanie na powierzchni pochylone pod kątem 45° zorientowane w cztery strony świata i wyciągnięto odpowiednie wnioski. Wskazano jakie orientacje i pochylenie powierzchni czołowych odbiorników energii promieniowania słonecznego są najbardziej zalecane ze względu na uzyskiwanie największych zysków energetycznych od promieniowania słonecznego.

Słowa kluczowe: promieniowanie słoneczne, modele promieniowania słonecznego dyfuzyjnego, napromieniowanie różnie usytuowanych powierzchni w Polsce

1. Wstęp

W nowoczesnym budownictwie jednorodzinym duży wpływ na usytuowanie oraz orientację budynku ma dostępność promieniowania słonecznego. W przypadku dobrze zaplanowanego i przemyślanego rozmieszczenia pomieszczeń oraz przegród przeszklonych znacząco można zwiększyć zyski energetyczne od promieniowania słonecznego, a także skrócić czas trwania okresu ogrzewczego. W przypadku urządzeń korzystających z energii promieniowania słonecznego do wytwarzania energii cieplnej, bądź elektrycznej odpowiednie zorientowanie

¹ Bartosz Chwieduk, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Katedra Podstaw Inżynierii, Zakład Podstaw Nauk Technicznych, ul. Nowoursynowska 164, 02-787 Warszawa; tel. 606325523

oraz pochylenie dachu budynku gwarantuje znaczne zmniejszenie zapotrzebowania na energię do przygotowania ciepłej wody użytkowej lub zmniejszenie poboru energii elektrycznej z sieci elektroenergetycznej. Stosując moduły fotowoltaiczne zintegrowane z dachem budynku zyski czerpać można także ze sprzedaży wyprodukowanej energii z systemu fotowoltaicznego. Istnieją także urządzenia wytwarzające jednocześnie energię cieplną, jak i elektryczną korzystając z energii promieniowania słonecznego tzw. moduły PVT (photovoltaic thermal).

Dokładne wyznaczenie zysków energetycznych od promieniowania słonecznego gwarantuje opłacalność inwestycji, np. w kolektory słoneczne lub moduły fotowoltaiczne, bądź prawidłowe oszacowanie czasu zwrotu instalacji. W zależności od preferencji i wymagań przyszłych mieszkańców zorientowanie i pochylenie dachu budynku może się wyraźnie różnić.

W artykule przeprowadzono analizę zysków energetycznych od promieniowania słonecznego dla kilku miejscowości w Polsce wykorzystując dane meteorologiczne programu Meteonorm [8]. Stacje meteorologiczne, z których pochodzą dane do obliczeń zlokalizowane są w: Gdańsku, Kołobrzegu, Suwałkach i Warszawie. Analiza porównawcza dotyczy dwóch modeli promieniowania słonecznego najczęściej wykorzystywanych do wyznaczania zysków energetycznych instalacji słonecznych i rozwiązań pasywnych budynku.

2. Model izotropowy promieniowania słonecznego

Pierwszy z modeli to model izotropowy promieniowania słonecznego, drugi jest modelem anizotropowym uwzględniającym więcej składowych promieniowania dyfuzyjnego (rys. 1.). Wg modelu izotropowego Liu-Jordana [3] godzinowe całkowite promieniowanie słoneczne padające na dowolnie pochyloną powierzchnię I_c zależy od następujących składowych promieniowania: bezpośredniego I_b , rozproszonego I_d oraz odbitego. Składowa promieniowania odbitego zależna jest od promieniowania całkowitego padającego na powierzchnię poziomą. Aby uzyskać wartość promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię dowolnie pochyloną każda z wyżej wymienionych składowych promieniowania słonecznego jest korygowana odpowiednim współczynnikiem. Zależność opisująca wartość godzinową promieniowania słonecznego prezentuje się następująco:

$$I_c(t) = I_b(t)R_b(t) + I_d(t)R_d + (I_b(t) + I_d(t))\rho_r R_r \quad (1)$$

gdzie:

I_b – godzinowe napromieniowanie bezpośrednie powierzchni poziomej [Wh/m^2],

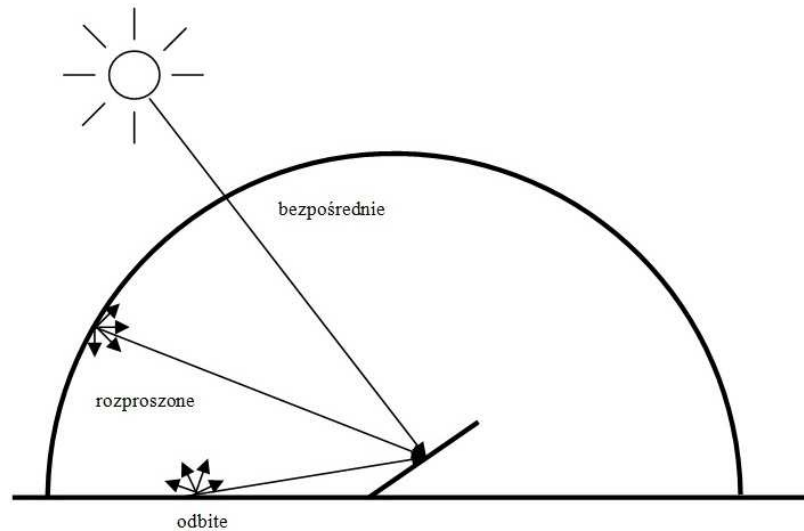
I_d – godzinowe napromieniowanie rozproszone powierzchni poziomej [Wh/m^2],

ρ_r – refleksyjność podłoża,

R_b – współczynnik korekcyjny dla promieniowania bezpośredniego,

R_d – współczynnik korekcyjny dla promieniowania rozproszonego,

R_r – współczynnik korekcyjny dla promieniowania odbitego.



Rys. 1. Składowe promieniowania słonecznego w modelu izotropowym

Fig. 1. Components of solar radiation in an isotropic model

Za pomocą współczynników korekcyjnych wyznaczyć można składowe promieniowania słonecznego padającego na dowolnie usytuowaną powierzchnię. Współczynniki R_d i R_r korygujące odpowiednio promieniowanie rozproszone oraz promieniowanie odbite zależne są jedynie od pochylenia rozpatrywanej powierzchni względem horyzontu [3]. Są one opisane następującymi równaniami:

$$R_d = \frac{1 + \cos\beta}{2} \quad (2)$$

$$R_r = \frac{1 - \cos\beta}{2} \quad (3)$$

W przypadku, gdy mamy do czynienia z powierzchnią poziomą współczynnik R_r równy jest 0, co oznacza, że do danej powierzchni nie dociera promieniowanie odbite od gruntu. Współczynnik korekcyjny promieniowania rozproszonego R_d jest wtedy równy 1. Współczynnik R_b uzależnia bezpośrednio promieniowanie słoneczne na powierzchnię dowolnie pochyloną skierowaną od promieniowania bezpośredniego na powierzchnię poziomą I_b . Współczynnik ten jest funkcją kąta padania promieniowania na daną powierzchnię np. kolektora słonecznego ($\theta_\beta = 0$ - kierunek normalny do płaszczyzny) oraz kąta padania promieniowania na powierzchnię poziomą θ_z .

$$R_b = \frac{\cos\theta_\beta}{\cos\theta_z} \quad (4)$$

gdzie $\cos\theta_\beta$ opisany jest zależnością:

$$\begin{aligned} \cos\theta_\beta = \sin\delta\sin\phi\cos\beta - \sin\delta\cos\phi\sin\beta\cos\gamma + \cos\delta\cos\phi\cos\beta\cos\omega + \\ + \cos\delta\sin\phi\sin\beta\cos\gamma\cos\omega + \cos\delta\sin\beta\sin\gamma\sin\omega \end{aligned} \quad (5)$$

a $\cos\theta_z$ to:

$$\cos\theta_z = \cos\phi\cos\delta\cos\omega + \sin\phi\sin\delta \quad (6)$$

Współczynnik R_b bezpośrednio zależy od:
 δ – deklinacji Słońca [°]

$$\delta = 23,45 \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right) [^\circ] \quad (7)$$

ϕ – szerokości geograficznej [°],
 β – pochylenia odbiornika względem horyzontu [°],
 γ – azymutu odbiornika [°],
 ω – kąta godzinowego [°],

$$\omega = 15(\tau_{s\text{lon}} - 12^{00}) \quad (8)$$

$\tau_{s\text{lon}}$ – czas słoneczny [h] - jest czasem, w którym stacje aktynometryczne dokonują pomiarów promieniowania słonecznego i wysokości Słońca; czas słoneczny wyznacza się z zależności:

$$\tau_{s\text{lon}} = E + \tau_{str} + 4(L_{st} - L_{lok}) \quad (9)$$

$$\begin{aligned} E = 229,2[0,000075 + 0,001868\cos B - 0,032077\sin B - \\ - 0,014615 \cos(2B) - 0,04089 \sin(2B)] \end{aligned} \quad (10)$$

$$B = (n - 1)360/365 [^\circ] \quad (11)$$

E – równanie czasu,
 τ_{str} – czas strefowy [h],
 L_{lok} – lokalny południk [°],
 L_{st} – południk strefowy [°],
 n – kolejny dzień roku.

3. Model anizotropowy promieniowania słonecznego

Model izotropowy promieniowania słonecznego przyjmuje, że promieniowanie rozproszone dociera do powierzchni dowolnie skierowanej w sposób równomierny z całej półsfery niebieskiej (rys. 2.). Aby móc dokładniej określać natężenie promieniowania słonecznego i uwzględnić jego częściową kierunkowość rozchodzenia się w atmosferze w latach 90-tych XX wieku stworzony został anizotropowy model promieniowania słonecznego. Model Haya i Daviesa [4] oprócz izotropowego promieniowania rozproszonego uwzględnia także promieniowanie okołosłoneczne ukierunkowane. Do wzoru na całkowite godzinne promieniowanie padające na dowolnie pochyloną powierzchnię I_c wprowadzono indeks anizotropowości promieniowania rozproszonego A_i . Jest to stosunek promieniowania bezpośredniego na powierzchni ziemi i promieniowania na zewnętrznej warstwie atmosfery, zależny od pochodnej stałej słonecznej G_{sc} . Model izotropowy promieniowania słonecznego przyjmuje, że promieniowanie rozproszone dociera do powierzchni dowolnie skierowanej w sposób równomierny z całej półsfery niebieskiej. Aby móc dokładniej określać natężenie promieniowania słonecznego i uwzględnić jego częściową kierunkowość rozchodzenia się w atmosferze w latach 90-tych XX wieku stworzony został anizotropowy model promieniowania słonecznego. Model Haya i Daviesa [4] oprócz izotropowego promieniowania rozproszonego uwzględnia także promieniowanie okołosłoneczne ukierunkowane. Do wzoru na całkowite godzinne promieniowanie padające na dowolnie pochyloną powierzchnię I_c wprowadzono indeks anizotropowości promieniowania rozproszonego A_i . Jest to stosunek promieniowania bezpośredniego na powierzchni ziemi i promieniowania na zewnętrznej warstwie atmosfery, zależny od pochodnej stałej słonecznej G_{sc} .

$$A_i(t) = \frac{I_b(t)}{I_o(t)} = \frac{I_b(t)}{I_{sc}(t) \left(1 + 0,033 \cos \frac{360n(t)}{365}\right) (\sin(\delta(t)) \sin(\phi) + \cos(\delta(t)) \cos(\phi) \cos(\omega(t)))} \quad (12)$$

Indeks A_i równe zero oznacza, że do powierzchni ziemi nie dociera promieniowanie bezpośrednie. W przypadku wysokiego udziału promieniowania bezpośredniego w promieniowaniu rozproszonym przeważa promieniowanie okołosłoneczne ukierunkowane.

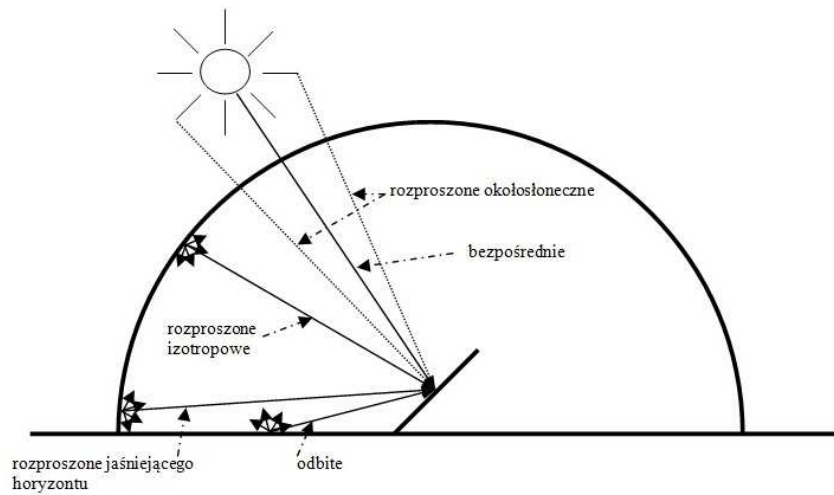
Drugim rodzajem promieniowania rozproszonego, jakie nie uwzględnia model izotropowy Liu-Jordana, jest promieniowanie jaśniejącego horyzontu, które rośnie wraz ze wzrostem pochylenia powierzchni, na którą pada promieniowanie słoneczne [7]. Współczynnik korekcji promieniowania jaśniejącego horyzontu $R_{d,hz}$ wprowadzony został do modelu Haya i Davisa przez Reindla [6].

$$R_{d,hz} = 1 + \sin^3\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad (13)$$

Ostatnią z modyfikacji, którą wprowadził do modelu anizotropowego promieniowania słonecznego Klucher na początku lat 90-tych jest wskaźnik stopnia zachmurzenia f zależący od promieniowania bezpośredniego i całkowitego docierającego do powierzchni poziomej[5].

$$f(t) = \sqrt{\frac{I_b(t)}{I_b(t)+I_d(t)}} \quad (14)$$

W przypadku braku promieniowania bezpośredniego do powierzchni ziemi dociera jedynie promieniowanie rozproszone, a wskaźnik f jest równy 0.



Rys. 2. Składowe promieniowania słonecznego w modelu anizotropowym

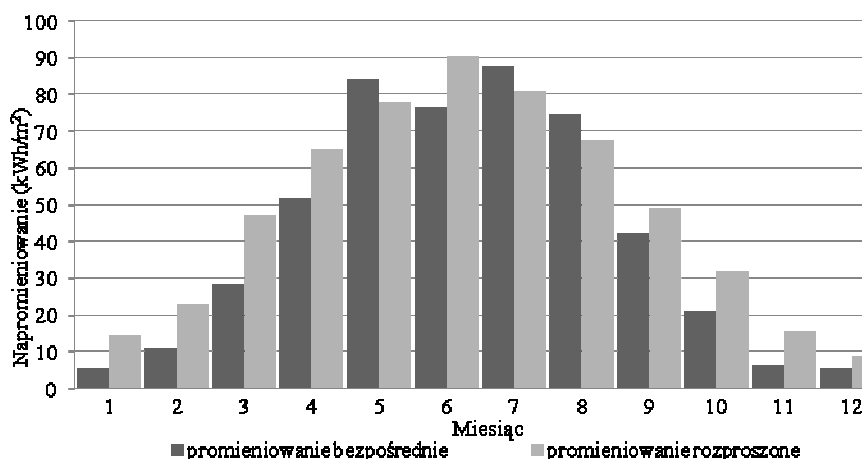
Fig. 2. Components of solar radiation in an anisotropic model

Po wprowadzeniu tych modyfikacji do modelu izotropowego promieniowania słonecznego stworzony został model HDKR (Hay, Davies, Klucher, Reindl) [6] wyrażany następującą zależnością:

$$I_s(t) = (I_b(t) + I_d(t)A_i(t))R_b(t) + I_d(t)(1 - A_i(t))(R_d) \left[1 + f(t) \sin^3 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right] + (I_b(t) + I_d(t))\rho_g(R_o) \quad (15)$$

4. Obliczenia dla powierzchni skierowanych na południe i pochylonych pod kątem 45°

Obliczenia napromieniowania słonecznego powierzchni skierowanych na południe i pochylonych pod kątem 45° przeprowadzono z godzinowym krokiem czasowym dla kilku miejscowości na terenie Polski. Dane meteorologiczne napromieniowania całkowitego i rozproszonego pochodzą z bazy programu Meteornorm i odnoszą się do stacji pogodowych znajdujących się w Warszawie, Gdańsku, Kołobrzegu i Suwałkach. Na potrzeby obliczeń w pierwszej kolejności wyznaczono napromieniowanie bezpośrednie na powierzchnię poziomą I_b , które jest różnicą napromieniowania całkowitego i rozproszonego (promieniowanie całkowite i rozproszone jest mierzone przez stacje meteorologiczne i podawane jako dane pomiarowe).

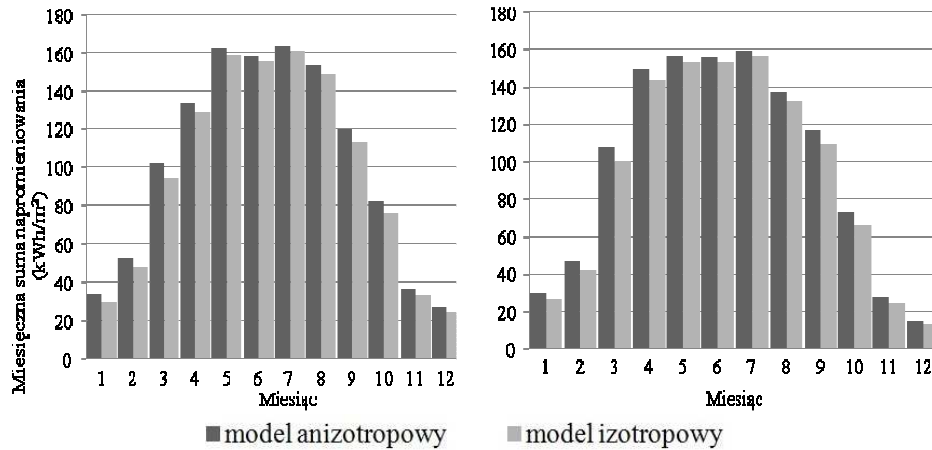


Rys. 3. Miesięczne sumy napromieniowania bezpośredniego i rozproszonego na powierzchnię poziomą dla Warszawy

Fig. 3. Monthly sums of direct and diffused radiation to the horizontal surface for Warsaw

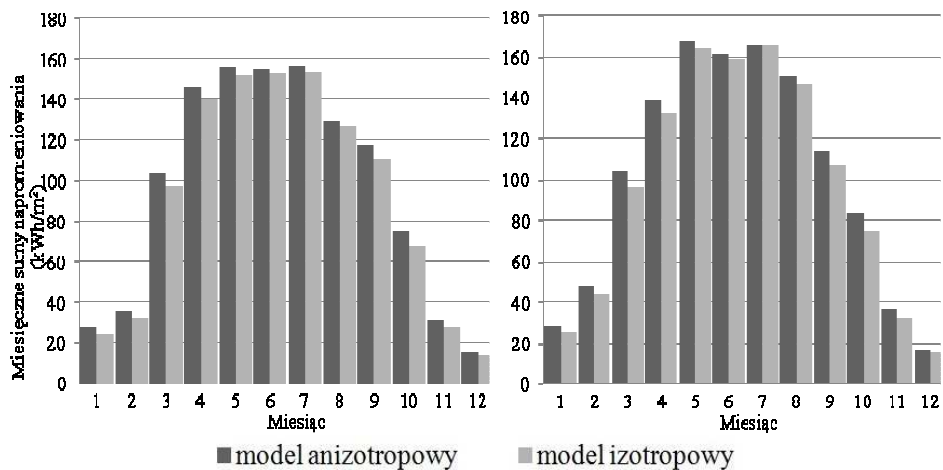
Na podstawie równań zamieszczonych w poprzednich rozdziałach (1)-(15) wyznaczono godzinowe napromieniowanie I_s i I_c w kolejnych godzinach roku dla różnie zorientowanych powierzchni.

W pierwszym kroku porównano zyski energetyczne dla powierzchni pochylonej pod kątem 45° skierowanej na południe. Rysunki 3-6 prezentują miesięczne sumy napromieniowania dla wybranych miejscowości.



Rys. 4-5. Miesięczne sumy napromieniowania na powierzchnię skierowaną na południe pochyloną pod kątem 45° dla Warszawy (4) i Suwałk (5)

Fig. 4-5. Monthly sums of the irradiation values for the south facing surface inclined at the 45° for Warsaw (4) and Suwałki (5)



Rys. 6-7. Miesięczne sumy napromieniowania na powierzchnię skierowaną na południe pochyloną pod kątem 45° dla Gdańska (6) i Kołobrzegu (7)

Fig. 6-7. Monthly sums of the irradiation values for the south facing surface inclined at the 45° for Gdańsk (6) and Kołobrzeg (7)

Z obliczeń wyraźnie wynika, że sumaryczne miesięczne napromieniowanie słoneczne powierzchni południowych wyznaczane przy użyciu modelu anizotropowego jest wyższe niż przy użyciu modelu izotropowego [1, 2]. W przypadku Warszawy całkowite roczne napromieniowanie słoneczne na powierzchnię pochyloną pod kątem 45° skierowaną na południe to 1226,7 kWh/m² dla modelu

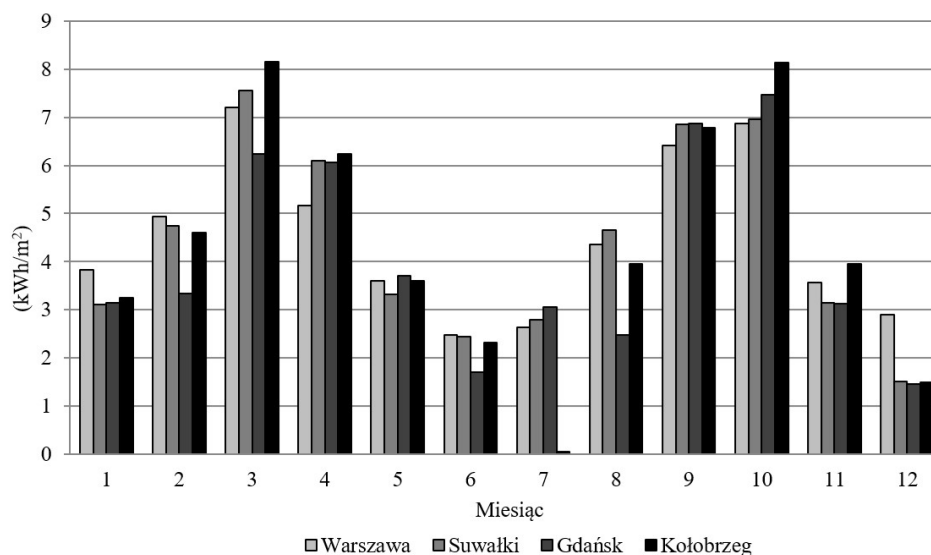
anizotropowego oraz 1172,7 kWh/m² dla modelu izotropowego. Różnica w wynikach tych obliczeń odniesiona do modelu izotropowego to 4,6%. Roczne zestawienie wyników obliczeń nie oddaje całości obrazu. W przypadku miesięcy zimowych różnica pomiędzy wynikami jest wyraźniejsza i sięga do 12,8% w styczniu. W miesiącach letnich, gdy napromieniowanie na daną powierzchnię jest wysokie oba modele dają zbliżone wyniki. Wartości uzyskane przy zastosowaniu modelu anizotropowego są od 1,6 do 3% wyższe.

Całkowite roczne napromieniowanie w Suwałkach wynosi 1176,4 kWh/m² dla modelu anizotropowego i 1123,2 kWh/m² w przypadku użycia do obliczeń modelu izotropowego. W porównaniu do napromieniowania występującego w Warszawie jest ono nieznacznie niższe. Procentowa różnica pomiędzy oboma modelami wynosi 4,7%. Tak, jak przy obliczeniach przeprowadzonych dla danych meteorologicznych ze stacji zlokalizowanej w Warszawie, wyniki obu modeli w miesiącach letnich są zbliżone, jednak w miesiącach zimowych i przejściowych różnica wynosi ponad 10%.

Całkowite roczne napromieniowanie w Gdańsku na powierzchnię skierowaną na południe pochyloną pod kątem 45° jest najmniejsze spośród rozważanych lokalizacji. Wg modelu anizotropowego wynosi ono 1146,8 kWh/m², a dla modelu izotropowego 1098,2 kWh/m². W tym przypadku oznacza to 4,4% różnicy. Tak, jak i w przypadku Warszawy największa różnica napromieniowania w obydwu modelach występuje w styczniu i wynosi 13%.

Całkowite wartości napromieniowania słonecznego w Kołobrzegu są bardzo zbliżone do wartości obliczonych dla Warszawy i wynoszą 1215,2 kWh/m² dla modelu anizotropowego oraz 1162,6 kWh/m² dla izotropowego. Tak, jak i we wszystkich poprzednio rozważanych przypadkach, sumaryczna wartość napromieniowania słonecznego dla modelu anizotropowego jest wyższa niż dla modelu izotropowego. Różnica wynosi około 4,5%. Największa różnica w wynikach występuje w listopadzie i jest na poziomie 12%. W miesiącach letnich natomiast wyniki obliczeń są bardzo zbliżone. Ich różnica to około 2%.

Na rysunku 8 przedstawiono bezwzględne różnice w napromieniowaniu na daną powierzchnię dla rozpatrywanych lokalizacji. We wszystkich przypadkach wyższe sumy napromieniowania dawały wyniki obliczeń modelem anizotropowym.



Rys. 8. Bezwzględne różnice napromieniowania w kolejnych miesiącach roku między modelem anizotropowym, a izotropowym

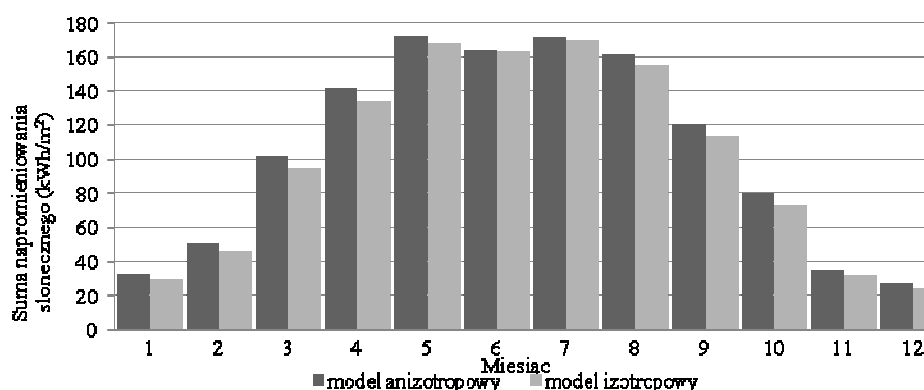
Fig. 8. Absolute irradiation differences between an anisotropic and isotropic model in successive months of the year

Na podstawie zaprezentowanych wyników obliczeń można zauważyć, że najmniejsze różnice procentowe, jak i bezwzględne pomiędzy dwoma rozpatrywanymi modelami występują w miesiącach letnich od maja do sierpnia. Największe bezwzględne różnice można zaobserwować w miesiącach przejściowych. Jeżeli jednak odniesiemy poziom napromieniowania na daną powierzchnię w kolejnych miesiącach do rozważanych modeli to okazuje się, że procentowo wyniki obliczeń najbardziej odbiegają od siebie w miesiącach zimowych. Małe różnice w rezultatach obliczeń dla obydwu modeli uzyskiwane w okresie letnim wynikają z tego, że powierzchnia skierowana na południe i pochylona pod kątem 45° nie przez cały dzień "widzi" bezpośrednio tarczę słoneczną. W godzinach porannych i wieczornych do rozpatrywanej powierzchni dociera jedynie promieniowanie rozproszone. W okresie zimowym natomiast powodem występowania małych różnic w obliczeniach jest mała dostępność promieniowania bezpośredniego. Wpływ promieniowania rozproszonego okołosłonecznego na wyniki obliczeń modelem anizotropowym jest znikomy.

5. Optymalne usytuowanie rozpatrywanej powierzchni odbiornika pod względem jej maksymalnego napromieniowania słonecznego

Dla danych meteorologicznych ze stacji pogodowej zlokalizowanej w Warszawie wyznaczono optymalne usytuowanie powierzchni odbiornika energii promieniowania słonecznego. Wyróżnione zostały trzy przypadki. W pierwszym optymalizacja dotyczy rocznej sumy napromieniowania na powierzchnię dowolnie skierowaną. Drugi i trzeci rodzaj optymalizacji dotyczy okresów letniego oraz zimowego.

Optymalne usytuowanie powierzchni ze względu na roczne zyski energetyczne to dla modelu izotropowego, jak i anizotropowego odpowiada orientacji między kierunkiem południowym, a południowo-zachodnim. Powierzchnia powinna zostać obrócona o 28° od południa w stronę zachodu, w przypadku zastosowania modelu anizotropowego oraz o 19° stosując model izotropowy. Wg modelu izotropowego optymalne pochylenie powierzchni ze względu na sumaryczne roczne napromieniowanie to 34° natomiast, gdy do obliczeń użyjemy modelu anizotropowego optymalne pochylenie to 39° . Różnice te wynikają z uwzględniania przez model izotropowy jedynie promieniowania rozproszonego izotropowego. Na ilość docierającego do powierzchni napromieniowania rozproszonego ma wpływ także promieniowanie rozproszone okołosłoneczne i jaśniejącego horyzontu. Większy kąt pochylenia powierzchni wyznaczony modelem anizotropowym wynika ze względnie dużego współczynnika anizotropowości promieniowania słonecznego A_i . Całkowite zyski od promieniowania słonecznego w przypadku optymalnego ustawienia powierzchni odbiornika to odpowiednio $1202,5 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$ dla modelu izotropowego i $1257,5 \text{ kWh/m}^2\text{rok}$ dla anizotropowego. Na rysunku 9 przedstawiono miesięczne napromieniowanie słoneczne na optymalnie zorientowaną powierzchnię dla Warszawy.

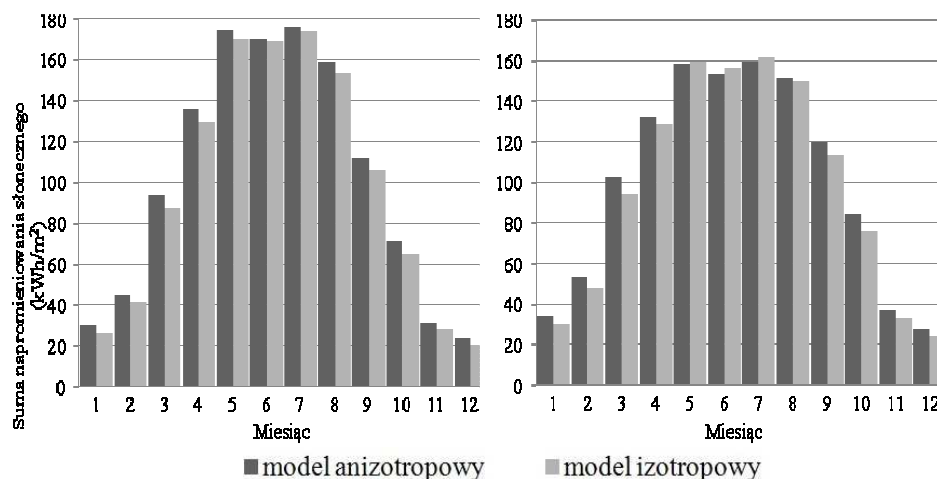


Rys.9. Miesięczne napromieniowanie na powierzchnię optymalnie zorientowaną dla modelu izotropowego i anizotropowego

Fig. 9. Monthly irradiation on the optimally oriented surface for isotropic and anisotropic models

W zależności od potrzeb i oczekiwań projektantów budynku i instalacji słonecznych, a także mieszkańców możliwa jest maksymalizacja zysków energetycznych od promieniowania słonecznego w okresie letnim albo zimowym. Dla okresu letniego optymalne pochylenie płaszczyzny będzie mniejsze ponieważ droga Słońca jest dłuższa niż w pozostałych okresach roku, powierzchnia o małym pochyleniu dłużej będzie "widzieć" Słońce, a Słońce w zenicie znajduje się najwyżej nad horyzontem. Miesiące, w których występują największe sumy napromieniowania to maj, czerwiec i lipiec. Pod kątem tych trzech miesięcy optymalizowano skierowanie i pochylenie powierzchni. Wg obliczeń przeprowadzonych modelem izotropowym powierzchnia odbiornika promieniowania słonecznego powinna zostać odchylna od kierunku południowego o 35° w stronę zachodu. Optymalne pochylenie powierzchni to 18° . Używając do obliczeń modelu anizotropowego promieniowania słonecznego optymalnym rozwiązaniem jest skierowanie rozpatrywanej powierzchni jeszcze bardziej w stronę zachodu. Powierzchnia ta powinna zostać przesunięta od południa w stronę zachodu o 36° . Pochylenie odbiornika względem horyzontu powinno wynosić 22° . Całkowite natężenie promieniowania słonecznego dla 3 rozważanych miesięcy to 521 kWh/m^2 i $513,6 \text{ kWh/m}^2$ w zależności od wybranego modelu. Jest to około 43% całkowitego rocznego napromieniowania. Roczne napromieniowanie jest o około 30 kWh/m^2 niższe niż w przypadku optymalizacji całorocznej i wynosi $1222,6 \text{ kWh/m}^2$ dla modelu anizotropowego oraz $1171,7 \text{ kWh/m}^2$ w przypadku zastosowania modelu izotropowego.

Trzecim optymalizowanym okresem była zima. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że najniższe napromieniowanie występuje w miesiącach: listopad, grudzień i styczeń. Pod kątem tych miesięcy optymalizowano orientację powierzchni. Optymalne zorientowanie powierzchni dla obu modeli jest bardzo zbliżone. Wg obliczeń napromieniowana powierzchnia powinna zostać skierowana na południe, jeżeli korzystamy z modelu anizotropowego. Natomiast dla modelu izotropowego odchylenie powierzchni powinno wynosić 1° w stronę zachodu. Analogicznie do optymalizacji całorocznej, pochylenie odbiornika energii promieniowania słonecznego jest większe dla modelu anizotropowego i wynosi dla rozpatrywanego okresu zimowego 51° . Przy zastosowaniu modelu izotropowego wartość optymalna to 44° . Całoroczne napromieniowanie wynosi wtedy $1176,3 \text{ kWh/m}^2$ dla modelu izotropowego oraz $1212,8 \text{ kWh/m}^2$ dla modelu anizotropowego. Na rysunkach 10 i 11 zaprezentowano sumy miesięczne napromieniowania na powierzchnię dobraną, tak aby energia promieniowania słonecznego była największa odpowiednio dla okresu letniego i zimowego.



Rys. 10-11. Miesięczne napromieniowanie na powierzchnię optymalnie zorientowaną dla modelu izotropowego i anizotropowego (po lewej stronie dla powierzchni optymalizowanej pod kątem maksymalizacji zysków słonecznych w okresie letnim) (po prawej stronie dla powierzchni optymalizowanej pod kątem maksymalizacji zysków słonecznych w okresie zimowym)

Fig. 10-11. Monthly irradiation on the optimally orientated surface for the isotropic and anisotropic model (for maximizing solar gains during the summer season on the left) (for maximizing solar gains during the winter season on the right)

Jak wynika z obliczeń w przypadku optymalizacji całorocznego napromieniowania słonecznego, jak i dla miesięcy letnich, we wszystkich miesiącach napromieniowanie wyznaczone modelem anizotropowym daje wyższe wartości od modelu izotropowego. W miesiącach letnich w ostatnim rozważanym przypadku, gdy zyski słoneczne optymalizowane są dla miesięcy zimowych model izotropowy daje wyższe wyniki niż model anizotropowy. Jest to rezultatem różnicy w pochyleniu optymalizowanej powierzchni. Pochylenie optymalnej powierzchni wyznaczonej modelem anizotropowym jest o kilka stopni większe niż to obliczone modelem izotropowym. Przy większym pochyleniu powierzchnia "widzi" mniej nieboskłonu.

6. Porównanie napromieniowania na powierzchnię pochyloną pod kątem 45° skierowaną na wschód, południe, zachód i północ

W poniższym rozdziale zaprezentowano wyniki obliczeń dla Warszawy dla powierzchni zorientowanej w czterech różnych podstawowych kierunkach: wschodnim, południowym, zachodnim i północnym. W tabelach 1-4 przedstawiono godzinowe napromieniowanie dla wybranych reprezentatywnych dni miesiąca.

I_c – napromieniowanie słoneczne na rozpatrywaną powierzchnię wyznaczone przy użyciu modelu izotropowego promieniowania słonecznego,

I_s – napromieniowanie słoneczne na rozpatrywaną powierzchnię wyznaczone przy użyciu modelu anizotropowego promieniowania słonecznego.

W tabelach wyróżniono komórki, w których jeden z modeli daje wyraźnie wyższe wyniki.

Tab. 1. Godzinowe wartości napromieniowania na powierzchnię pochyloną pod kątem 45° zorientowaną na wschód, południe, zachód i północ 17 stycznia

Tab. 1. Hourly irradiation values on a 45° inclined surface oriented east, south, west and north on January 17

Kierunek Godzina	Wschód		Południe		Zachód		Północ	
	I_c (W/m ²)	I_s (W/m ²)	I_c (W/m ²)	I_s (W/m ²)	I_c (W/m ²)	I_s (W/m ²)	I_c (W/m ²)	I_s (W/m ²)
8	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
9	15,29	15,29	15,29	15,29	15,29	15,29	15,29	15,29
10	37,03	37,14	37,13	37,26	36,83	36,92	36,83	36,92
11	53,69	53,81	53,87	54,02	53,59	53,70	53,57	53,67
12	60,50	60,62	60,75	60,91	60,53	60,66	60,45	60,56
13	60,18	60,32	60,78	61,04	60,48	60,68	60,18	60,32
14	89,27	63,37	362,87	435,19	326,20	385,35	89,27	63,37
15	64,87	49,18	175,57	219,93	175,57	219,93	64,87	49,18
16	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22
Suma (W/m ²)	391,33	350,23	776,75	894,13	738,99	843,02	390,95	349,80

Wyniki przeprowadzonych obliczeń dla dnia 17 stycznia pokazują, że model anizotropowy promieniowania słonecznego daje dla powierzchni skierowanej na wschód nieznacznie wyższe wyniki w godzinach porannych. Model anizotropowy uwzględnia promieniowanie rozproszone okołosłoneczne zależne od ilości promieniowania bezpośredniego docierającego do rozpatrywanej powierzchni. Powierzchnia pochylona pod kątem 45° i skierowana na wschód "widzi" bezpośrednio tarczę słoneczną do około godziny 13. Model izotropowy promieniowania rozproszonego nie uwzględnia kierunkowości promieniowania rozproszonego przez co wyniki obliczeń uzyskane tą metodą dają niższe wartości (do godziny 13). Jak wynika z równania 12, gdy na powierzchnię odbiornika nie pada promieniowanie bezpośrednie współczynnik anizotropowości A_i jest równy 0. W godzinach popołudniowych, natężenie promieniowania bezpośredniego jest bowiem wyższe niż w przedpołudniowych co model anizotropowy uwzględnia w składowej okołosłonecznej, dając wyższe wartości promieniowania dla tych powierzchni, które o tej porze dnia widzą "tarczę słoneczną", czyli południową i zachodnią.

Dla powierzchni skierowanej na południe model anizotropowy daje wyniki wyższe bądź równe tym wyznaczonym modelem izotropowym. Powierzchnia południowa przez cały dzień (od wschodu do zachodu) "widzi" tarczę słoneczną.

W godzinach popołudniowych 14-15 wartości wyznaczone za pomocą modelu anizotropowego są wyraźnie wyższe od obliczonych przy wykorzystaniu modelu izotropowego. Różnica w wynikach jest także spowodowana występowaniem promieniowania jaśniejszego horyzontu, które nie jest uwzględnione w modelu izotropowym. W godzinach porannych wpływ tego promieniowania może być niwelowany niższym wskaźnikiem stopnia zachmurzenia.

W przypadku powierzchni skierowanej na zachód wartości napromienienia są nieznacznie niższe od tych wyznaczonych dla powierzchni południowej. Także tutaj widać wyraźnie wpływ promieniowania rozproszonego około-słonecznego na wyniki obliczeń. W godzinach, gdy na powierzchnię pochyloną pod kątem 45° i skierowaną na zachód pada promieniowanie bezpośrednie, współczynnik anizotropowości jest większy od 0, a model anizotropowy promieniowania słonecznego daje wyższe wyniki.

Do powierzchni północnej nie dociera promieniowanie bezpośrednie. Kierunkowość promieniowania rozproszonego nie ma wpływu na wyniki obliczeń obu modeli. Do godziny 14 wyniki napromienienia otrzymane z obu modeli są praktycznie takie same. W godzinach 14-15 napromienienie wyznaczone modelem izotropowym jest wyższe. Jest to spowodowane niskim wskaźnikiem stopnia zachmurzenia uwzględnianym w modelu anizotropowym.

Tab. 2. Godzinowe wartości napromienienia na powierzchnię pochyloną pod kątem 45° zorientowaną na wschód, południe, zachód i północ 15 kwietnia

Tab. 2. Hourly irradiation values on a 45° inclined surface oriented east, south, west and north on April 15

Kierunek Godzina	Wschód		Południe		Zachód		Północ	
	I _c (W/m ²)	I _s (W/m ²)	I _c (W/m ²)	I _s (W/m ²)	I _c (W/m ²)	I _s (W/m ²)	I _c (W/m ²)	I _s (W/m ²)
5	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
6	61,69	65,13	44,67	45,16	40,09	39,79	45,70	46,37
7	167,51	180,29	130,08	133,59	103,69	100,64	112,08	111,12
8	256,38	272,98	229,50	237,93	178,21	171,04	185,90	181,07
9	305,99	319,40	299,79	311,13	240,82	232,52	245,78	239,12
10	360,69	372,74	375,19	392,27	305,14	297,92	290,64	278,39
11	390,59	397,49	435,13	457,92	363,71	361,02	319,17	300,59
12	406,59	403,04	497,82	528,40	430,54	435,96	339,31	310,60
13	362,72	348,03	476,16	504,88	444,27	460,79	330,83	303,93
14	291,55	272,78	393,40	413,70	397,77	419,74	295,92	278,82
15	262,15	244,80	340,14	355,90	372,56	402,08	272,41	259,41
16	186,54	177,26	227,32	234,80	274,26	301,03	197,38	192,55
17	112,03	108,75	123,24	124,61	155,23	169,85	121,18	121,70
18	47,92	47,00	47,92	47,00	56,62	60,90	55,52	59,14
19	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
Suma (W/m ²)	3213,44	3210,78	3621,45	3788,37	3364,00	3454,37	2812,92	2683,91

Z wyników zamieszczonych w tabeli 2 wyraźnie widać wpływ kierunkowości promieniowania rozproszonego uwzględnianego w modelu anizotropowym. W dniu 15 kwietnia powierzchnia wschodnia bezpośrednio "widzi" tarczę słoneczną do południa w tych godzinach wartości napromieniowania wyznaczone modelem anizotropowym są wyższe. W ciągu całego dnia wartości obliczone dla obydwu modeli są bardzo zbliżone. Całkowita różnica to mniej niż 0,1%.

Dla powierzchni skierowanej na południe jedynie około godziny 18 godzinowe napromieniowanie jest nieznacznie wyższe dla modelu izotropowego. Jest to czas, w którym powierzchnia przestaje widzieć bezpośrednio tarczę słoneczną. W pozostałych przypadkach wyniki obliczeń dla modelu anizotropowego są wyższe. Różnica w dziennym napromieniowaniu na daną powierzchnię to blisko 5%.

Identycznie jak w przypadku powierzchni wschodniej i południowej na powierzchni zachodniej wyniki modelu anizotropowego są wyższe, gdy do powierzchni dociera promieniowanie bezpośrednie, a także promieniowanie rozproszone okołosłoneczne.

W dniu 15 kwietnia między wschodem, a zachodem Słońca mija około 14 godzin. Słońce wschodzi przed godziną 6, a zachodzi po 18. Do godziny 6 oraz po 18 powierzchnia północna bezpośrednio "widzi" tarczę słoneczną. Dla tych godzin napromieniowanie wyznaczone modelem anizotropowym jest nieznacznie wyższe od tego wyznaczonego modelem izotropowym.

Tab. 3. Godzinowe wartości napromieniowania na powierzchnię pochyloną pod kątem 45° zorientowaną na wschód, południe, zachód i północ 17 lipca

Tab. 3. Hourly irradiation values on a 45° inclined surface oriented east, south, west and north on July 17

Kierunek Godzina	Wschód		Południe		Zachód		Północ	
	I _c (W/m ²)	I _s (W/m ²)	I _c (W/m ²)	I _s (W/m ²)	I _c (W/m ²)	I _s (W/m ²)	I _c (W/m ²)	I _s (W/m ²)
4	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
5	91,58	98,43	34,28	32,88	34,28	32,88	74,22	78,58
6	281,69	308,73	105,84	101,47	78,95	69,79	158,42	163,44
7	434,71	473,33	241,45	241,72	128,06	105,84	230,20	228,25
8	550,49	594,04	400,10	409,35	188,40	149,36	296,89	282,59
9	619,22	657,04	541,94	561,25	267,62	221,25	344,91	317,04
10	666,87	691,44	681,70	709,61	388,30	350,13	373,47	331,96
11	628,11	634,32	744,98	778,35	509,06	487,62	392,19	343,59
12	565,50	550,70	775,66	811,75	617,87	615,75	407,71	354,70
13	474,83	440,10	720,14	754,67	669,34	689,53	424,03	374,97
14	340,48	283,31	689,11	716,23	743,14	783,32	394,51	350,40
15	240,09	168,46	574,55	592,08	739,71	801,27	386,03	353,31
16	192,27	132,65	431,02	434,10	714,53	792,07	357,84	341,70
17	141,53	98,97	253,31	240,30	623,66	708,54	317,40	321,33
18	95,15	69,08	95,15	69,08	437,45	511,08	269,27	293,91
19	60,28	50,46	60,28	50,46	140,98	170,40	140,98	170,40
20	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71
Suma (W/m ²)	5387,86	5256,14	6354,57	6508,36	6286,44	6493,88	4573,14	4311,24

Dla miesięcy letnich najwyraźniej widać wpływ uwzględnienia kierunkowości promieniowania rozproszonego. Gdy na daną powierzchnię pada promieniowanie bezpośrednie i współczynnik anizotropowości A_i jest większy od 0 do powierzchni dociera promieniowanie rozproszone okołosłoneczne, a wyniki obliczeń modelem anizotropowym promieniowania rozproszonego są wyższe od tych wyznaczonych modelem izotropowym.

Tab. 4. Godzinowe wartości napromieniowania na powierzchnię pochyloną pod kątem 45° zorientowaną na wschód, południe, zachód i północ 15 października

Tab. 4. Hourly irradiation values on a 45° inclined surface oriented east, south, west and north on September 15

Kierunek Godzina	Wschód		Południe		Zachód		Północ	
	I_c (W/m ²)	I_s (W/m ²)	I_c (W/m ²)	I_s (W/m ²)	I_c (W/m ²)	I_s (W/m ²)	I_c (W/m ²)	I_s (W/m ²)
7	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15
8	151,51	165,72	139,03	150,41	72,81	69,22	72,81	69,22
9	156,60	163,19	161,99	170,09	126,43	124,59	126,43	124,59
10	204,24	210,47	224,17	236,71	176,24	173,62	172,56	168,77
11	234,83	238,50	276,87	295,11	224,91	225,13	204,77	198,01
12	243,25	239,61	330,15	358,89	270,86	277,51	218,16	205,18
13	185,67	179,53	251,95	269,22	230,22	239,81	185,32	179,05
14	156,36	135,21	331,57	374,61	319,02	357,45	156,36	135,21
15	91,98	52,43	483,46	564,90	560,88	666,25	91,98	52,43
16	71,12	32,43	272,72	373,32	272,72	373,32	71,12	32,43
17	21,99	21,99	21,99	21,99	21,99	21,99	21,99	21,99
Suma (W/m ²)	1523,71	1445,24	2500,04	2821,39	2282,23	2535,04	1327,66	1193,03

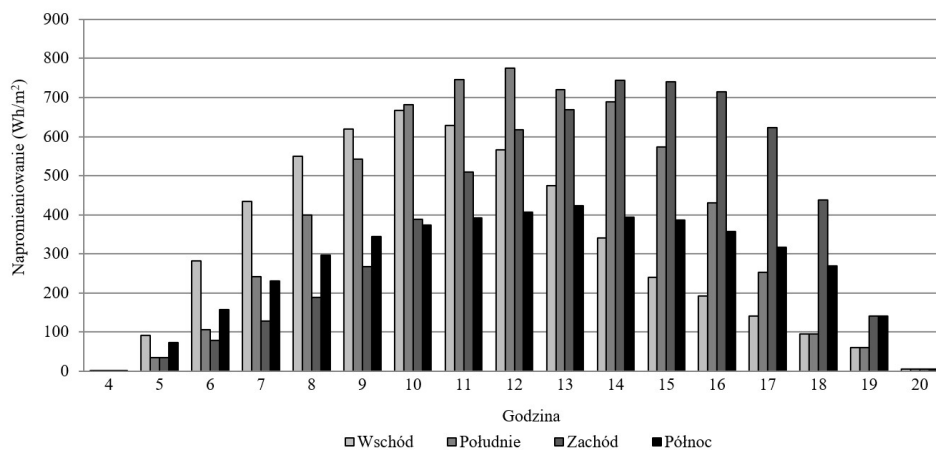
Wyniki obliczeń dla dnia 15 października prezentują się podobnie, jak te wyznaczone dla 15 kwietnia. Jako, że zaprezentowane dane dotyczą dnia jesienno do powierzchni północnej nie dociera promieniowanie bezpośrednie oraz rozproszone okołosłoneczne.

Należy zaznaczyć, że przedstawione wyniki obliczeń dotyczą jedynie pojedynczych dni roku i mogą one nie całkowicie odwzorowywać różnice występujące w modelach promieniowania słonecznego.

Analizując wyniki obliczeń godzinowego napromieniowania słonecznego wyraźnie widać wpływ uwzględniania przez model anizotropowy kierunkowości rozproszonego promieniowania słonecznego. Gdy do rozpatrywanej powierzchni dociera promieniowanie bezpośrednie, a w konsekwencji współczynnik anizotropowości promieniowania rozproszonego jest większy od 0 wtedy wyniki obliczeń dla modelu anizotropowego dają wyższe wartości niż wyniki obliczeń przeprowadzone modelem izotropowym. Większe zyski słoneczne w godzinach wieczornych obliczone modelem anizotropowym wynikają z występowania promieniowania jaśniejszego horyzontu i większego udziału promieniowania bezpośredniego w promieniowaniu całkowitym, w tym większego wskaźnika f .

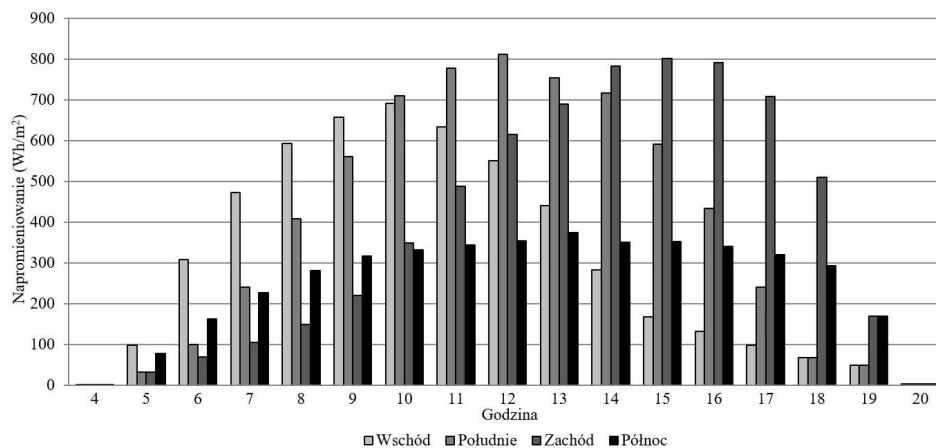
Rysunki 12 i 13 przedstawiają godzinowe napromieniowanie na poszczególne rozpatrywane w tym rozdziale powierzchnie.

Na wykresach wyraźnie widać jak kształtują się zyski słoneczne w kolejnych godzinach dnia dla poszczególnych powierzchni. Zauważyć można, że w godzinach porannych ilość energii promieniowania słonecznego docierająca



Rys. 12. Godzinowe napromieniowanie na powierzchnię pochyloną pod kątem 45° zorientowaną na wschód, południe, zachód i północ 17 lipca wyznaczone modelem izotropowym

Fig. 12. Hourly irradiation on a 45° inclined surface oriented east, south, west and north on July 17, calculated by an isotropic model



Rys. 13. Godzinowe napromieniowanie na powierzchnię pochyloną pod kątem 45° zorientowaną na wschód, południe, zachód i północ 17 lipca wyznaczone modelem anizotropowym

Fig 13. Hourly irradiation on a 45° inclined surface oriented east, south, west and north on July 17, calculated by an anisotropic model

do powierzchni północnej jest większa od tej docierającej do powierzchni południowej i zachodniej. Jest to okres, kiedy powierzchnia północna "widzi" bezpośrednio tarczę słoneczną. Analogicznie w godzinach wieczornych napromienianie na powierzchnię północną jest wyższe od tego docierającego do powierzchni wschodniej, czy południowej. W tych godzinach do powierzchni północnej dociera promieniowanie bezpośrednie. Zauważyć można także przesunięcie w czasie maksymalnych zysków energetycznych w zależności od ukierunkowania powierzchni. Dla powierzchni wschodniej najwięcej promieniowania słonecznego dociera o godzinie 10, do południowej o 12, natomiast do zachodniej o 15. Największe godzinne zyski energetyczne dla powierzchni wschodniej to około 670 Wh/m^2 dla modelu izotropowego oraz niecałe 700 Wh/m^2 dla modelu anizotropowego. Dla powierzchni zachodniej to odpowiednio 750 Wh/m^2 800 Wh/m^2 . Ma to wpływ na wyznaczanie optymalnego usytuowania odbiornika energii promieniowania słonecznego czy przeszklonej przegrody obudowy budynku. Wyniki zamieszczone na rysunkach 12 i 13 pokrywają się z rezultatami obliczeń dotyczących wyznaczania optymalnego usytuowania powierzchni.

7. Wnioski

Z przeprowadzonych obliczeń wyraźnie wynika, że w przypadku stosowania aktywnych odbiorników energii promieniowania słonecznego, takich jak kolektory słoneczne czy moduły fotowoltaiczne i słonecznych systemów pasywnych najlepszym wyborem jest strona południowa. Jeżeli dach budynku jest dwuspadowy i skierowany w stronę wschodu i zachodu lepszym wyborem jest strona zachodnia. W okresie letnim zyski słoneczne od strony zachodniej mogą być nawet dwukrotnie wyższe. Również z tego powodu należy zwrócić uwagę na przegrzewanie pomieszczeń wschodnich i zachodnich zatem i konieczność stosowania zacienienia. W krajach o szerokościach geograficznych zbliżonych do polskich do obliczeń napromieniania słonecznego powinno stosować się model anizotropowy promieniowania słonecznego. Miesięczne różnice w napromienianiu na rozpatrywaną powierzchnię mogą różnić się o kilkanaście procent. Może mieć to duże znaczenie przy wymiarowaniu instalacji korzystających z promieniowania słonecznego, jak kolektory słoneczne czy moduły fotowoltaiczne. W przypadku projektowania instalacji na okres zimowy bądź metodą najgorszego miesiąca, kiedy budynek ma być samowystarczalny energetycznie możemy mieć do czynienia ze zbyt dużymi zyskami słonecznymi (problem z magazynowaniem energii) bądź zbyt wysokimi kosztami budowy i eksploatacji. Przy zastosowaniu modelu anizotropowego do wyznaczania sumarycznego napromieniania słonecznego i zysków energetycznych z danej powierzchni odbiornika inwestycja w dany system korzystający z promieniowania słonecznego może okazać się opłacalna w przypadku, gdy obliczenia modelem izotropowym wskazywały inaczej.

Literatura

- [1] Chwieduk D. Dostępność promieniowania słonecznego do obudowy budynku zlokalizowanego w Polsce centralnej, Polska Energetyka Słoneczna, Warszawa, kwiecień-czerwiec 2009.
- [2] Chwieduk D. Energetyka słoneczna budynku, Arkady, Warszawa, 2011.
- [3] Duffie J.A., Beckman W.A. Solar engineering of thermal processes, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1991.
- [4] Hay J. E., Davies J.A. Calculation of the solar radiation incident on an inclined surface, Proceedings first Canadian solar radiation data workshop, 59, Ministry of Supply and Service Canada, 1985.
- [5] Klucher T. M. Evaluating Models to Predict Insulation on Tilted Surfaces, Solar Energy, Vol. 23, 111. 1979.
- [6] Reindl D. T., Duffie J.A., Beckman W. A. Evaluation of Hourly Tilted Surface Radiation Models, Solar Energy, 45, 9, 1999.
- [7] Temps R. C., Coulson K. L. Solar radiation incident upon slopes of different orientations, Solar Energy, 19, 179-184, 1977.
- [8] <http://www.meteonorm.com> {dostęp 23.05.2016r.}.

COMPARISON OF THE SOLAR RADIATION MODELS

Summary

The paper compares the results of calculations of solar irradiation on different oriented surfaces. Meteorological data taken from several weather stations located in Warsaw, Suwałki, Gdańsk and Kolobrzeg were used for the calculations. The irradiation data for horizontal surface has been taken from website www.meteonorm.com. At first, comparable models of solar radiation were presented. It was described what types of solar radiation are included in each model. In the next step, the irradiation values for the south facing surface inclined at the 45° were compared. Calculations were made for all four locations. The differences in the results of the calculations performed with both models were mentioned. The next stage of the analysis was to determine the appropriate orientation of the area to maximizing the energy gains, over the whole year or during the summer or winter. At the end of the study, solar irradiation was calculated for surfaces oriented on four sides of the world inclined at 45°. The last chapter presents conclusions of the calculations. The most recommended orientation and inclination of front surfaces of solar receivers have been determined with regard to maximize solar gains through the year.

Keywords: solar irradiation, solar diffuse radiation models, irradiation of surfaces of different location in Poland

Przesłano do redakcji: 30.07.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Agnieszka GENEROWICZ¹
Ryszarda IWANEJKO²

MOŻLIWOŚCI PROWADZENIA SELEKTYWNEJ ZBIÓRKI ODPADÓW KOMUNALNYCH PRZY CZEŚCIOWO NIEPEWNEJ SYTUACJI RYNKOWEJ – APLIKACJA METOD OBLICZENIOWYCH

System segregacji odpadów „u źródła” jest początkowym elementem kompleksowego rozwiązania gospodarki odpadami w regionie. Pomimo prostoty rozwiązań technicznych i technologicznych systemu segregacji jego efektywność ekonomiczna i ekologiczna jest zależna od wielu aspektów i parametrów wewnętrznych (poziom i możliwości recyklingu i przetworzenia), jak i uwarunkowań zewnętrznych (warunki rynkowe, współpraca z recyklerami, popyt na produkty z odpadów).

Proces decyzyjny we wszystkich dziedzinach wiąże się z ryzykiem podjęcia nieoptymalnych decyzji, a w przypadku gospodarowania odpadami ich skutkiem mogą być: straty finansowe, nieosiągnięcie wymaganych poziomów odzysku lub recyklingu, szkody środowiskowe, brak akceptacji społecznej.

Celem artykułu jest przedstawienie metodyki podejmowania decyzji i wyboru wariantu segregacji w gospodarstwach domowych, przy częściowo niepewnej sytuacji rynkowej, a co za tym idzie przy istnieniu niepewności co do możliwości przekazania odzyskanych frakcji surowców wtórnych do przetwarzania i recyklingu odzyskanych frakcji.

Ze względu na obszerność tematu, artykuł podzielono na dwie integralne części. Część I artykułu [20] stanowi opis uwarunkowań prawnych i możliwości technicznych rozwiązania selektywnej zbiórki odpadów, jako jednego z elementów kompleksowego systemu gospodarki odpadami. Analiza ta będzie stanowić bazę do podjęcia decyzji w zakresie wprowadzenia rozwiązań technicznych segregacji „u źródła”. Część II artykułu wskazuje kolejne kroki, oparte na odpowiednich metodach matematycznych, które są konieczne do rozwiązania problemu wyznaczenia najkorzystniejszego rozwiązania segregacji odpadów i pozyskiwania z nich frakcji użytkowych.

Słowa kluczowe: odzysk odpadów, segregacja „u źródła”, surowce wtórne, analiza decyzyjna, niepewna sytuacja rynkowa

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Agnieszka Generowicz, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska ul. Warszawska 24, 31 - 155 Kraków; tel. 126282183; agenerowicz@pk.edu.pl

² Ryszarda Iwanejko, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska ul. Warszawska 24, 31 - 155 Kraków; riw@vistula.wis.pk.edu.pl

1. Wprowadzenie

Pakiet prawa ochrony środowiska to zapisy wynikające z konwencji i ustaleń międzynarodowych dotyczących jego stanu i ochrony. Zapisy prawa dotyczące ochrony środowiska oparte są o podstawowe zasady tj.: zrównoważonego rozwoju, zdefiniowanego w Prawie Ochrony Środowiska [Dz. U. 2008.25.150 tekst jednolity], zasadę kompleksowości (kompleksowej ochrony środowiska), zasada prewencji, która powinna mieć ona pierwszeństwo przed obowiązkiem naprawienia szkody, zasadę przezroczności, uzupełniająca zasadę prewencji, zasadę „zanieczyszczający płaci”, zasadę nadrzędności wymagań ochrony środowiska wobec polityk, planów i programów dotyczących ochrony środowiska; zasadę dostępu do informacji o środowisku i zasadę partycypacji publicznej [2, 3, 5, 11]. Zgodnie z prawidłową strukturą postępowania z odpadami metody odzysku i recyklingu stoją ponad metodami unieszkodliwiania, dlatego też powinny stanowić kluczowy element systemu gospodarki odpadami komunalnymi. Bez względu na stopień rozbudowy takiego systemu, pełnione przez niego funkcje, czy spodziewane efekty funkcjonowania, pierwsze i najważniejsze zadanie takiego systemu to odzysk i recykling frakcji użytkowych, organizacja zagospodarowania selektywnie gromadzonych frakcji użytkowych, przy jednoczesnym zagospodarowaniu zebranych odpadów zmieszanych. Analiza i wybór możliwości prowadzenie systemu segregacji są niejednokrotnie najważniejszym i pierwszym zadaniem decyzyjnym w systemie kompleksowym. Możliwości technicznego rozwiązania takiego systemu zostały przedstawione w części pierwszej artykułu, tutaj natomiast zaproponowano narzędzia matematyczne, wskazujące rozwiązania, stanowiące pomoc dla decydenta [2, 5-8, 10, 15-18].

2. Metoda AHP dla warunków zdeterminowanych

Metoda wielokryterialnego wyboru AHP składa się z kilku etapów. Są to [1, 7, 8, 12, 13, 15, 19]:

1. Hierarchizacja problemu, czyli sformułowanie celu nadrzędnego o największym stopniu ogólności (tu: wskazanie najkorzystniejszego dla danej jednostki osadniczej systemu segregacji odpadów komunalnych „u źródła”), wskazanie kryteriów wyboru (tu: sformułowane w części I artykułu [20] K1, K2 i K3) oraz alternatywnych wariantów dopuszczalnych (tu: przedstawione w części I artykułu W1, W2, W3), przy czym przyjmuje się, że kolejność wymienianych kryteriów i wariantów jest przypadkowa i nie wynika z preferencji decydenta,
2. Ocena ważności kryteriów (dokonywana przez decydenta, tu: przez gminę lub regionalną instalację przetwarzania odpadów, odpowiedzialną za kompleksowe prawidłowe działanie systemu gospodarki odpadami, w tym również elementu segregacji u źródła),
3. Ocena wszystkich wariantów ze względu na przyjęte kryteria (dokonywana przez eksperta bądź ekspertów) czyli np. inżyniera projektanta, znającego zasady eksploatacji systemów segregacji i lokalne uwarunkowania możliwości ich wprowadzenia w konkretnym regionie),

4. Wyznaczenie oceny końcowej ze względu na wszystkie kryteria równocześnie, co musi być poprzedzone przyjęciem odpowiedniej reguły agregacji H.

Z matematycznego punktu widzenia etapy 2 i 3 są analogiczne, dlatego w dalszej części zamiast pojęć kryterium (dla etapu 2) i wariant (dla etapu 3) stosowane będzie ogólne pojęcie obiekt. Przeprowadzenie oceny obiektów polega na ich porównaniu parami a wyniki zapisuje się w tzw. macierzy porównań parami $A=(a_{ij})_{i,j=1..n}$ gdzie n- liczba obiektów. Im bardziej i-ty obiekt jest preferowany nad j-ty, tym większą wartość należy nadać wyrazowi a_{ij} . Stopień preferencji jednego obiektu nad drugim wyraża się w podstawowej 9-cio stopniowej skali Saaty'ego [6, 7, 8, 12, 13, 14, 15] od 1 do 9, przy czym zgodnie z zaleceniami twórcy metody T. Saatyego można podawać oceny „dokładniejsze” tzn., jeśli $a_{ij}>1$ z dokładnością jednego miejsca po przecinku, a jeśli $a_{ij}<1$ z dokładnością dwóch miejsc po przecinku. Przykładowo przyjęcie $a_{ij}=1$ oznacza uznanie obiektów i-tego oraz j-tego za równoważne, a przyjęcie wartości $a_{ij}=9$ oznacza, że i-ty obiekt został oceniony jako bezwzględnie lepszy od j-tego. Stopień preferencji obiektów uzależniony jest od osądu przeprowadzającego ocenę i wynika ze stopnia ważności kryterium (etap 2) lub stopnia spełnienia danego kryterium przez kolejny wariant (etap 3). Jest oczywiste, że muszą zachodzić pewne podstawowe zasady: 1^o równości: $a_{ii}=1$, co oznacza, że każdy obiekt jest sobie równoważny; 2^o wzajemności: $a_{ij}=1/a_{ji}$, co oznacza, że i-ty obiekt jest, a takim samym stopniu lepszy (gorszy) od j-tego w jakim obiekt j-ty jest gorszy (lepszy) od i-tego oraz 3^o przechodności: jeśli $a_{ij}>1$ oraz $a_{jk}>1$ to $a_{ik}>1$ co oznacza, że jeśli i-ty obiekt jest lepszy od j-tego a j-ty lepszy od k-tego, to i-ty jest lepszy od k-tego. Wynik każdego porównania a_{ij} jest równocześnie stosunkiem względnych wag (rang) obiektów i-tego oraz j-tego w ocenie końcowej $a_{ij}=\omega_i/\omega_j$. Zestawienie wszystkich wag tworzy unormowany wektor $\omega=(\omega_1,\omega_2,\dots,\omega_n)$, który przy zachowaniu logiczności i spójności porównań jest tzw. wektorem własnym macierzy A. Jeśli skonstruowana macierz porównań nie zawiera wewnętrznych sprzeczności i jest logicznie spójna, to zachodzi równość $A\omega=\lambda_{\max}\omega$, gdzie λ_{\max} jest maksymalną wartością własną macierzy A odpowiadającą wektorowi własnemu ω . Do oceny poprawności porównań stosuje się dwie wartości [6, 7, 8, 12, 13, 15, 19] wskaźnik zgodności CI (Consistency Index) oraz stosunek zgodności CR (Consistency Ratio). Jeśli wartości te spełniają odpowiednie kryteria, to macierz porównań A nie zawiera sprzeczności i nie wykazuje braku konsekwencji, a wyznaczone w późniejszych krokach wagi będą poprawne. W przypadku braku stałości preferencji należy zweryfikować macierz porównań parami.

Ostatni etap metody AHP wymaga określenia reguły agregacji ocen H, co pozwoli na ocenę wariantów ze względu na wszystkie kryteria łącznie. Najczęściej stosuje się liniową regułę $H(W_i)=\sum \omega_j \cdot K_j(W_i)$, gdzie: W_i – i-ty wariant (projektowy, decyzyjny), j – numer kryterium, K_j - j-te kryterium, $K_j(W_i)$ – ocena cząstkowa i-tego wariantu względem j-tego kryterium, ω_j – względna waga j-tego kryterium odzwierciedlająca preferencje decydenta. Końcową ocenę wariantów W_i dla ściśle określonych warunków zdeterminowanych stanowią wartości globalnej funkcji użyteczności $H(W_i)$, określające równocześnie ranking wariantów.

Tutaj po zastosowaniu metody AHP do poszczególnych sytuacji rynkowych uzyskuje się wektory ocen zależnych od tych sytuacji, przedstawione równaniem (1).

$$H(S_k) = (H(W_1 | S_k); H(W_2 | S_k); H(W_3 | S_k)) \quad (1)$$

gdzie k – numer sytuacji rynkowej ($k=1, 2, 3$). Najwyższa wartość $H(W_i|S_k)$ wskazuje na wybór i -tego wariantu W_i jako najlepszego dla k -tej sytuacji rynkowej.

2.1. Hierarchizacja problemu

Pierwszy etap metody AHP jest zgodny, z przedstawionymi w cz. 1 artykulu, kryteriami (K1, K2, K3) oraz wariantami (W1, W2, W3).

2.2. Ranking kryteriów

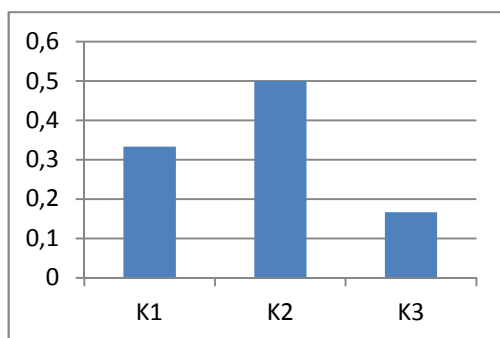
Drugim etapem metody AHP jest, przeprowadzana przez decydenta, ocena ważności kryteriów, która jest niezależna od warunków rynkowych. Po dokonaniu przez decydenta porównań kryteriów parami została utworzona pierwsza macierz porównań (tab. 1).

Tabela 1. Macierz porównań kryteriów

Table 1. Criteria comparison matrix

	K1	K2	K3
K1	1	2/3	2
K2	1,5	1	3
K3	0,5	1/3	1

Dla tej macierzy wyznaczono maksymalną wartość własną z tzw. ilorazów Rayleigh'a oraz wektor własny macierzy metodą potęgową [4]. Uzyskano $\omega=(\omega(K1), \omega(K2), \omega(K3)) = (\omega_1, \omega_2, \omega_3) = (1/3; 0.5; 1/6)$. Te wagi kryteriów w graficzny sposób przedstawiono na wykresie (rys. 1).



Kolejnym etapem metody AHP jest ocena wszystkich wariantów ze względu na przyjęte kryteria. Ten etap powinien zostać wykonany kolejno dla warunków S1, S2 i S3.

Rysunek 1. Graficzne przedstawienie wag kryteriów uzyskane po ich porównaniu parami

Figure 1. Graphical representation of the weights of the criteria obtained after pairing them

2.3. Wybór optymalnego rozwiązania dla warunków S1

Ocenę wszystkich wariantów dla sytuacji S1 uzyskano po ich porównaniu parami ze względu na wszystkie kryteria oddzielnie (tab. 2).

Tabela 2. Macierz porównań wariantów ze względu na kryteria K1, K2 oraz K3 dla słabej sytuacji gospodarczej S1

Table 2. Comparative matrix of variants based on criteria K1, K2 and K3 for weak economic situation S1

	K1			K2			K3		
	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3
W1	1	2	4	1	1/2	1/3	1	1/3	1
W2	0,5	1	2	2	1	2/3	3	1	3
W3	0,25	0,5	1	3	1,5	1	1	1/3	1

Następnie ze względu na poszczególne j-te kryteria wyznaczono wagi wszystkich i-tych wariantów i uzyskano ich oceny częściowe dla sytuacji S1. Na potrzeby przeprowadzanej tu analizy oznaczono je jako $K_j(W_i|S1)$. Są one odpowiednio równe:

$$\begin{aligned}
 K1(W1|S1) &= 0,57143 & K1(W2|S1) &= 0,28571 & K1(W3|S1) &= 0,14286 \\
 K2(W1|S1) &= 0,16667 & K2(W2|S1) &= 0,33333 & K2(W3|S1) &= 0,5 \\
 K3(W1|S1) &= 0,2 & K2(W2|S1) &= 0,6 & K2(W3|S1) &= 0,2
 \end{aligned}$$

Jak widać, ze względu na każde j-te kryterium suma wyznaczonych wag $\sum_j K_j(W_i|S1)$ jest równa 1. Ostatnim etapem metody AHP jest wyznaczenie

oceny końcowej wszystkich wariantów ze względu na wszystkie kryteria równocześnie. Tutaj zastosowano podaną wcześniej liniową regułę agregacji. Przykładowo dla wariantu W1 ocena końcowa wynosi:

$$H(W1|S1) = \omega_1 \cdot K1(W1|S1) + \omega_2 \cdot K2(W1|S1) + \omega_3 \cdot K3(W1|S1) = 0,3071.$$

W rezultacie uzyskano następujące znormalizowane oceny końcowe dla warunków S1: $H(S1) = (H(W1|S1); H(W2|S1); H(W3|S1)) = (0,3071; 0,3619; 0,3310)$. Jak widać w warunkach S1 ze względu na wszystkie kryteria łącznie najlepszy jest wariant W2 a niewiele gorszy jest wariant W3. Również na tym etapie uzyskuje się tzw. rozwiązania znormalizowane, co oznacza, że suma odpowiednich wag (rang) jest równa 1.

2.4. Wybór optymalnego rozwiązania dla warunków S2

Podobnie jak poprzednio ocenę wszystkich wariantów dla sytuacji S1 uzyskano po ich porównaniu parami ze względu na wszystkie kryteria oddzielnie, przy czym oceny wariantów ze względu na kryterium społeczne K3 nie uległy zmianie (tab. 3).

Tabela 3. Macierz porównań wariantów ze względu na kryteria K1, K2 oraz K3 dla średniej sytuacji gospodarczej S3

Table 3. Comparative matrix of variants based on the criteria K1, K2 and K3 for the average economic situation S3

	K1			K2			K3		
	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3
W1	1	3	7	1	1/3	0,2	1	1/3	1
W2	1/3	1	5	3	1	1/3	3	1	3
W3	1/7	1/5	1	5	3	1	1	1/3	1

Stosując sposób oznaczeń analogicznie jak w punkcie 5.3 tutaj uzyskano następujące wyniki:

$$\begin{aligned}
 K1(W1|S2) &= 0,649097 & K1(W2|S2) &= 0,27897 & K1(W3|S2) &= 0,071925 \\
 K2(W1|S2) &= 0,104729 & K2(W2|S2) &= 0,25829 & K2(W3|S2) &= 0,636982 \\
 K3(W1|S2) &= 0,2 & K2(W2|S2) &= 0,6 & K2(W3|S2) &= 0,2
 \end{aligned}$$

Stosując liniową regułę agregacji uzyskano następujące znormalizowane oceny końcowe dla warunków S2: $H(S2) = (H(W1|S2); H(W2|S2); H(W3|S2)) = (0,3021; 0,3221; 0,3758)$. Jak widać w warunkach S2 najlepszy jest wariant W3, a wariant W2 jest trochę gorszy.

2.5. Wybór optymalnego rozwiązania dla warunków S3

Postępując podobnie jak w sytuacjach S1 oraz S2 dokonano porównań wszystkich wariantów i wyznaczono macierze porównań (tab. 4).

Teraz uzyskano następujące wyniki:

$$\begin{aligned}
 K1(W1|S3) &= 0,602629 & K1(W2|S3) &= 0,315029 & K1(W3|S3) &= 0,082342 \\
 K2(W1|S3) &= 0,060325 & K2(W2|S3) &= 0,231175 & K2(W3|S3) &= 0,7085 \\
 K3(W1|S3) &= 0,2 & K2(W2|S3) &= 0,6 & K2(W3|S3) &= 0,2
 \end{aligned}$$

Tabela 4. Macierz porównań wariantów ze względu na kryteria K1, K2 oraz K3 dla dobrej sytuacji gospodarczej S3

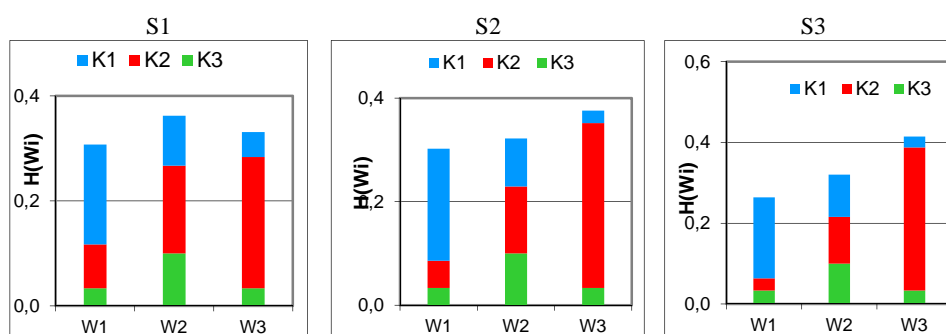
Table 4. Comparative matrix of variants based on criteria K1, K2 and K3 for good economic situation S3

	K1			K2			K3		
	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3
W1	1	2	7	1	1/5	1/9	1	1/3	1
W2	1/2	1	4	5	1	1/4	3	1	3
W3	1/7	1/4	1	9	4	1	1	1/3	1

Stosując liniową regułę agregacji uzyskano następujące znormalizowane oceny końcowe dla warunków S3: $H(S3) = (H(W1|S3); H(W2|S3); H(W3|S3)) = (0,26440; 0,3206; 0,4150)$. Podobnie jak w sytuacji S2 tutaj też najlepszy jest wariant W3.

2.6. Optymalne rozwiązania dla wszystkich sytuacji

Rezultaty dla wszystkich typów sytuacji przedstawiono na rys. 2. Widać, że decydujący wpływ na optymalny wybór wariantów w różnych sytuacjach zawsze miało decydujące kryterium korzyści K2 ($\omega_2=0,5$), a najmniejszy wpływ miało kryterium najsłabsze K3 ($\omega_3=1/6$), (rys. 1). We wszystkich sytuacjach zostały spełnione kryteria dla CI oraz CR stanowiące wymóg poprawności rozwiązań.

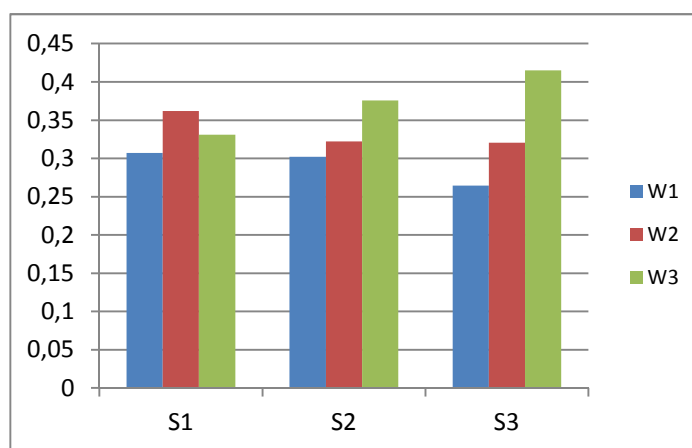


Rys. 2. Graficzne przedstawienie rankingu wariantów segregacji dla trzech sytuacji rynkowych

Figure 2. Graphical representation of segregation options for three market situations

Przeprowadzone analizy wskazały, że przy hierarchii kryteriów wynikającej z wartościowań decydenta (tab. 4) najlepszymi wariantami segregacji odpadów są (rys. 3):

- w słabej sytuacji rynkowej S1 – segregacja trójpojemnikowa W2, niewiele gorsza jest segregacja dwupojemnikowa W1,
- w średniej i dobrej sytuacji rynkowej S2 i S3 segregacja wielopojemnikowa W3 a gorsza w obu sytuacjach jest segregacja trojpojemnikowa W2.



Rys. 3. Hierarchia wariantów segregacji w różnych sytuacjach gospodarczych

Figure 3. Hierarchy of variants of segregation in different economic situations

3. Wybór systemu segregacji odpadów „u źródła” w warunkach niepełnej informacji rynkowej

Warunki częściowej niepewności lub tzw. niepełnej informacji liniowej (NIL) to takie, kiedy o przyszłości nie wiadomo zbyt wiele, gdy jedynie można określić przedziały zmienności prawdopodobieństw zajść poszczególnych, niezależnych od decydenta mogących zaistnieć w przyszłości różnych sytuacji gospodarczych oraz ewentualne zależności między tymi prawdopodobieństwami. Wówczas problem wyboru systemu segregacji w takich warunkach można przedstawić w postaci tzw. macierzy użyteczności (tabela 5), w której decyzje d_1 , d_2 i d_3 są skojarzone z realizacją wariantów odpowiednio W_1 , W_2 i W_3 , a p_1 , p_2 i p_3 są prawdopodobieństwem wystąpienia w przyszłości, niezależnych od woli decydenta, sytuacji rynkowych S_1 , S_2 i S_3 . Wyrazami macierzy są użyteczności warunkowe tj. użyteczności poszczególnych wariantów w każdej z analizowanych sytuacji oznaczone jako $U(W_i|S_k)$, gdzie W_i oznacza i -ty wariant, S_k oznacza k -tą sytuację gospodarczą (stan natury niezależny od decydenta). Tutaj jako wartości użyteczności $U(W_i|S_k)$ przyjęto wyznaczone powyżej za pomocą metody oceny wielokryterialnej AHP zagregowane użyteczności poszczególnych wariantów w odpowiednich sytuacjach gospodarczych.

Tabela 5. Macierz użyteczności w warunkach niepełnej informacji [opracowanie własne]

Table 5. Utility matrices in incomplete information [own elaboration]

Sytuacja gospodarcza i prawdopodobieństwo jej wystąpienia				
		S1	S2	S3
		p_1	p_2	p_3
d_1	$U(W_1 S_1) = H(W_1 S_1) = 0,307143$	$U(W_1 S_2) = H(W_1 S_2) = 0,302063$	$U(W_1 S_3) = H(W_1 S_3) = 0,264372$	
d_2	$U(W_2 S_1) = H(W_2 S_1) = 0,361905$	$U(W_2 S_2) = H(W_2 S_2) = 0,322138$	$U(W_2 S_3) = H(W_2 S_3) = 0,320597$	
d_3	$U(W_3 S_1) = H(W_3 S_1) = 0,330952$	$U(W_3 S_2) = H(W_3 S_2) = 0,375799$	$U(W_3 S_3) = H(W_3 S_3) = 0,415031$	

gdzie:

S_1, S_2, S_3 - sytuacja rynkowa, stan natury niezależny od decydenta,

p_1, p_2, p_3 – prawdopodobieństwo wystąpienia w przyszłości odpowiedniej sytuacji rynkowej,

d_1, d_2, d_3 – decyzje skojarzone z realizacją wariantów odpowiednio W_1, W_2, W_3 .

Dokładny rozkład prawdopodobieństw $\{p_k\}_k$ wystąpienia k -tych stanów natury jest nieznan, lecz można podać pewne ograniczenia i relacje między tymi prawdopodobieństwami. Można je zapisać w postaci układu nierówności liniowych, do których konieczne jest dołączenie równania na zupełność warunków. Do dalszej analizy przyjęto następujący układ nierówności liniowych (2):

$$\begin{cases} p_1 + p_2 + p_3 = 1 \\ 0,1 \leq p_1 \leq 0,7 \\ 0,2 \leq p_2 \leq 0,8 \\ 0,2 \leq p_3 \leq 0,7 \end{cases} \quad (2)$$

Kolejnym krokiem jest rozwiązanie tego układu. Tutaj uzyskano następujące rozkłady prawdopodobieństw $A(0,1; 0,2; 0,7)$, $B(0,1; 0,7; 0,2)$, $C(0,6; 0,2; 0,2)$, $D(0,2; 0,2; 0,6)$. Te rozwiązania tworzą tzw. rozkłady ekstremalne, które odpowiadają wierzchołkom wielościanu wypukłego, wewnątrz którego znajdują się wszystkie możliwe rozkłady prawdopodobieństw (p_1, p_2, p_3) spełniające powyższy układ [10]. Pomimo, że istnieje nieskończenie wiele takich dopuszczalnych rozkładów (p_1, p_2, p_3) , to dalszą analizę wystarczy ograniczyć do uzyskanych powyżej rozwiązań ekstremalnych.

Najostrożniejszą optymalną decyzję wyznacza się za pomocą tzw. zasady MaxEmin. Jest to znana zasada nazywana też zasadą Bernoulliego lub Bayesa. Zgodnie z nią jako optymalną należy wybrać taką strategię, która będzie maksymalizować minimalne oczekiwane wartości użyteczności [9, 10]. Pierwszym krokiem jest minimalizowanie względem rozkładów ekstremalnych $\{X\}$ wartości oczekiwanych użyteczności i -tych decyzji. Wartość oczekiwaną użyteczności i -tej decyzji przy rozkładzie $\{p_k\}$ wyznacza się jako sumę iloczynów $E(d_i, X) = \sum_k p_k \cdot U(W_i | S_k)$ gdzie i – oznacza i -tą decyzję (równoważnie i -ty

wariant W_i), k – identyfikuje sytuację gospodarczą, p_k – jest prawdopodobieństwem wystąpienia sytuacji S_k , X – jedno z rozwiązań ekstremalnych (tu: A, B, C, D). Przykładowo przeciętna użyteczność decyzji d_1 jest równa:

$$E(d_1; A) = p_1(A) \cdot U(W_1 | S_1) + p_2(A) \cdot U(W_1 | S_2) + p_3(A) \cdot U(W_1 | S_3) = 0,1 \cdot 0,307143 + 0,2 \cdot 0,302063 + 0,3 \cdot 0,264372 = 0,2761879.$$

Następnie uzyskane wyniki maksymalizuje się ze względu na i -tą decyzję. Wszystkie wyznaczone wartości oczekiwane zestawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Oczekiwane użyteczności dla NIL [opracowanie własne]

Table 6. Expected usefulness for NIL [own elaboration]

d_i	Rozkłady ekstremalne X				min $E(d_i; X)$	max	decyzja
	A	B	C	D			
d_1	0,270291	0,274394	0,291676	0,274568	0,270291	0,357563	d_3
d_2	0,330107	0,343554	0,350761	0,334238	0,330107		
d_3	0,399602	0,382052	0,357563	0,391195	0,357563		

Zgodnie z zasadą MaxEmin optymalną decyzją jest d3, gdyż niezależnie od zaistniałej w przyszłości sytuacji rynkowej, gwarantuje najwyższą oczekiwaną użyteczność wyrażoną w umownej unormowanej skali.

4. Analizy dodatkowe

Po uzyskaniu rozwiązania końcowego wskazane jest przeprowadzenia tzw. analizy czułości, która ukaze jak bardzo na uzyskany wynik wpływają dane początkowe. Intuicyjnie wiadomo, że w tym przypadku na wynik końcowy mogą mieć wpływ preferencje decydenta oraz ocena możliwości rozwoju sytuacji w przyszłości.

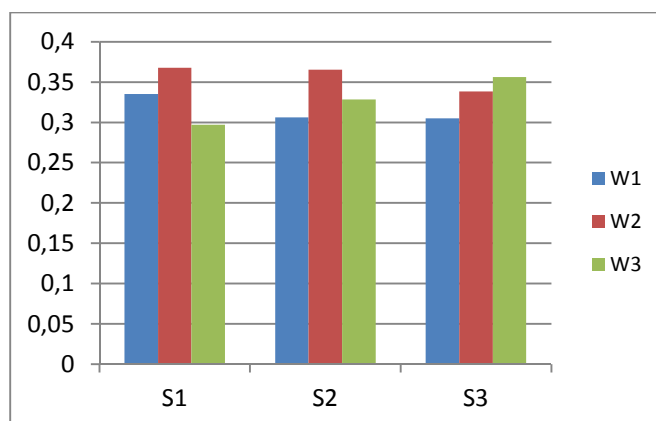
Preferencje decydenta, czyli jego ocena ważności kryteriów są uwzględniane w metodzie AHP. Uzyskany za pomocą AHP ranking wariantów może w istotny sposób zależeć od aktualnych preferencji decydenta, co oznacza, że zmiana wartościowań decydenta może wpłynąć na zmianę rozwiązania końcowego. Dlatego sprawdzono, jak zmienią się rozwiązania dla innej sytuacji, tj., jeśli decydent uzna, że kryteria K1 oraz K2 są równoważne i równocześnie nie- zbyt ważniejsze od kryterium K3 (tab. 7).

Tabela 7. Macierz porównań kryteriów po zmianie preferencji decydenta

Table 7. Criteria comparison matrix after changing the preferences of the decision maker

	K1	K2	K3
K1	1	1	2
K2	1	1	2
K3	0,5	0,5	1

Na podstawie nowej macierzy porównań wyznaczono wagi poszczególnych kryteriów i uzyskano $\omega=(\omega_1; \omega_2; \omega_3)=(0,4; 0,4; 0,2)$. Przy nowych preferencjach decydenta, tj. przy wzroście ważności kryterium korzyści, zmianie uległy rankingi wariantów dla poszczególnych sytuacji rynkowych (rys. 4). I tak dla słabej sytuacji rynkowej najlepszy okazuje się wariant W2 (segregacja trójpojemnikowa), a później wariant W1 (segregacja dwupojemnikowa). Dla średniej sytuacji znów najlepszy byłby wariant W2 a po nim W3. Natomiast przy dobrej sytuacji rynkowej najlepszy byłby W3 a po nim W2. Jak widać, przy nowych preferencjach decydenta, wynikających przykładowo ze zmiany sytuacji finansowej przedsiębiorstwa, w różnych sytuacjach gospodarczych rankingi wariantów są zupełnie odmienne, jednak uzyskane wyniki są logiczne i można powiedzieć, że są zgodne z oczekiwaniami.



Rysunek 4. Hierarchia wariantów segregacji w różnych sytuacjach gospodarczych po zmianie preferencji decydenta

Figure 4. Hierarchy of variants of segregation in different economic situations after changing the preferences of the decision maker

Taka analiza badania wpływu danych wyjściowych nazywana jest analizą czułości. W praktyce najczęściej największy wpływ na zmianę rozwiązania obserwuje się przy zmianie ważności samych kryteriów, a zmiana ocen wariantów ze względu na poszczególne kryteria nie jest już tak bardzo zauważalna.

Ocenę rozwoju sytuacji w przyszłości opisuje układ równań nieliniowych. Aktualnie ze względu na nowe możliwości tworzenia np. nowego szlaku przevożenia odpadów segregowanych do Chin, można sformułować inny układ

$$\begin{cases} p_1 + p_2 + p_3 = 1 \\ 0,1 \leq p_1 \leq 0,4 \\ 0,2 \leq p_2 \leq 0,8 \\ 0,4 \leq p_3 \leq 0,8 \end{cases} \quad (3)$$

Rozwiązaniem tego układu są punkty ekstremalne A(0,1; 0,2; 0,7), B(0,4; 0,2; 0,4) oraz C(0,1; 0,5; 0,4). Jak widać (tab. 8), tutaj pomimo pewnej zmiany prognoz końcowe rozwiązanie nie uległo zmianie.

Tabela 8. Oczekiwane użyteczności dla NIL [opracowanie własne]

Table 8. Expected usefulness for NIL [own elaboration]

d _i	Rozkłady ekstremalne X			min E(d _i ;X)	max	decyzja
	A	B	C			
d1	0,276187	0,287495	0,289019	0,270291	0,357563	d3
d2	0,325036	0,325498	0,337428	0,330107		
d3	0,398776	0,387007	0,373553	0,357563		

5. Podsumowanie i wnioski

- Segregacja „u źródła” i odzysk surowców z odpadów komunalnych to dla każdej gminy lub przedsiębiorstwa gospodarki komunalnej każdorazowo problem decyzyjny.
- Z problemem decyzyjnym mamy do czynienia wówczas, gdy należy osiągnąć jakiś zamierzony cel, istnieją na to alternatywne metody, lecz najlepszy sposób działania nie jest oczywisty.
- Rozwiązanie każdego procesu decyzyjnego wymaga udzielenia odpowiedzi na podstawowe pytania: jakie (niezależne od decydenta, lecz mające istotny wpływ na rezultat jego działań) sytuacje mogą się wydarzyć w przyszłości i czy jest coś, czego nie można przewidzieć? jakie są możliwe decyzje (sposoby działania)? jakie mogą być rezultaty podjętych decyzji? Rzeczywiste problemy decyzyjne najczęściej są określane jako zadania przy niepełnej informacji, równoważnie częściowej niepewności.
- Kłójące się interesy gospodarki komunalnej, mieszkańców i recyklerów, odbierających frakcje surowcowe nakazują wskazywać rozwiązania, które nigdy nie są dobre dla wszystkich. Matematyczna analiza oraz wykazanie dobrych i złych stron każdego z rozwiązań, pozwala na podjęcie decyzji, która częściowo przynajmniej zadowoli strony uczestniczące w procesach odzysku i recyklingu odpadów komunalnych.
- Do rozwiązania problemu zaproponowano metodę matematyczną rankingu wariantów technicznych selektywnej zbiórki, uwzględniając warunki rynkowe, a co za tym idzie możliwości zbytu zebranych selektywnie odpadów.
- Uzyskanych wyników nie powinno się uogólniać na inne gminy lub przedsiębiorstwa oczyszczania miast. Przedstawione rozważania należy traktować wyłącznie jako metodykę i przedstawiony do niej przypadek obliczeniowy. Oceny poszczególnych kryteriów i wariantów dla każdej gminy mogą być różne, gdyż zależą one od wielu indywidualnych czynników. Przykładowo kryteria zależą od subiektywnych preferencji decydenta, koszty zależą od rozległości gminy, częstości odbioru odpadów, posiadanego taboru samochodowego, użytkowanych instalacji, liczby pracowników zatrudnionych w różnych sytuacjach gospodarczych itp.
- W rzeczywistości decydent może w różnych sytuacjach gospodarczych (S1, S2, S3) mieć odmienne preferencje odnośnie ważności kryteriów. Przykładowo dla słabych warunków rynkowych S1 jako najważniejsze mógłby uznać minimalizację kosztów (K1), a dla dobrych warunków rynkowych (S3) maksymalizację korzyści. Nie zmienia to jednak przedstawionej metodyki.
- Przy rozwiązywaniu rzeczywistych problemów decyzyjnych odnośnie wyboru optymalnego sposobu segregacji odpadów wskazane byłoby przeprowadzenie dodatkowej analizy tzw. analizy wrażliwości. Polega ona na zbadaniu wpływu zmiany danych wyjściowych na przyjęte rozwiązanie.

Literatura

- [1] Aczel A.D.: Statystyka w zarządzaniu, PWN, Warszawa, 2000.
- [2] Bilitewski B., Härdtle G., Marek K.: Podręcznik gospodarki odpadami– teoria i praktyka, Wydawnictwo Seidel – Przywecki sp. z o.o, Warszawa, 2006.
- [3] Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Dz.U.UE.L.08.312.3).
- [4] Dryja M., Jankowska J., Jankowski M.: Przegląd metod i algorytmów numerycznych, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, część 2. Warszawa 1982.
- [5] Generowicz A.: Multi – criteria analysis of waste management in Szczecin, Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 23, No. 1, 2014, pp. 57-63.
- [6] Generowicz A., Iwanejko R.: Wybór optymalnego rozwiązania systemu selektywnej zbiórki odpadów komunalnych przy niepewnej sytuacji rynkowej, Logistyka Vol. 3, 2015, 1414-1422.
- [7] Iwanejko R.: Generowicz A., Ocena wariantów segregacji odpadów komunalnych „u źródła” z wykorzystaniem analizy decyzyjnej AHP, Gaz Woda Technika Sanitarna, Vol. 2016, pp. 266-271.
- [8] Iwanejko R., Generowicz A., Klasyfikacja przyczyn pożarów i ocena ryzyka ich występowania w obiektach gospodarki odpadami komunalnymi w aspekcie start ekonomicznych, ekologicznych i społecznych, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA, 32 (62) /1, 2015, pp. 137-152, DOI:10.7862/rb.2015.10.
- [9] Iwanejko R., Rybicki S.M.: Praktyczne aspekty stosowania metody hierarchicznego wyboru AHP w zagadnieniach zaopatrzenia w wodę, VIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo – Techniczna „Zaopatrzenie W Wodę, Jakość I Ochrona Wód”, Poznań 2008.
- [10] Kofler E.: Podejmowanie decyzji przy niepełnej informacji, Real Publishers, Zurych, 1993.
- [11] Kulczycka J., Generowicz A. Kowalski Z.: Strength and Weakness of Municipal and Packaging Waste System in Poland; book project under the working title "Integrated Waste Management – Volume I", August 2011; Publisher InTech; Edited by: Sunil Kumar.
- [12] Miller D.W., Stark M.K.: Praktyka i teoria decyzji, PWN, Warszawa 1971.
- [13] Moore P.G., Ryzyko w podejmowaniu decyzji, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 1975.
- [14] Rolad H.A., Moriarty B.: System Safety Engineering and Management, Jon Wiley & Sons. Inc., 1990.
- [15] Saaty T.L.: The Analytic Hierarchy Process, New York, Mc-Graw Hill, 1980.
- [16] Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz. U. 2013. 0. 21).
- [17] Ustawa z dnia 25 stycznia 2013 r. o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach (Dz. U. 2013. 0. 228).
- [18] Ustawa z dnia 29 lipca 2005 r. o zużytym sprzęcie elektrycznym i elektronicznym (Dz. U. z 2005 r., Nr 180, poz. 1495 z późn. zm.).

- [19] Żak J.: Wielokryterialne wspomaganie decyzji w transporcie drogowym, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, s. 46-73, 2005.
- [20] Generowicz A., Iwanejko R.: Możliwości prowadzenia selektywnej zbiórki odpadów komunalnych przy częściowo niepewnej sytuacji rynkowej – podstawy techniczne i możliwości rozwiązań segregacji. Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA. t. XXXIV, z. 64 (4/II/17), s. 183-197, DOI:10.7862/rb.2017.239.

POSSIBILITY OF CONDUCTING SELECTIVE COLLECTION OF MUNICIPAL WASTE AT SOME PRECARIOUS MARKET SITUATION, PART II – APPLICATION OF CALCULATION METHODS

Summary

The waste segregation system is the starting point for a comprehensive waste management solution in the region. In spite of the simplicity of the technical and technological arrangements of the segregation system, its economic and environmental efficiency depends on many aspects and internal parameters (level and capacity of recycling and processing) as well as external conditions (market conditions, cooperation with recyclers, demand for waste products).

Decision-making in all areas entails the risk of non-optimal decisions, and in the case of waste management, they can result in: financial losses, failure to meet the required levels of recovery or recycling, environmental damage, lack of social acceptance.

The aim of this article is to present the methodology for decision making and the choice of segregation option in households, with some uncertain market situation, and consequently the uncertainty as to the possibility of transferring recycled fraction of recycled materials to the processing and recycling of recovered fractions. Because of the breadth of the topic, the article is divided into two integral parts. Part I of the article describes legal conditions and technical possibilities of selective waste collection as one of the elements of a comprehensive waste management system. This analysis will be the basis for deciding on the introduction of technological solutions for segregation at source. Part II of the article shows the steps followed by the appropriate mathematical methods that are needed to solve the problem of determining the best solution for the segregation of waste and the utilization of the utility fractions.

Keywords: municipal waste recovery, source segregation, secondary raw materials, decision analysis, uncertain market situation

Przesłano do redakcji: 24.11.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Joanna KUJDA¹
Lidia BUDA-OŻÓG²

ANALIZA NIEZAWODNOŚCI TARCZ ŻELBETOWYCH PROJEKTOWANYCH METODĄ ST

W artykule przedstawiono wyniki analiz i symulacji numerycznych tarczy trój-przędzowej projektowanej metodą kratownicową z uwzględnieniem struktury niezawodnościowej dla zaproponowanych trzech różnych modeli ST. Badano poziom niezawodności poszczególnych układów kratownicowych oraz zachowanie się konstrukcji pod obciążeniem w przypadku zastosowania odpowiadających rozwiązaniom modelom ST trzech różnych układów zbrojenia. Przeprowadzona analiza wykazała, że mając na uwadze niezawodność jako cel nadrzędny podczas projektowania konstrukcji, zastosowanie metody kratownicowej w analizie elementów o nieliniowym przebiegu naprężeń daje bezpieczne rozwiązania.

Słowa kluczowe: model ST, beton, niezawodność, tarcza, symulacja numeryczna

1. Wprowadzenie

Niektóre elementy konstrukcji z betonu projektuje się z bardzo dużą dokładnością a inne jedynie na podstawie intuicji lub poglądów opartych na doświadczeniu. Ponieważ wszystkie elementy konstrukcji wydają się być jednakowo ważne, istnieje potrzeba wypracowania jednolitego podejścia obliczeniowego; prawdziwego dla wszystkich rodzajów rozpatrywanego ustroju nośnego i jego poszczególnych części, a przy tym bazującego na takich samych modelach fizycznych [1] [2].

Spełnienie przytoczonych kryteriów staje się możliwe w metodzie analogii prętowej – zwanej ST. Model ST składa się z prętów- T, odwzorowujących zbrojenie rozciągane oraz ściskanych prętów S, odwzorowujących wyodrębnione obszary betonu. Pręty S i T połączone są w odpowiednio ukształtowanych węzłach, umożliwiających zakotwienie zbrojenia rozciąganego i przeniesienie naprężeń ściskających [3].

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Joanna Kujda, Politechnika Rzeszowska, Katedra Konstrukcji Budowlanych, Al. Powstańców Warszawy 12, 698 757 563, j.kujda@prz.edu.pl

² Lidia Buda-Ożóg, Politechnika Rzeszowska, Katedra Konstrukcji Budowlanych, Al. Powstańców Warszawy 12, lida@prz.edu.pl

Eurokod [4] zaleca stosowanie tej metody w projektowaniu konstrukcji żelbetowych i sprężonych, w obszarach dwuosioowego rozkładu naprężeń, to jest na przykład w krótkich wspornikach, narożach ram, strefach przypodporowych belek czy tarczownicach. W swej początkowej wersji metoda ST była stosowana do uproszczonych obliczeń konstrukcji żelbetowych o skomplikowanych kształtach, pracujących w złożonym stanie naprężenia. Obecnie, gdy szerokie zastosowanie w analizie konstrukcji ma Metoda Elementów Skończonych, metoda modeli prętowych może wydawać się przestarzała i nieefektywna. Ponieważ jednak w wielu obszarach konstrukcji żelbetowych z silnymi nieciągłościami, konstruktor musi zaprojektować zbrojenie opierając się na pewnych regułach a nie na samej tylko analizie MES, metoda ST pozwala na wiarygodne określenie tych reguł. Jest to zatem dodatkowe narzędzie przydatne do nowoczesnego, prawidłowego i oszczędnego projektowania. W skomplikowanych przypadkach, w celu osiągnięcia większej dokładności zastosowanego modelu prętowego, w podejściu tego typu korzysta się zresztą także z analizy MES.

Analizę konstrukcji za pomocą modeli ST zalicza się do metod analizy plastycznej. Jest ona oparta na twierdzeniu o dolnej granicy obciążenia w ujęciu teorii nośności granicznej, a zatem otrzymane w ten sposób nośności są oszacowaniami bezpiecznymi. Zalecenia normowe oraz literatura nie podają metod pozwalających na jednoznaczne określenie w metodzie ST kształtu i kierunku modelowanych prętów. Wyboru najbardziej odpowiedniego modelu ST w zależności od rozważanego zagadnienia można dokonać wykorzystując analogie kratownicy zastępczej, strumienie sił [5], trajektorie naprężeń, modele numeryczne oraz tak zwaną optymalizację topologiczną [6].

Model ST może być dostosowany do każdej geometrii ustroju nośnego i każdego rozkładu naprężeń. Ta wszechstronność jest uważana za główną zaletę modeli ST, jednocześnie za duże wyzwanie. Elastyczność ich zastosowania dla projektanta, może bowiem prowadzić do niepewności czy przyjęty dla konkretnej konstrukcji model kratownicowy jest właściwy uwzględniając przyjęte kryteria wyboru. Najczęściej stosowanym kryterium jest z reguły optymalizacja topologiczna układu. Prowadzi się ją jednak z pominięciem oceny niezawodności otrzymanego w ten sposób modelu. A to właśnie projektowanie konstrukcji bezpiecznych powinno być nadrzędnym celem w procesie projektowania. Niezawodność konstrukcji jest przy tym ściśle powiązana ze sposobami traktowania niepewności, a także podejmowaniem decyzji w fazie koncepcyjnej [7]. Z kolei kwantyfikacja niepewności jest ściśle związana z doбором podstawowych zmiennych stanu konstrukcji. Są to przykładowo: wymiary geometryczne, właściwości mechaniczne materiałów konstrukcyjnych, obciążenia czy sposób ukształtowania zbrojenia.

Mając na uwadze niezawodność jako cel nadrzędny podczas projektowania konstrukcji w niniejszym artykule porównano niezawodność tarcz o zbrojeniu ukształtowanym na podstawie trzech różnych modeli ST. Z uwagi na to, że przy modelowaniu konstrukcji metodą analogii kratownicowej nie kontroluje się za-

rysowania w celu sprawdzenia stanu granicznego użyteczności analizowanych tarcz przeprowadzono symulacje numeryczne w programie ATENA.

2. Podstawy oceny niezawodności systemów

Statycznie wyznaczalne modele kratownicowe odpowiadają systemowi o prostej strukturze szeregowej, ponieważ zniszczenie jednego elementu powoduje w nich awarię całej konstrukcji. Natomiast kratownica wewnętrznie statycznie niewyznaczalna może odpowiadać systemowi o mieszanej, równoległo-szeregowej strukturze niezawodności. Zawodności dla poszczególnych modeli przytoczonych powyżej można obliczyć z zależności [8-11], odpowiednio:

- dla systemu szeregowego:

$$P_f = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{fi}) \quad (1)$$

- dla systemu równoległego:

$$P_f = \prod_{i=1}^n P_{fi} \quad (2)$$

gdzie:

P_{fi} – prawdopodobieństwa wyczerpania nośności poszczególnych elementów rozpatrywanego systemu,
 n – liczba elementów.

Miarą niezawodności jest dopełnienie prawdopodobieństwa wyczerpania nośności:

$$q = 1 - P_f. \quad (3)$$

W świetle wymagań PN-EN 1990 [11] przyjęty model nośności powinien być ukształtowany tak, aby zapewnić odpowiedni poziom bezpieczeństwa konstrukcji, co oznacza spełnienie warunku niezawodności w postaci:

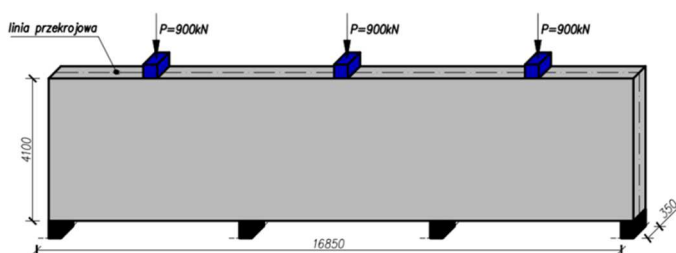
$$\beta \geq \beta_d \quad (4)$$

gdzie:

β – obliczona wartość globalnego wskaźnika niezawodności,
 β_d – graniczna wartości wskaźnika niezawodności zależna od wymagań (nośność lub użytkowanie) oraz przewidywanego okresu użytkowania.

3. Charakterystyka tarczy żelbetowej

Przedmiotem szczegółowej analizy była trójprzęsłowa tarcza żelbetowa o rozpiętości przęsła 5,5 m, wysokości 4,10 m i szerokość 0,35 m. Tarcza ta stanowi podporę dla opartych na niej elementów belkowych. Obciążenie przekazywane z belek o szerokości 40 cm zastąpiono siłami skupionymi i przyłożonymi w środku rozpiętości każdego z przęseł tarczy, według schematu pokazanego na Rys.1.



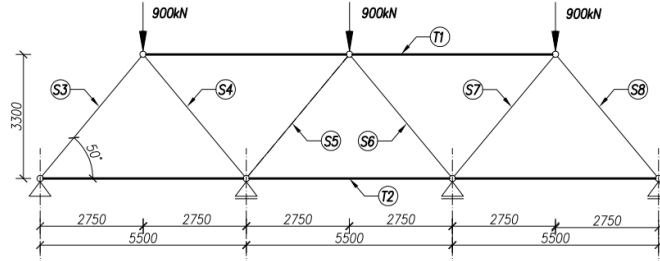
Rys. 1. Schemat tarczy rozpatrywanej w przykładzie

Fig. 1. Scheme of the shield considered in the example

Przyjęto następujące właściwości materiałowe i parametry obciążenia:

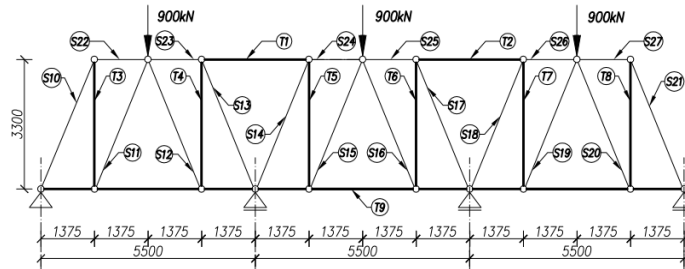
- stal zbrojeniowa
 $f_{ym} = 575 \text{ MPa}$, $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$; $f_{yd} = 435 \text{ MPa}$, $v_y = 0,08 = 8\%$
 $\sigma_y = v_y \cdot f_{ym} = 0,08 \cdot 575 = 46 \text{ MPa}$
- beton C30/37
 $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$; $f_{cd} = 21,43 \text{ MPa}$, $f_{cm} = 38 \text{ MPa}$, $\sigma_c = 4,86 \text{ MPa}$
- obciążenia:
 $v_p = 0,15$, $p_d = 900 \text{ kN}$; $p_k = 667 \text{ kN}$
 $\bar{p} = p_k / (1 + 1,645 v_p) = 667 / (1 + 1,645 \cdot 0,15) = 535 \text{ kN}$
 $\sigma_p = v_p \cdot \bar{p} = 0,15 \cdot 535 = 80,21 \text{ MPa}$

Korzystając z nieodpłatnego programu CAST do optymalizacji kształtu kratownicy zastępczej, na podstawie obrazu trajektorii naprężeń głównych, przyjęto trzy modele ST analizowanej tarczy. Pierwszy model, oznaczony symbolem ST1, stanowi najprostszą konstrukcję prętową, statycznie wyznaczalną, z rozciąganiem tylko prętami poziomymi. Drugi model, oznaczony symbolem ST2, to konstrukcja prętowa również statycznie wyznaczalna ale z rozciąganiem prętami poziomymi i pionowymi. Trzeci model to konstrukcja prętowa statycznie niewyznaczalna, z rozciąganiem prętami poziomymi i pionowymi. Rozpatrywane modele przedstawiono schematycznie na rysunkach: Rys. 2, Rys. 3, Rys. 4.



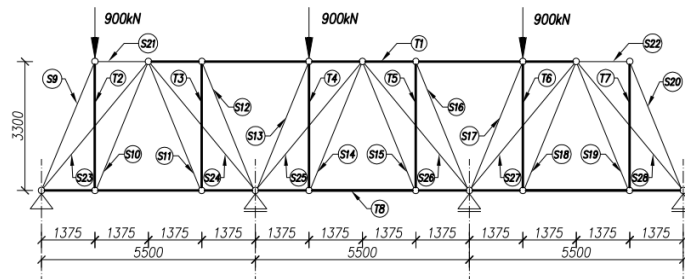
Rys. 2. Schemat modelu ST1

Fig. 2. Scheme of the model ST1



Rys. 3. Schemat modelu ST2

Fig. 3. Scheme of the model ST2



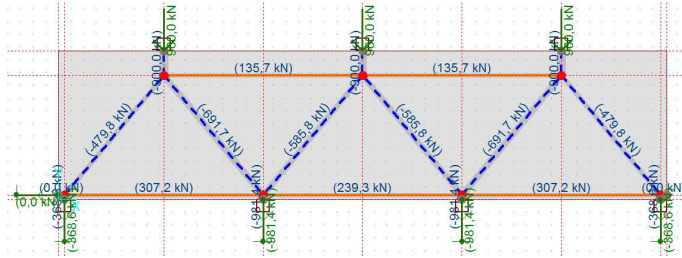
Rys. 4. Schemat modelu ST3

Fig. 4. Scheme of the model ST3

Analizę modeli przeprowadzono iteracyjnie w programie CAST [12] z uwzględnieniem sztywności elementów oraz sprawdzeniem warunków w węzłach. Prętom rozciągającym nadano charakterystyki prętów zbrojonych wynikających z przeprowadzonych obliczeń, natomiast prętom ściskającym nadano kształt butelkowy, ograniczając wartości przenoszonych przez nie naprężeń do poziomu:

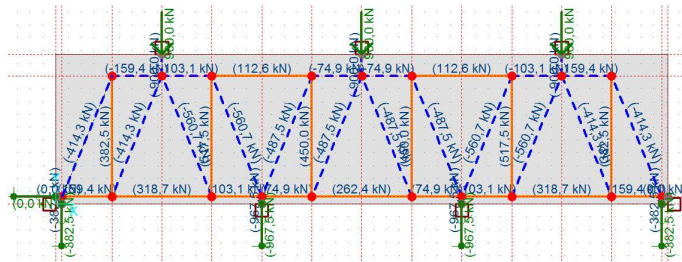
$$\sigma_{cd,max} = v \cdot f_{cd} = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) f_{cd} = 11,31 \text{ MPa} \quad (5)$$

Uzyskane siły przekrojowe i reakcje dla analizowanych modeli pokazano na rysunkach: Rys.5a, Rys.5b, Rys.5c.



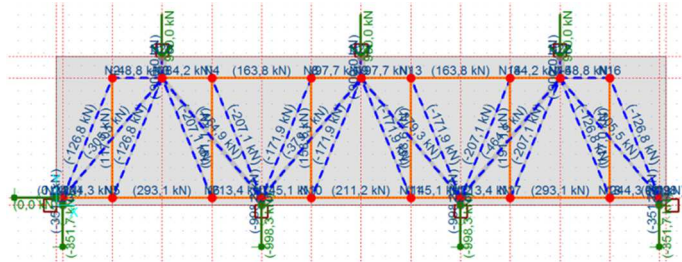
Rys. 5a. Siły osiowe oraz reakcje podporowe w prętach modelu kratownicowego ST1

Fig. 5a. Axial forces and support reactions in the rods of the truss of ST1 model



Rys. 5b. Siły osiowe oraz reakcje podporowe w prętach modelu kratownicowego ST2

Fig. 5b. Axial forces and support reactions in the rods of the truss of ST2 model



Rys. 5c. Siły osiowe oraz reakcje podporowe w prętach modelu kratownicowego ST3

Fig. 5c. Axial forces and support reactions in the rods of the truss of ST3 model

Na podstawie otrzymanych z obliczeń wartości sił przekrojowych w każdym z analizowanych modeli wyznaczono powierzchnię przekroju poprzecznego, liczbę i kształt potrzebnego zbrojenia oraz sprawdzono warunki nośności węzłów.

Wymagane zbrojenie tarczy odpowiadające poszczególnym, rozpatrywanym w przykładzie modelom ST zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie zbrojenia tarczy wynikającego z analizy poszczególnych modeli ST

Table 1. Summary of the reinforcement of the shield resulting from the analysis of the individual ST models

Rodzaj zbrojenia	Model ST1	Model ST2	Model ST3
główne przeszłowe	4#16	3#16 + 2#16	5#12 + 2#12
główne podporowe	6#10	4#10	4#10 + 2#10
konstrukcyjne	#10 co 20 cm	#10 co 20 cm	#10 co 20 cm

4. Niezawodność modeli rozpatrywanych w przykładzie

W przeprowadzonych analizach przyjęto klasę niezawodności konstrukcji RC2 i okres użytkowania 50 lat, co determinuje graniczną wartość wskaźnika niezawodności na poziomie $\beta_d = 3,8$. Wskaźniki niezawodności analizowanej tarczy w zależności od przyjętego modelu ST, obliczono metodą probabilistyczną poziomu 2.

Pierwsza rozważana konstrukcja prętowa, opisana modelem ST1, ma szeregową strukturę niezawodnościową. Osiągnięcie stanu granicznego tego rodzaju konstrukcji zdefiniowano jako zniszczenie co najmniej jednego pręta i przemieszanie tego rodzaju konstrukcji w mechanizm. W przeprowadzonych analizach przyjęto pełną korelację dla poszczególnych elementów pasa górnego i dolnego rozpatrywanej kratownicy oraz brak korelacji pomiędzy krzyżulcami.

Dla poszczególnych elementów analizowanej kratownicy wyznaczono wskaźniki niezawodności β_i , ich niezawodności q_i oraz zawodności P_{fi} , które zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Niezawodność elementów modelu ST1

Table 2. Reliability of the members of the structure modeled by the ST1 model

Nr el.	A_{si} [mm ²]	β_i	q_i	P_{fi}
T1	471	7,4532	0,99999999999995	0,05e-12
T2	804	6,0189	0,9999999991219	8,78e-10
S3, S8	42407	4,8391	0,9999993478089	6,52e-07
S4, S7	61250	4,8449	0,9999993665380	6,33e-07
S5, S6	51800	4,8406	0,9999993526284	6,47e-07

Niezawodność całego systemu w tym przypadku wynosi zatem:

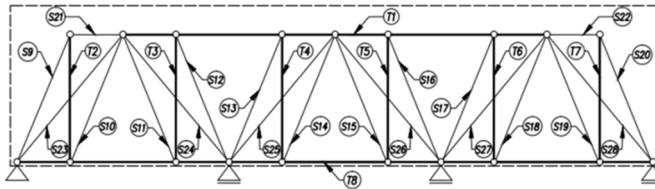
$$q = \prod_{i=1}^n q_i = q_1 q_2 q_3 q_4 q_5 q_6 q_7 q_8 = 0,999996133079 \rightarrow \beta = 4,4724$$

Stąd zawodność:

$$P_f = 1 - q = 1 - 0,999996133079 = 0,39 \cdot 10^{-5}$$

Analogiczne obliczenia przeprowadzono dla modelu ST2. Otrzymano wskaźnik niezawodności na poziomie $\beta = 4,2575$, natomiast zawodność tego systemu wynosiła $P_f = 1,03 \cdot 10^{-5}$.

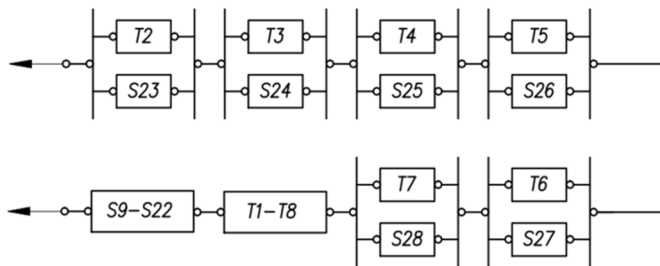
Trzecia rozważana konstrukcja prętowa ma równoległo - szeregową strukturę niezawodnościową. Osiągnięcie stanu granicznego tej konstrukcji zdefiniowano jako zniszczenie jednego z zestawu krzyżujących się ze sobą prętów kratownicy wraz z jednym z pozostałych jej elementów. Z prętów wyróżnionych pogrubioną linią na Rys. 6 utworzono bloki, w których elementy systemu połączone są ze sobą w sposób równoległy.



Rys. 6. Oznaczenia elementów w modelu niezawodnościowym kratownicy ST3

Fig. 6. Designation of the members in the truss model ST3

Wydzielone bloki wraz z pozostałymi elementami rozpatrywanej kratownicy tworzą szeregową strukturę niezawodnościową przedstawioną szczegółowo na Rys. 7.



Rys. 7. Schemat struktury niezawodnościowej elementów kratownicy ST3

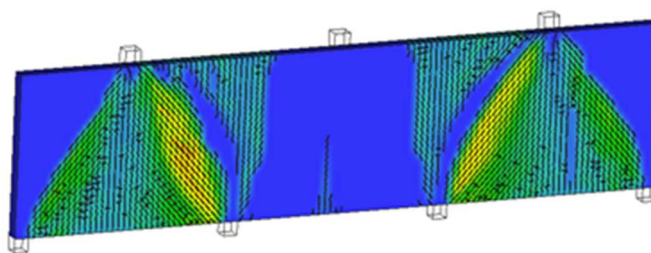
Fig. 7. Scheme of the structure of the truss ST3

Ostatecznie system modelowany kratownicą ST3 charakteryzował się wskaźnikiem niezawodności na poziomie:

$$\beta = 4,3245 \text{ i zawodnością: } P_f = 0,76 \cdot 10^{-5}.$$

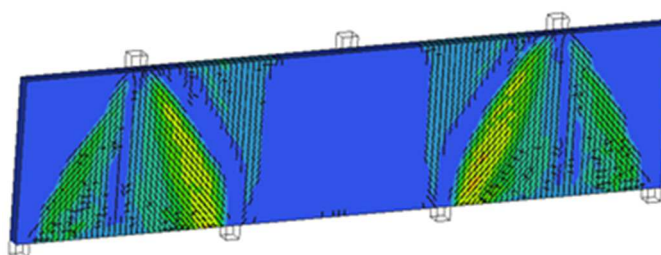
4. Numeryczna weryfikacja analizowanych tarczy

W celach kontrolnych w programie ATENA przeprowadzono symulacje numeryczne analizowanej tarczy. Wygenerowano trzy modele 3D wraz z odpowiednio dobranym zbrojeniem odpowiadającym poszczególnym, opisanym wcześniej, modelom kratownicowym. Analizowano stany graniczne nośności i użytkowości. Symulacje numeryczne wykazały, że zbrojenie przyjęte na podstawie modeli ST w każdym z analizowanych przypadków spełnia ze znacznym zapasem warunki nośności. Nie były również przekroczone dopuszczalne wartości naprężeń ściskających w betonie. Dla obciążenia na poziomie 900 kN nie zaobserwowano powstania istotnych zarysowań a pomierzone ugięcia analizowanych tarcz nie przekraczały wartości 0,5mm. Dopiero przy wzroście obciążenia do poziomu 2700 kN, zauważono wpływ ukształtowania zbrojenia na morfologię obserwowanego zarysowania. Morfologię takiego zarysowania przedstawiono na Rys. 8, odpowiednio na Rys. 8a dla kratownicy ST1, na Rys. 8b dla kratownicy ST2 i na Rys. 8c dla kratownicy ST3.



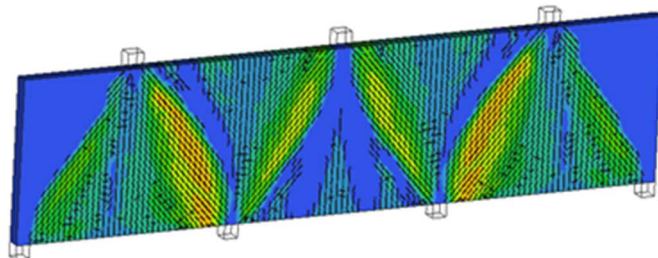
Rys. 8a. Mapy obserwowanego zarysowania dla obciążenia na poziomie 2,7MN dla modelu ST1

Fig. 8a. Crack patterns observed in the analysed shield for external load on the level 2,7MN for the truss ST1



Rys. 8b. Mapy obserwowanego zarysowania dla obciążenia na poziomie 2,7MN dla modelu ST2

Fig. 8b. Crack patterns observed in the analysed shield for external load on the level 2,7MN for the truss ST2



Rys. 8c. Mapy obserwowanego zarysowania dla obciążenia na poziomie 2,7MN dla modelu ST3

Fig. 8c. Crack patterns observed in the analysed shield for external load on the level 2,7MN for the truss ST3

5. Podsumowanie i wnioski

Wyniki przeprowadzonych analiz dotyczących kształtowania zbrojenia tarcz na podstawie modeli ST oraz weryfikację poziomu ich niezawodności zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki przeprowadzonych analiz

Table 3. Results from the performed analysis

Model	Całkowita masa użytej stali [kg]	Globalny wskaźnik niezawodności β
ST1	1216	4,4724
ST2	1204	4,2575
ST3	1170	4,3245

Przeprowadzona analiza numeryczna tej samej tarczy ale o różnie ukształtowanym zbrojeniu potwierdza, że projektowanie z zastosowaniem modeli ST pozwala na zapewnienie nośności elementu. Jest to jednak metoda wymagająca od projektanta umiejętności ukształtowania zbrojenia zgodnie z przewidywanym mechanizmem zniszczenia a także również z prognozowanym przebiegiem zarysowania.

Konstrukcje projektowane z wykorzystaniem modeli kratownicowych ST mają ściśle określoną strukturę niezawodnościową. Pozwala to na pewniejsze oszacowanie ich niezawodności. W tradycyjnym obliczaniu niezawodność konstrukcji jest równa niezawodności określonej w przekroju krytycznym, co może skutkować zawyżoną wartością globalnego wskaźnika niezawodności. W zależności od rozpatrywanego modelu kratownicowego, osiągnął on wartość odpowiednio: dla modelu kratownicy ST1 - $\beta = 4,47$, dla modelu kratownicy ST2 - $\beta = 4,26$, dla modelu kratownicy ST3 - $\beta = 4,32$. Największy wskaźnik niezawodności osiągnął zatem model kratownicowy ST1, charakteryzujący się naj-

prostsza strukturą niezawodnościową ale przy tym największym zużyciem stali zbrojeniowej. Jest to również model wymagający od projektanta największego doświadczenia w kształtowaniu zbrojenia, bowiem nie uwzględnia wymaganego zbrojenia pionowego. Z kolei najmniejszą wartość wskaźnika niezawodności osiągnięto dla modelu kratownicy ST2, statycznie wyznaczalnego ale zarazem uwzględniającego potrzebę odrębnego ukształtowania zbrojenia pionowego.

Jak wykazały symulacje numeryczne, rodzaj modelu ST a zarazem sposób ukształtowania zbrojenia nie wpływał istotnie na nośność, obraz zarysowania czy odkształcenia. Uwzględniając zatem niezawodność układu i ciężar wyznaczonego zbrojenia można stwierdzić, że najkorzystniejszym modelem jest model ST3 o najmniejszym zużyciu stali zbrojeniowej i równocześnie korzystnym wskaźniku niezawodności.

Przeprowadzona analiza niezawodności tarcz o zbrojeniu ukształtowanym za pomocą trzech modeli kratownicowych o zróżnicowanej topologii, pokazuje że weryfikacja modeli ST powinna być zagadnieniem wielokryterialnym, tak aby otrzymane modele charakteryzowała dostateczna sztywność przy założonej objętości lub masie oraz równocześnie maksymalna możliwa do uzyskania niezawodność.

Literatura

- [1] Wranik J.: Obliczanie konstrukcji żelbetowych za pomocą modeli prętowych, Wyższa Szkoła Inżynierska w Opolu, Opole 1993.
- [2] Schlaich J., Schafer K.: Toward a Consistent Design of Structures. Journal of the Prestressed Concrete Institute, May-June 1987, pp. 74-150.
- [3] Starosolski W.: Konstrukcje żelbetowe według Eurokodu 2 i norm związanych, T.3, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
- [4] PN-EN 1992. Projektowanie konstrukcji z betonu Część 1-1. Reguły ogólne i reguły dla budynków, PKN, Warszawa 2008.
- [5] Zalewski W.: Projektowanie żelbetowych konstrukcji przestrzennych. Części I,II, III. BISTYP, Warszawa, 1955.
- [6] Bołbotowski K., Knauff M., Sokół T.: Zastosowanie optymalizacji topologicznej w projektowaniu konstrukcji żelbetowych z wykorzystaniem modeli "Strut and Tie". Budownictwo i Architektura. 2013.
- [7] Woliński Sz.: Wspomagana badaniami analiza konstrukcji żelbetowych za pomocą modeli ST. Budownictwo i Inżynieria Środowiska, z. 57(2/10).
- [8] Nowak A.S., Collins K.R.: Reliability of Structures. McGraw-Hill Higher Education, 2000.
- [9] Woliński Sz., Wróbel K.: Niezawodność konstrukcji budowlanych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2001.
- [10] Murzewski J.: Niezawodność konstrukcji inżynierskich. Arkady, Warszawa 1989.
- [11] PN-EN 1990:2002: Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji. PKN, Warszawa 2004.
- [12] CAST, <http://dankuchma.com/stm/CAST>, data dostępu: 30.11.2014.

RELIABILITY ANALYSIS OF CONCRETE SHIELD DESIGNED USING THE STRUT AND TIE METHOD

S u m m a r y

In this article the results of the performed analyses as well as of the numerical simulations of concrete shields, designed using strut and tie method and taking into account the reliability structure proposed by three different ST models, are presented and discussed in detail. The reliability of the truss systems were calculated tested when using the three different reinforcement. corresponding to schemes such the models. The analysis showed that with regard to the reliability being a primary objective in structural design, the use of a strut and tie method in the analysis of nonlinear stress distributious provides a safe solution.

Keywords: strut – and - tie models, concrete, reliability, shield, numerical simulation

Przesłano do redakcji: 1.12.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Arkadiusz KAMPCZYK¹

GEOMETRIA PRZEJAZDU KOLEJOWO-DROGOWEGO KATEGORII D

Przejazdy kolejowe stanowią specyficzny element infrastruktury kolejowej. Obciążenie ruchu jednopoziomowych skrzyżowań linii kolejowych z drogami kołowymi zwiększa prawdopodobieństwo powstania wypadku. Bezpieczeństwo na przejazdach kolejowo-drogowych zależy od stanu jego geometrii, od zachowań uczestników ruchu drogowego, prawidłowego wykonywania zadań przez zarządców infrastruktury kolejowej oraz drogowej. W pracy omówiono zagadnienia dotyczące pomiarów geometrii przejazdów kolejowo-drogowych kategorii D z uwzględnieniem pomiarów autorskich. W pomiarach użyto przykładowo magnetyczno-pomiarowej (ang. magnetic-measuring square – MMS) z:

- tarczą pomiarową,
 - nasadką dalmierczą wyposażoną w dalmierz laserowy,
 - minipryzmatem GMP111,
 - metrem zwijanym,
- oraz tachymetrem TC407 Leica nr 697413.

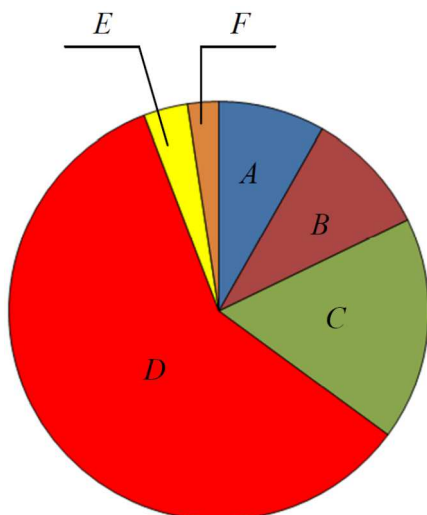
Pomiary geometrii zostały wsparte pracami diagnostycznymi dotyczącymi przejazdów. Regulacje prawne wynikające z Rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 20 października 2015 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać skrzyżowania linii kolejowych oraz bocznic kolejowych z drogami i ich usytuowanie, wprowadzają obligatoryjność sporządzania dokumentacji techniczno-eksploatacyjnej przejazdu kolejowo-drogowego lub przejścia zwaną metryką przejazdu kolejowo-drogowego/przejścia. Metryka ta wymaga uzyskania wpisów danych będących wynikami prac geodezyjnych i prac diagnostycznych. Tematyka przejazdów kolejowo-drogowych została negatywnie oceniona w Raporcie Najwyższej Izby Kontroli (NIK) dotyczącym bezpieczeństwa ruchu na przejściach i przejazdach kolejowo-drogowych (KIN.410.003.00.2016/Nr ewid. 200/2016/P/16/029/KIN). Najpoważniejsze nieprawidłowości dotyczą metryk przejazdowych. W celu prawidłowego wykonania pomiarów geometrycznych przejazdów, wymagane jest posiadanie dodatkowych specjalistycznych przyrządów pomiarowych. W pracy przedstawiono autorskie spostrzeżenia i wnioski. Artykuł został wykonany w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.150.005.

Słowa kluczowe: przejazd, trójkąt widzialności, metryka przejazdu, pomiar przejazdu, przejście, przejazd kolejowo-drogowy, przykładowa magnetyczno-pomiarowa, MMS, geometria przejazdu kolejowo-drogowego

¹ Arkadiusz Kampczyk, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Katedra Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: kampczyk@agh.edu.pl lub arkadiusz.kampczyk@gmail.com

1. Wprowadzenie

Przejazd kolejowo-drogowy stanowi specyficzny element infrastruktury kolejowej. Według ustawy o transporcie kolejowym z dnia 28 marca 2003 r. [1] elementem składowym infrastruktury kolejowej są przejazdy kolejowo-drogowe i przejścia w poziomie szyn, w tym urządzenia i systemy służące zapewnieniu bezpieczeństwa ruchu drogowego i pieszego. Pod warunkiem, że tworzą część linii kolejowej, bocznic kolejowej lub innej drogi kolejowej, albo są przeznaczone do zarządzania nimi, obsługi przewozu osób lub rzeczy, bądź ich utrzymania. Przejazd w poziomie szyn (ang. level crossing) stanowi jednopoziomowe skrzyżowanie drogi kołowej z torem lub torami kolejowymi (przejazd kolejowo-drogowy). W zależności od sposobu zabezpieczenia, dzielą się na sześć kategorii: *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F*. Ich charakterystyka została zawarta w pracy [2] i wynika z [3].



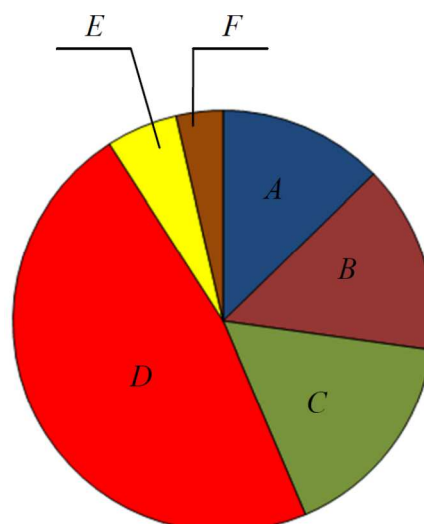
Rys. 1. Udział procentowy wypadków na przejazdach i przejściach przez tory w podziale na kategorie przejazdów w 2015 r. na terenie Polski: kategoria *A*: 8,2%; kategoria *B*: 9,6%; kategoria *C*: 17,3%; kategoria *D*: 59,1%; kategoria *E*: 3,4%; kategoria *F*: 2,4% (opracowano na podstawie [4])

Fig. 1. Percentage of accidents at passage and level railroad crossings by category crossings in 2015 in Poland: Category *A*: 8,2%; Category *B*: 9,6%; Category *C*: 17,3%; Category *D*: 59,1%; Category *E*: 3,4%; Category *F*: 2,4% (based on [4])

Kategoria *D* – to przejazdy kolejowo-drogowe, które nie są wyposażone w systemy i urządzenia zabezpieczenia ruchu. Przejazdy tej kategorii obejmują skrzyżowania linii kolejowych lub bocznic kolejowych z drogami publicznymi, na których [3]:

- iloczyn ruchu jest mniejszy od liczby 60000, a ruch kolejowy na danym odcinku linii kolejowej lub bocznic kolejowej jest prowadzony z prędkością maksymalną nie większą niż 120 km/h oraz są spełnione warunki widoczności wskazane w części B załącznika nr 3 do rozporządzenia [3],
- bez względu na warunki widoczności dopuszczalna prędkość pociągu na przejeździe kolejowo-drogowym nie przekracza 20 km/h.

Zakwalifikowanie przejazdu do określonej kategorii jest uzależnione od iloczynu ruchu, prędkości pociągów i liczby torów głównych, których przecina droga. Przez iloczyn ruchu należy rozumieć iloczyn liczby pojazdów drogowych i pociągów przejeżdżających przez przejazd kolejowo-drogowy w ciągu doby. Przejazdy kolejowo-drogowe i przejścia mogą być stosowane na liniach kolejowych i bocznicach kolejowych, na których ruch kolejowy jest prowadzony z prędkością nie większą niż 160 km/h.

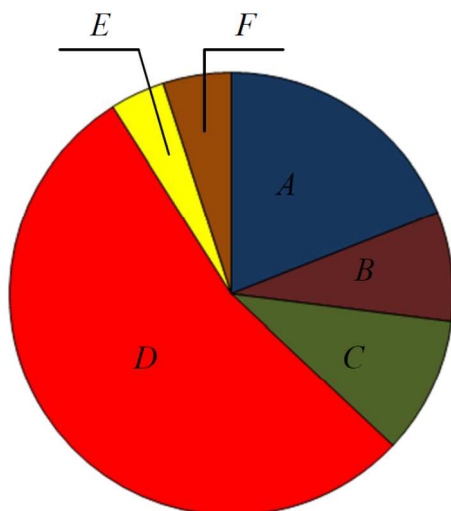


Rys. 2. Udział procentowy ofiar śmiertelnych według kategorii przejazdów w 2015 r. na terenie Polski: kategoria A: 12,7%; kategoria B: 14,5%; kategoria C: 16,4%; kategoria D: 47,3%; kategoria E: 5,5%; kategoria F: 3,6% (opracowano na podstawie [4])

Fig. 2. Percentage of fatalities by category level railroad crossings in 2015 in Poland: Category A: 12,7%; Category B: 14,5%; Category C: 16,4%; Category D: 47,3%; Category E: 5,5%; Category F: 3,6% (based on [4])

Największą liczbą wypadków charakteryzują się przejazdy o najmniejszym stopniu ochrony przed wypadkami. Z raportu NIK dotyczącego bezpieczeństwa ruchu na przejściach i przejazdach kolejowo-drogowych [4] wynika, że największy udział procentowy wypadków na przejazdach i przejściach przez tory w 2015 r. występował na przejazdach kategorii D, wynosząc aż 59,1% (rys. 1).

Z kolei udział procentowy ofiar śmiertelnych też wystąpił na przejazdach tej kategorii, osiągając aż 47,3% (rys. 2). Aż 54,0 % na terenie Polski stanowią przejazdy kategorii *D* (rys. 3), będące przejazdami użytku publicznego bez rogatek i półrogatek oraz bez urządzeń ostrzegawczych, oznakowane jedynie znakiem drogowym i wymagające zachowania geometrii trójkątów widzialności.



Rys. 3. Udział procentowy ilości przejazdów kolejowo-drogowych i przejść w zależności od ich kategorii w 2015 r. na terenie Polski (na sieci ogólnodostępnej i wydzielonej): kategoria *A*: 19,0%; kategoria *B*: 8,0%; kategoria *C*: 10,0%; kategoria *D*: 54,0%; kategoria *E*: 4,0%; kategoria *F*: 5,0% (opracowano na podstawie [4])

Fig. 3. Percentage share of level railroad crossings and passage according to their category in 2015 in Poland (on public and private networks): Category *A*: 19.0%; Category *B*: 8.0%; Category *C*: 10.0%; Category *D*: 54.0%; Category *E*: 4.0%; Category *F*: 5.0% (based on [4])

Pomiary sprawdzające stanu geometrii warunków widoczności czoła pociągu z drogi publicznej przed przejazdem kolejowo-drogowym (trójkąty widoczności) wykonano z użyciem przykładnicy magnetyczno-pomiarowej (ang. magnetic-measuring square – MMS) oraz tachymetrem TC407 Leica nr 697413. Pomiary przeprowadzono dnia 01.06.2017 r. na przejeździe kolejowo-drogowym kategorii *D* (opracowanie danych 30.06.2017 r.). Przejazd obejmuje linię kolejową dwutorową o prędkości maksymalnej $V_{max} = 120$ km/h zarówno w torze numer 1, jak i 2. Celem przeprowadzonych badań było określenie istniejącej geometrii widoczności przejazdu kolejowo-drogowego zgodnie z obowiązującymi regulacjami prawnymi z zastosowaniem autorskich przyrządów pomiarowych. Jednocześnie, zwracając też uwagę na wymogi zapisów

w dokumentacji techniczno-eksploatacyjnej przejazdu kolejowo-drogowego lub przejścia zwaną metryką przejazdu kolejowo-drogowego/przejścia [3]. Na przełomie lat 1996/2000 wyniki pomiarów były dokumentowane na formularzu serii D-819 2722-018-01 – Metryka przejazdu lub przejścia w poziomie szyn. Druk ten zawierał dane, zgodne z wówczas obowiązującym rozporządzeniem [5], był również prowadzony protokół z badania diagnostycznego przejazdu kolejowo-drogowego, którego wyniki były ujęte w protokole rocznym. Artykuł stanowi część kompleksowych badań z zastosowaniem przykładnicy magnetyczno-pomiarowej. W artykule przedstawiono autorskie spostrzeżenia i wnioski. Praca niniejsza została wykonana w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.150.005.

2. Przegląd i analiza wybranej literatury przedmiotu badań

Sancewicz w pracy [6] stwierdza, że przejazd kolejowy musi spełniać warunki techniczne dotyczące widoczności, oświetlenia, pochylenia drogi przy podejździe do przejazdu, kąta skrzyżowania drogi z torem. Nawierzchnia kolejowa w obrębie przejazdu powinna mieć ten sam standard konstrukcyjny co nawierzchnia toru przylegającego do przejazdu. Szerokość nawierzchni drogowej na przejeździe powinna odpowiadać szerokości drogi przed przejazdem. Jednocześnie zauważa, że przejazd jest dla drogi kolejowej miejscem newralgicznym, przerywającym jednorodność podtorza i nawierzchni, co ma niekorzystny wpływ na parametry techniczne toru. Konstrukcja nawierzchni przejazdu wewnątrz toru powinna zapewnić swobodne przejście obrzeży kół taboru kolejowego. Zalecane jest prowadzenie pomiarów diagnostycznych, określających stan szerokości i głębokości żłobków.

Cieślakowski i Rudzki w [7] stwierdzają, że przejazdy kolejowo-drogowe są miejscem najbardziej narażonym na występowanie kolizji i wypadków. W systemie bezpieczeństwa ruchu drogowego i kolejowego są one jednym z najbardziej niebezpiecznych punktów sieci komunikacyjnej. Zauważają, że przy zaliczeniu przejazdów do poszczególnych kategorii uwzględnia się również występujące czasowo lub sezonowo złe warunki widoczności.

Z kolei Młyńczak i Celiński w [8] przedstawili monitoring kierowców pojazdów przewożących towary niebezpieczne i wrażliwe w obszarze przejazdów kolejowych. Metodologię oparto na pomiarze zachowania kierowców z wykorzystaniem urządzenia do śledzenia ruchów gałek ocznych tzw. eye tracking oraz zamontowaniu na pokładzie pojazdu testowego akcelerometru (smartfon). Zastosowany układ pomiarowy umożliwił badanie charakterystyki procesu percepcji kierowcy w zakresie otoczenia zewnętrznego w obszarze przejazdów kolejowych. Stwierdzili, że jakiegokolwiek nieprawidłowości zaistniałe w trakcie pokonywania przejazdu kolejowego niosą za sobą skutki znacznie przekraczające swoim zasięgiem obszar przejazdu kolejowego [8]. Pomiary tego typu wskazują na istotne elementy w otoczeniu przejazdu kolejowego, które powinny być przedmiotem szczególnej uważności kierowcy. Potwierdzili również, że wyniki

przedmiotowych pomiarów mogą być wykorzystane w celu polepszenia organizacji ruchu w obszarze przejazdów kolejowych. Odniesiono się również do pomiaru zachowania maszynistów pociągów w obszarze przejazdów kolejowych z uwagi na istotne w tym miejscu interakcje obu strumieni ruchu: drogowego i kolejowego.

W pracy [2] zawarto wyniki prac nad geometrycznymi warunkami widoczności przejazdów kolejowo-drogowych, które zostały uzyskane z zastosowaniem autorskich adapterów służących do montażu przyrządów geodezyjnych na toromierzu manualnym lub cyfrowym. W pomiarach użyto również przykładnicy magnetyczno-pomiarowej z tarczą.

W Polsce występuje brak stosownej literatury z zakresu tematyki prowadzenia prac pomiarowych i dokumentowania geometrii przejazdów kolejowo-drogowych. Dotychczas prace pomiarowe są prowadzone poprzez stosowanie metody wizualnej, która polega na komisyjnej obserwacji w zwykłych warunkach atmosferycznych czoła zbliżającego się pojazdu szynowego (latarni sygnałowych czoła), z odległości 5, 10, 20 m w osi drogi kołowej.

W literaturze zagranicznej Tey, Ferreira i Wallace w [9] stwierdzają, że przejazdy kolejowe są jednym z najbardziej złożonych systemów kontroli bezpieczeństwa drogowego, szczególnie ze względu na konflikty występujące pomiędzy pojazdami i drogami kołowymi a infrastrukturą i taborem kolejowym. Opisali i porównali wyniki reakcji kierowcy zarówno bezpośrednio w terenie, jak i z użyciem symulatora jazdy. Stwierdzono, że różne systemy ostrzegawcze powodują zróżnicowane reakcje kierujących. Wyniki pokazały, że średnie reakcje kierowców na pasywnych przejazdach były niezadawalające w porównaniu do reakcji na przejazdach aktywnych.

Salmane, Khoudour i Ruichek w [10] twierdzą, że bezpieczeństwo na przejazdach kolejowo-drogowych jest kwestią priorytetową dla dziedziny inteligentnych systemów transportowych. Zaprezentowali wyniki badań oparte na systemie wideo. Przedstawiony system wykrywa i dokonuje śledzenia obiektu na przejeździe poprzez dedykowane czujniki wideo. Zastosowano model „Hidden Markov Model” w celu rozpoznania idealnych trajektorii wykrytych obiektów podczas śledzenia. Poziom ryzyka zagrożenia szacowany jest natychmiast, z zastosowaniem techniki syntezy danych „Dempster-Shafer”. Scenariusze zagrożeń są testowane i oceniane:

- z obecnością przeszkód w przekraczaniu przejazdów kolejowo-drogowych,
- z obecnością linii pojazdów zatrzymanych,
- zygzakowanie pojazdów między dwoma zamkniętymi pół-barierami.

Z kolei Wullems, Hughes i Nikandros w [11] przedstawili modele ryzyka oszacowania prawdopodobieństwa kolizji na przejazdach kolejowych, wykazując wpływ różnic w integralności bezpieczeństwa na prawdopodobieństwo zderzenia. Przedstawiony scenariusz ilustruje zwiększenie korzyści w zakresie bezpieczeństwa za pomocą konwencjonalnych urządzeń ostrzegawczych.

Sever w pracy [12], uwzględnia klasyfikację przejazdów kolejowo-drogowych zalecaną przez Europejską Agencję Kolejową, w której dzielą się one na:

1. Pasywne, chronione znakami drogowymi.
2. Aktywne, zabezpieczone urządzeniami sterowania ruchem kolejowym.

Zauważa też, że w Słowenii większość wypadków miała miejsce na pasywnych przejazdach kolejowo-drogowych. Spostrzega, że bezpieczeństwo ruchu na pasywnych przejazdach jest ściśle uzależnione od pola widzenia. Obok znaków drogowych, obszar widoczności jest jedynym i istotnym środkiem zapewniającym bezpieczeństwo ruchu na pasywnych przejazdach kolejowo-drogowych. Środkiem zapewniającym bezpieczeństwo jest zachowanie geometrii trójkątów widoczności/pola widoczności – z dala od wszelkich przeszkód.

Za bezpieczeństwo na przejazdach kolejowo-drogowych w Republice Słowenii odpowiedzialna jest Agencja Ruchu Kolejowego Republiki Słowenii (z sl. Javna agencija za železniški promet Republike Slovenije, z ang. Public Agency of the Republic of Slovenia for Railway Transport). Renomy bezpieczeństwa zostały zawarte w [13], które określają, że wartość kąta skrzyżowania powinna być jak najbardziej zbliżona do kąta prostego, a nie może być mniejsza niż 75° .

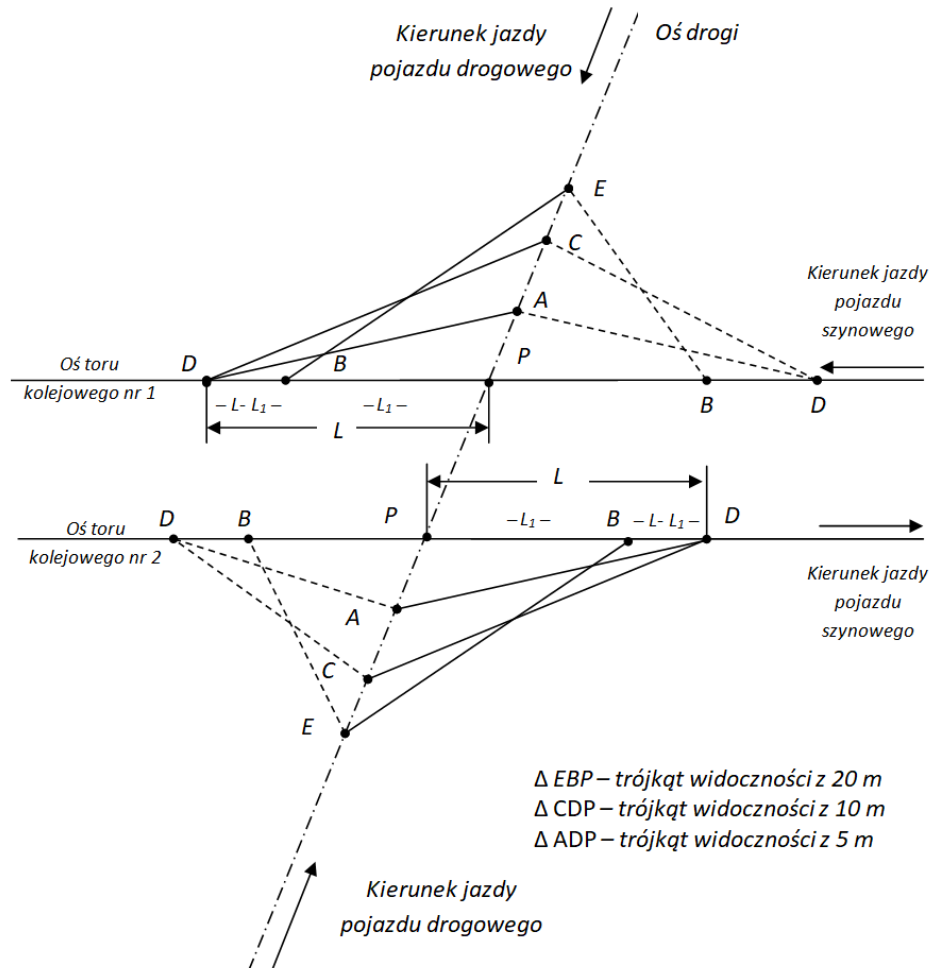
Gikas w [14] zaprezentował rozwiązanie przyłożenia miniprzyzmatu GMP111 do punktu szyny rowkowej. Jednak ono nie ma bezpośredniego zastosowania w szynach typu kolejowego.

3. Warunki widoczności czoła pociągu z drogi publicznej

Zarządcy kolei i zarządcy drogi kołowej zobowiązani są do przeprowadzenia kontroli sprawdzających warunki widoczności przejazdów kolejowo-drogowych i przejść [3]:

- raz w roku, po okresie wzrostu roślinności, pomiędzy czerwcem a wrześniem,
- po każdym wypadku.

W zwykłych warunkach atmosferycznych czoło zbliżającego się pociągu (latarnie sygnałowe jego czoła), powinny być widoczne dla kierujących pojazdami drogowymi z odległości 20 m, mierzonej od skrajnej szyny po osi jezdni, przez cały czas zbliżania się pojazdu do przejazdu kolejowo-drogowego kategorii *D*. Warunki geometryczne przeprowadzenia pomiarów sprawdzających widoczność czoła pociągu z drogi publicznej przed przejazdem kolejowo-drogowym (trójkąty widoczności) przedstawia rys. 4. Widoczność pociągu z drogi publicznej ustala się dla obu stron przejazdu kolejowo-drogowego. Z punktu obserwacyjnego *E* tj. 20 m od przejazdu kolejowo-drogowego, czoło pociągu powinno być widoczne począwszy od punktu *B*. Gdy pojazd drogowy zbliża się do przejazdu kolejowo-drogowego odcinek widoczności pociągu powinien się zwiększyć, tak aby z odległości 10 m od skrajnej szyny (punkt *C*) czoło pociągu było widoczne co najmniej od punktu *D* (rys. 4).



Rys. 4. Geometryczne warunki sprawdzania widoczności czoła pociągu z drogi publicznej przed przejazdem kolejowo-drogowym – trójkąty widoczności (opracowanie własne)

Fig. 4. Geometric conditions for checking the visibility of a „train's face” from on the public road before a level railroad crossings – visibility triangles (own elaboration)

Rozporządzenie [3] dopuszcza ze względu na warunki miejscowe, odstępstwo od powyższych zaleceń, pod warunkiem, że czoło pociągu będzie widoczne z drogi publicznej, co najmniej 5 m od skrajnej szyny tj. punkt obserwacyjny A na całym odcinku L , począwszy od punktu D. W przypadku gdy nie są spełnione warunki widoczności dla maksymalnej prędkości rozkładowej z odległości 5 m, wówczas należy określić prędkość pociągów, przy której są spełnione warunki widoczności z odległości 5 m. Prędkość pociągów obowiązuje na całej długości L . Gdy dla określonej prędkości pociągu widoczność jest zachowana

tylko z odległości 5 m należy przy drodze kołowej z obu stron przejazdu kolejowo-drogowego kategorii *D* ustawić znak drogowy *B-20* „stop”. Dodatkowo na drodze bitumicznej i betonowej należy określić poprzez namalowanie poziomych linii zatrzymania pojazdu. W pasie drogowym na odcinku do 20 m z każdej strony przejazdu mierzonego od skrajnej szyny nie powinny być zlokalizowane żadne urządzenia, reklamy lub inne przedmioty które mogą powodować ograniczenie widoczności. W obszarze trójkątów widoczności nie powinny występować obiekty budowlane, drzewa, krzewy, uprawy wysokopienne, elementy ochrony akustycznej. Dla przejazdów kolejowo-drogowych długości odcinków widoczności czoła pociągu z drogi publicznej *L* i *L₁* posiadających dwa i więcej torów, oblicza się z wzoru 1 i 2 [3]:

$$L = (5,5 + 0,25 \cdot d) \cdot V_{max} \quad (1)$$

gdzie: V_{max} – największa dozwolona prędkość pociągów w rejonie przejazdu kolejowo-drogowego w [km/h],
 d – odległość między osiami skrajnego i następnego toru w [m].

$$L_1 = (3,6 + 0,07 \cdot d) \cdot V_{max} \quad (2)$$

gdzie: V_{max} – największa dozwolona prędkość pociągów w rejonie przejazdu kolejowo-drogowego w [km/h],
 d – odległość między osiami skrajnego i następnego toru w [m].

Dla przejazdów kolejowo-drogowych kategorii *D* w których nie są spełnione warunki widoczności z odległości 5 m dla prędkości pociągów równej 40 km/h i długość odcinka widoczności *L* większego od 125 m, należy dokonać wprowadzenia ograniczenia prędkości pociągów $V_{ogr} = 40$ km/h na całej długości odcinka *L*. Rozporządzenie [3] zaleca również ograniczenie prędkości do 20 km/h z uwagi na nie prawidłowy stan geometrii przejazdu tj. jego widoczności. Wartość kąta skrzyżowania nie powinna być mniejszy niż 60°, powinien też być ustawiony znak drogowy *G-4* „krzyż św. Andrzeja przed przejazdem kolejowym wielotorowym” w odległości 5 m od skrajnej szyny toru. W przypadku gdy odległość tego znaku od skrajnej szyny toru jest większa niż 5 m, odległość *L* należy zwiększyć o $0,25 V_{max}$, zaś *L₁* o $0,07 V_{max}$ – na każdy metr zwiększonej odległości ustawienia znaku. Natomiast gdy wartość kąta skrzyżowania wynosi mniej niż 60°, wówczas na każde 5° poniżej 60° odległość 20 m (odcinek *EP*), przy ustalaniu *L₁* od strony kąta ostrego, należy zwiększyć o 1 m. Zarządca kolei zobowiązany jest do sporządzania, prowadzenia i przechowywania metryki stanowiącej dokumentację techniczno-eksploatacyjną przejazdu kolejowo-drogowego lub przejścia. Metrykę przechowuje się przez cały okres użytkowania przejazdu lub przejścia. Wzór i zakres metryki określa załącznik nr 2 do rozporządzenia [3], o czym pisano w [2], zwracając uwagę na typowe prace geodezyjne, wymagające wpisów w metryce.

4. Pomiar geometrii przejazdu kolejowo-drogowego kategorii D

Pomiary sprawdzające stan geometrii warunków widoczności czoła pociągu z drogi publicznej przed przejazdem kolejowo-drogowym, przeprowadzono na przejeździe kategorii *D* (rys. 4 i 5). Zlokalizowany na linii dwutorowej (tor nr 1 – nieparzysty *N*, tor nr 2 – parzysty *P*, będące torami bezстыkowymi) o szerokości torów 1435 mm, w całości linia zelektryfikowana, przebiegająca przez trzy województwa: śląskie, opolskie i dolnośląskie. Prędkość maksymalna $V_{max} = 120$ km/h zarówno w torze numer 1, jak i 2. Linia ta zakwalifikowana jest jako linia kolejowa o kategorii pierwszorzędnej (1), objęta rewitalizacją, obejmującą między innymi: remont przejazdów z wymianą istniejącej nawierzchni drogowej oraz kompleksową wymianą istniejącej nawierzchni na typ 60E1 na podkładach strunobetonowych z przytwierdzeniem sprężystym. Przejazd kolejowo-drogowy zlokalizowany jest na odcinku prostym. Głównki toków szyn ułożone są w jednym poziomie. Płyty przejazdowe, zarówno wewnętrzne, jak i zewnętrzne są obramowane na całej wysokości wyprofilowanym kształtownikiem z blachy stalowej.



Rys. 5. Przejazd kolejowo-drogowy kategorii *D* (fotografia własna)

Rys. 5. Level railroad crossings of category *D* (own photograph)

W pomiarach sprawdzających stan geometrii warunków widoczności czoła pociągu z drogi kołowej przed przejazdem kolejowo-drogowym, zastosowano przykładnicę magnetyczno-pomiarową w następujących trybach pracy z:

- tarczą pomiarową (rys. 8b i 8c),
- nasadką dalmierczą wyposażoną w dalmierz laserowy (rys. 8a, 8d i 8e),
- minipryzmatem GMP111 (rys. 7),
- metrem zwijanym (rys. 10),

oraz tachymetrem TC407 Leica nr 697413.

MMS zapewnia prawidłowy, trwały i stabilny montaż minipryzmatu GMP111 w taki sposób, że punkt centralny minipryzmatu pokrywa się z osią pionową otworu mocowania trzpienia i z krawędzią pomiarową płytki krawędziowej. Ta z kolei pokrywa się z dolną krawędzią główki szyny. Z kolei MMS jest przytwierdzony do górnej toczonej powierzchni główki szyny za pośrednictwem magnesów neodymowych [15]. Do pomiarów geometrii toru (szerokość toru, gradient szerokości toru, nierówności poziome i podłużne, przechyłka, wichrowatość) punkt pomiarowy jest położony 14 mm poniżej górnej powierzchni toczonej szyny. Natomiast w przypadku pomiaru strzałek, pomiar przeprowadza się do dolnej krawędzi główki szyny, tj. do najbardziej wystającego punktu główki szyny. O czym pisano w pracy [16]. W pomiarach geometrii przejazdu kolejowo-drogowego pomiar wykonuje się od skrajnej szyny po osi jezdni, względem dolnej krawędzi (rys. 7).



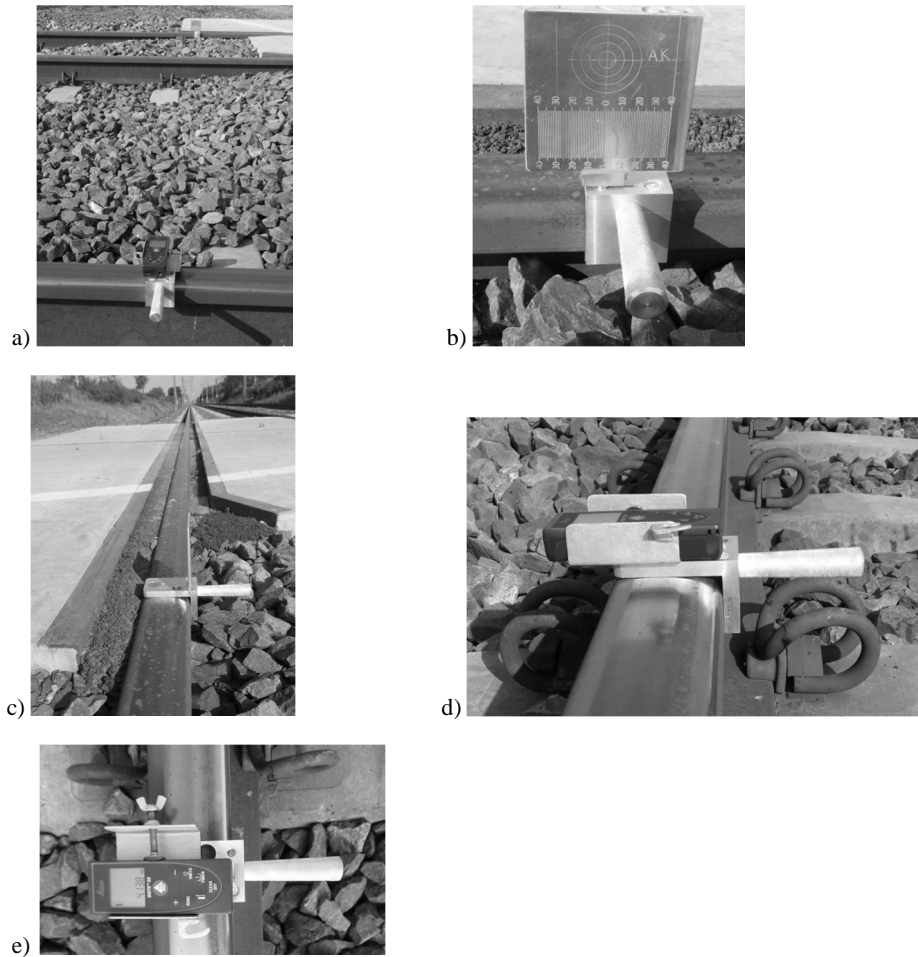
Rys. 6. Nieprawidłowe przyłożenie minipryzmatu GMP111 do szyny typu kolejowego (fotografia własna)

Fig. 6. Incorrect application of GMP111 miniprism to railway type rail (own photograph)



Rys. 7. Prawidłowe przyłożenie minipryzmatu GMP111 do szyny typu kolejowego z przykładnicą magnetyczno-pomiarową (fotografia własna)

Fig. 7. Correct application of GMP111 miniprism to railway type rail with a magnetic-measuring square (own photograph)



Rys. 8. Pomiar rozstawu torów (fotografia własna):

- MMS z dalmierzem laserowym i z tarczą pomiarową,
- MMS z tarczą pomiarową,
- tarcza pomiarowa pokrywająca się z wewnętrzną dolną krawędzią główki szyny,
- MMS z dalmierzem laserowym,
- tylna powierzchnia dalmierza laserowego pokrywająca się z wewnętrzną dolną krawędzią główki szyny

Fig. 8. Measurement distance between track centres (own photograph):

- MMS with Laser Distance Measuring Device (laser rangefinder) and with geodesic measuring disc,
- MMS with geodesic measuring disc,
- A geodesic measuring disc overlaps with the inner lower edge of the rail head,
- MMS with Laser Distance Measuring Device (laser rangefinder),
- The rear face of the laser rangefinder coincides with the inner lower edge of the rail head

Rysunek 6 przedstawia nieprawidłowe przyłożenie miniprzyzmatu GMP111 do szyny typu kolejowego, które (niestety) często jest wykonywane przez wykonawców prac geodezyjnych, w tym też podczas prac dotyczących opracowania projektów regulacji osi torów i dróg rozjazdowych. Należy zauważyć, że przekrój szyn charakteryzuje się kształtem dostosowanym do przekroju kół taboru kolejowego, tym samym posiadając różne skosy i promienie (dotyczy to między innymi styku koła taboru z szyną). Przyłożenie trzpienia z grotem nie zapewnia prawidłowego wyznaczenia punktu pomiaru.

Pomiar rozstawu torów (szerokość międzytorza), oprócz pomiaru metodą biegunową został wykonany z użyciem przykładnicy magnetyczno-pomiarowej, w trybie z dalmierzem laserowym i z tarczą pomiarową (rys. 8a÷d). Pomiar wykonano w pięciu przekrojach $d_1 ÷ d_5$ (na początku i końcu przejazdu, w osi oraz 14 m przed i za przejazdem). Uzyskując średnią wartość rozstawu torów 4,135 m (tab. 1). Elementem składowym MMS jest przykładnica szynowa: prawa i lewa. MMS lewy został wyposażony w nasadkę dalmierczą w której został zabudowany dalmierz laserowy. Tylna powierzchnia dalmierza laserowego stanowi wartość zero, pokrywając się z krawędzią/powierzchnią pomiarową przykładnicy magnetyczno-pomiarowej i dolnej krawędzi główki szyny (rys. 8d i 8e). Z kolei MMS prawy został wyposażony w tarczę pomiarową dwustronną (podziałka milimetrowa pozioma, podziałka milimetrowa pionowa). Punkt przecięcia się krzyży celowniczych tarczy pomiarowej pokrywa się z wartością zero podziałki milimetrowej tarczy pomiarowej, następnie z osią pionową mocowania, krawędzią pomiarową i dolną krawędzią wewnętrzną główki szyny (rys. 8b i 8c). Pomiar objął również skrajnię w płaszczyźnie poziomej (w planie) do słupów trakcyjnych o lokacie: $14/17 = 2,578$ m i $14/18 = 2,600$ m. Tarczę pomiarową i nasadkę dalmierczą można obracać w zakresie 180° i dokonywać ich blokady. Rozwiązanie to wykorzystano podczas pomiaru długości płyt przejazdowych (rys. 9). Średnia całkowita długość płyt z uwzględnieniem szczeliny wynosi 6,015 m.

Tabela 1. Pomierzone wartości rozstawu torów 1 i 2

Table 1. A measured distance between track centres 1 and 2

Numer punktu pomiaru	Wartość międzytorza d_i [m]
d_1	4,134
d_2	4,138
d_3	4,135
d_4	4,134
d_5	4,134
Wartość średnia d	4,135



Rys. 9. Pomiar długości płyt przejazdowych z użycie MMS z tarczą pomiarową (fotografia własna)

Fig. 9. Measuring the length of the plates using MMS with a geodesic measuring disc (own photograph)



Rys. 10. Pomiar szerokości żłobków przejazdowych z użycie MMS i metra zwijanego (fotografia własna)

Fig. 10. Measuring the width of flangeway using MMSj and rolled up meter (own photograph)

Przykładnica magnetyczno-pomiarowa wyposażona jest w górnej powierzchni w rowek wzdłużny, który pokrywa się z krawędzią/powierzchnią pomiarową i boczną powierzchnią główki szyny (zewnętrznej lub wewnętrznej) (rys. 10). Umożliwiająca przymocowanie metra zwijanego. Pomiar szerokości żłobków na przejeździe kolejowo-drogowym wykonano 14 mm poniżej górnej toczonej powierzchni główki szyny. W tym celu zastosowano przykładnicę magnetyczno-pomiarową bez płytki krawędziowej. Wyznaczając tym samym prawidłowo punkt pomiaru. Rozwiązanie to zastosowano w pomiarach szerokości żłobków przejazdowych (rys. 10). Z kolei głębokość żłobka przy największym dopuszczalnym zużyciu szyny, mierzona była od górnej toczonej powierzchni główki szyny. Pomiar głębokości żłobków wykonano z użyciem suwmiarki. Wartości pomierzonych szerokości i głębokości żłobków przedstawia tabela 2. Zgodnie z zaleceniami Id-1 (D-1) [17] konstrukcja nawierzchni przejazdu wewnątrz toru powinna zapewnić swobodne przejście obrzeży kół taboru kolejowego. W tym celu przy obu szynach wewnątrz toru powinny być wykonane żłobki o głębokości minimum 38 mm (przy największym dopuszczalnym pionowym zużyciu szyny) i szerokości co najmniej 67 mm na torze w odcinku prostym i w łukach o promieniu $R \geq 350$ m, przy szerokości toru nie przekraczającej w eksploatacji 1445 mm. W tabeli 2 oznaczono kolorem czerwonym wartości przekraczające i graniczne minimum głębokości i szerokości żłobka.

Tabela 2. Pomierzone wartości szerokości i głębokości żłobków przejazdowych w torze 1 i 2

Table 2. A measured of the widths and depths of flangeway in track 1 and 2

Nr toru	Tok	Szerokość i głębokość żłobka przejazdowego [mm]					
		lewa krawędź		oś przejazdu		prawa krawędź	
		szerokość	głębokość	szerokość	głębokość	szerokość	głębokość
1	Z	65	39	67	40	68	37
	W	67	45	66	37	65	37
2	Z	67	35	67	40	63	37
	W	65	38	66	36	72	42

gdzie: Z – tok zewnętrzny

W – tok wewnętrzny

Długości odcinków widoczności czoła pociągu z drogi L oraz L_I (rys. 4, wzory 1 i 2) dla przejazdów przez dwa tory przy uwzględnieniu prędkości $V_{max} = 120$ km/h wynoszą: $L = 784,05$ m, $L_I = 466,73$ m. Prędkość maksymalna została ustalona na podstawie:

- Regulaminu przydzielania tras pociągów i korzystania z przydzielonych tras pociągów przez licencjonowanych przewoźników kolejowych 2016/2017. Wykaz maksymalnych prędkości – pociągi pasażerskie. Załącznik 2.1 (P) PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Z którego wynika prędkość dla toru nieparzystego, jak i parzystego $V_{max} = 120$ km/h.
- Interaktywnej mapy linii kolejowych, moduł charakterystyka linii kolejowej/maksymalne prędkości [18]. Z którego wynika prędkość dla toru nieparzystego, jak i parzystego $V_{max} = 120$ km/h.

Tabela 3. Pomierzone wartości kątów skrzyżowań warunków widoczności czoła pociągu z drogi kołowej dla toru nr 1 i 2

Table 3. A measured values of the intersections angles of visibility of the "face of the train" from the roadway for track 1 and 2

Nr toru / Data pomiaru	Pomiar warunków widoczności z drogi (odległość mierzona od skrajnej szyny)						Średnia odległość między osiami torów „d” [m]	Prędkość „V” pociągów w rejonie przejazdu kolejowo-drogowego [km/h]
	5 m		10 m		20 m			
	strona toru		strona toru		strona toru			
	prawa	lewa	prawa	lewa	prawa	lewa		
	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]	[°]		
1 01.06.2017 r.	68	112	66	114	60	120	4,135	120
2 01.06.2017 r.	65	115	68	112	59	121	4,135	120

Pomierzone wartości kątów skrzyżowania drogi kołowej z torem nr 1 i 2 zawiera tabela 3. Istniejący najmniejszy kąt skrzyżowania wynosi 59° . Wartości mniejsze od dopuszczalnych i graniczne oznaczono kolorem czerwonym.

Czoło zbliżającego się pociągu po torze nr 1 dla jazdy odbywającej się zgodnie z kierunkiem ruchu taboru kolejowego w zwykłych warunkach atmosferycznych nie jest widoczne dla kierujących pojazdami drogowymi z odległości 20 m (zasłonięcie istniejącym nasypem ziemi z krzakami i drzewami).

Czoło zbliżającego się pociągu po torze nr 2 dla jazdy odbywającej się zgodnie z kierunkiem ruchu taboru kolejowego w zwykłych warunkach atmosferycznych jest widoczne dla kierujących pojazdami drogowymi z odległości 20 m. Natomiast nie jest widoczne dla kierujących pojazdami drogowymi z odległości 20 m (zasłonięcie istniejącym nasypem ziemi z krzakami i drzewami) w przypadku gdy ruch taboru kolejowego odbywa się „po torze niewłaściwym” (w przeciwnym kierunku).

Maksymalna wysokość nasypu wynosi 1,61 m od strony toru nr 1, zaś od strony toru nr 2 wynosi 1,17 m. Jednak w miarę zbliżania się pojazdu drogowego do przejazdu, odcinek widoczności pociągu zwiększa się tak, że z odległości 10 m od skrajnej szyny (punkt *C*) czoło pociągu jest widoczne od punktu *D* tj. 784,05 m.

Przy drodze z obu stron przejazdu kolejowo-drogowego ustawione są znaki drogowe *B-20* „stop” i *G-4* „krzyż św. Andrzeja przed przejazdem kolejowym wielotorowym”. Średnia odległość znaku *G-4* od skrajnej szyny toru wynosi 5,66 m. Przejazd kolejowo-drogowy posiada długość 14,31 m. Szerokość przejazdu kolejowo-drogowego stanowi szerokość korony drogi na przejeździe kolejowo-drogowym i wynosi:

- 6,90 m od strony toru nr 2,
- 5,87 m od strony toru nr 1.

Istniejące pochylenie podłużne drogi na dojazdach do toru nr 1 na długości 20 m wynosi 0,8%, zaś do toru nr 2 na długości 20,0 m wynosi 1,0%. Średnia wysokość zawieszenia przewodów jezdnych sieci trakcyjnej w stosunku do górnej tocznej powierzchni główki szyny wynosi 5,25 m.

5. Wnioski

W artykule zawarto wyniki badań z zastosowaniem autorskich przyrządów pomiarowych w pomiarach geometrii widoczności przejazdu kolejowo-drogowego kategorii *D* według obowiązujących regulacji prawnych. W publikacji na bieżąco przedstawiano wnioski z ich interpretacją. MMS w trybie pracy z płytką i bez płytki krawędziowej zapewnia prawidłowe prowadzenie prac geodezyjnych lub diagnostycznych w transporcie szynowym. Artykuł stanowi część kompleksowych badań z zastosowaniem przykładowej magnetyczno-pomiarowej, która posiada zastosowanie również w pomiarach strzałek montażowych lub eksploatacyjnych torów zwrotnych w rozjazdach zwyczajnych oraz torach, jak i geometrii torów i dróg rozjazdowych o czym pisano w [16].

Przejazdy kolejowo-drogowe kategorii *D* stanowią charakterystyczny element infrastruktury kolejowej. Ponad 50% wszystkich skrzyżowań dróg kołowych z torem lub torami kolejowymi na terenie Polski to przejazdy kategorii *D*. Doku-

mentacja techniczno-eksploatacyjna w postaci metryk, wymaga prawidłowych wpisów danych, wynikających z przeprowadzenia prac geodezyjnych i prac diagnostycznych, o czym pisano w [2], ze szczególnym wyróżnieniem typowych prac geodezyjnych w pomiarach geometrii przejazdów kolejowo-drogowych.

Literatura

- [1] Ustawa z dnia 28 marca 2003 r. o transporcie kolejowym (Dz.U. 2003 nr 86 poz. 789).
- [2] Kampczyk A.: Pomiar geometrycznych warunków widoczności przejazdu kolejowo-drogowego, *Przegląd Komunikacyjny*, nr 8, 2017, s. 2-7.
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 20 października 2015 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać skrzyżowania linii kolejowych oraz bocznic kolejowych z drogami i ich usytuowanie (Dz.U. 2015 poz. 1744).
- [4] Raport NIK dotyczący bezpieczeństwa ruchu na przejściach i przejazdach kolejowo-drogowych (KIN.410.003.00.2016/Nr ewid. 200/2016/P/16/029/KIN), <https://www.nik.gov.pl/plik/id,12954,vp,15363.pdf> {dostęp 16.06.2017 r.}.
- [5] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 26 lutego 1996 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać skrzyżowania linii kolejowych z drogami publicznymi i ich usytuowanie (Dz.U. 1996 nr 33 poz. 144).
- [6] Sancewicz S.: *Nawierzchnia kolejowa*, Wydawca PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Opracowanie Kolejowa Oficyna Wydawnicza, Warszawa 2010.
- [7] Cieślakowski S., Rudzki P.: Analiza i ocena bezpieczeństwa na przejazdach kolejowych, *Autobusy*, nr 6, 2016, s. 117-124.
- [8] Młyńczak J., Celiński I.: Monitoring zachowania kierowców na przejazdach kolejowych w zakresie transportu towarów niebezpiecznych i wrażliwych, *Autobusy*, nr 6, 2016, s. 320-327.
- [9] Tey Li-Sian, Ferreira L., Wallace A.: Measuring driver responses at railway level crossings, *Accident Analysis & Prevention*, vol. 43, issue 6, 2011, pp. 2134-2141.
- [10] Salmane H., Khoudour L., Ruichek Y., Improving safety of level crossings by detecting hazard situations using video based processing, in *Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT '13)*, pp. 179-184, IEEE, Beijing, China, September 2013.
- [11] Wullems Ch., Hughes P., Nikandros G.: Modelling risk at low-exposure railway level crossings: supporting an argument for low-cost level crossing warning devices with lower levels of safety integrity, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, vol.227, issue 5, pp. 560-569, 2013.
- [12] Sever D.: New approach to determining visibility length on passive protected level road crossings, *Promet-Traffic&Transportation*, vol. 24, no.6, 2012, pp. 479-486, <http://www.fpz.unizg.hr/traffic/index.php/PROMTT/article/view/1203/1027> {dostęp 14.08.2017 r.}.
- [13] Pravilnik o nivojskih prehodih. Na podlagi desetega odstavka 51. člena Zakona o varnosti v železniškem prometu (Uradni list RS, št. 56/13 – uradno prečiščeno besedilo, 91/13, 82/15 in 84/15) izdaja minister za infrastrukturo. Zasady przejazdów kolejowych. Zgodnie z art. 51 akapit dziesiąty ustawy o bezpieczeństwie transportu kolejowego (Dziennik Urzędowy Republiki Słowenii, nr 56/13 – oficjalny tekst ujednolicony, 91/13, 82/15 i 84/15) Minister Infrastruktury, <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV11887> {dostęp 05.01.2018 r.}.

- [14] Gikas V.: Railway Geodesy: The Benefit of Using a Multi-discipline Approach for the Assessment of Track Alignments During Construction, https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/cairo/papers/ts_22/ts22_04_gikas.pdf {dostęp 12.08.2017 r.}.
- [15] Kampczyk A.: Przykładnica magnetyczno-pomiarowa i jej zastosowanie. Zgłoszenie patentowe: P. 420214.
- [16] Kampczyk A.: Pomiar strzałek montażowych toru zwrotnego w rozjeździe, *Przegląd Geodezyjny*, nr 5, 2017, s. 4-9.
- [17] Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych Id-1 (D-1), Warszawa, 2005 z póź. zm. (z uwzględnieniem zmian wprowadzonych uchwałą Nr 1223/2015 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 22 grudnia 2015 r.).
- [18] <http://mapa.plk-sa.pl/> {dostęp 30.06.2017 r.}.

GEOMETRY OF D CATEGORY ROAD AND RAILWAY CROSSING

Summary

Railway crossings constitute a specific element of the railroad infrastructure. High traffic intensity on level crossings of railways with roads increases the probability of traffic accidents. The safety on road and railway crossings is dependent on the condition of its geometry, behaviour of the traffic participants, as well as correct performance of the duties of the railway and road infrastructure administration. This paper discusses issues related to measuring the geometry of *D* category road and railway crossings, including proprietary measurements. The measurements employed a magnetic-measuring square – MMS with:

- a surveying measuring disk,
 - an adapter with a laser distance meter,
 - GMP111 mini-prism,
 - rolled up meter,
- and Leica TC407 tachymeter no. 697413.

The geometry measurements were supported by diagnostic works carried out on the crossings. The legal regulations resulting from the Minister of Infrastructure and Development Decree of October 20, 2015 on the technical conditions to be fulfilled by the crossings of railways and railway sidings with roads, and their placement, introduce the obligation to prepare technical and operating documentation of every road and railway crossing or passage, which the documentation is known as the road and railway crossing/passage certificate. This certificate requires obtaining data entries through geodetic and diagnostic works. The problem of road and railway crossings was negatively assessed in the Supreme Chamber of Control Report concerning safety of traffic on road and railway crossings (KIN.410.003.00.2016 / Ref. 200/2016/P/16/029/KIN). The most serious irregularities concern the crossing certificates. In order to correctly perform geometrical measurements of crossings, possessing additional specialist measuring instruments is required. The paper includes proprietary observations and conclusions. The article was prepared as part of the AGH statutory research no. 11.11.150.005.

Keywords: crossing, visibility splay, crossing certificate, crossing measurement, passage, railway and road crossing, magnetic-measuring square, MMS, railway and road crossing geometry

Przesłano do redakcji: 30.08.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Ryszarda IWANEJKO¹
Jarosław BAJER²

DEKOMPOZYCJA WIELOKROTNA JAKO METODA DOKŁADNEGO WYZNACZANIA NIEZAWODNOŚCI SYSTEMÓW ZŁOŻONYCH

Współcześnie wszystkie systemy inżynierskie należy projektować z uwzględnieniem konieczności równoczesnego spełnienia kryteriów technicznych, ekonomicznych i niezawodnościowych. Kryteria te, zwłaszcza kryteria niezawodnościowe, powinny być również spełnione dla systemów już istniejących i działających. Podstawowe kryterium może odnosić się do niezawodności systemu K. Wielkość K jest interpretowana jako prawdopodobieństwo, że w dowolnej chwili czasu w tzw. normalnym okresie eksploatacji system będzie sprawny i będzie w zadowalający sposób wypełniać swoje zadania. Znajomość wartości miary K często stanowi podstawę podejmowania istotnych, bo strategicznych decyzji dotyczących konieczności modernizacji systemu. Miarę niezawodności K można wyznaczać za pomocą różnych metod. Najprostszą z nich jest dokładna metoda wzorów analitycznych, którą można stosować dla systemów o mieszanej strukturze niezawodnościowej. W praktyce inżynierskiej mogą jednak występować przypadki, gdy system nie ma takiej struktury. Nie można wówczas skonstruować prawidłowego schematu niezawodnościowego systemu, a to oznacza, że nie można w ten najprostszy, tradycyjny sposób, wyznaczyć dokładnej wartości niezawodności systemu K. Pozostałe metody, czyli metody przeglądu zupełnego i częściowego, na ogół są niepraktyczne. Dla większych systemów pierwsza z nich jest zbyt pracochłonna. Druga, choć jest metodą przybliżoną, umożliwiającą sterowaniem dokładnością obliczeń, powoduje że uzyskanie zadowalająco małego błędu również znacząco zwiększa jej pracochłonność. Jednak w wielu sytuacjach można ominąć tę trudność. Wystarczy zastosować proces dekompozycji systemu, jednolub wielokrotny, a później wzór na prawdopodobieństwo zupełne. Takie postępowanie pozwoli, najczęściej niewielkim nakładem pracy, uzyskać dokładny wynik miary niezawodności systemu K. W artykule przedstawiono metodykę wyznaczania K przy zastosowaniu procesu dekompozycji wielostopniowej.

Słowa kluczowe: stacjonarny wskaźnik gotowości, element dekompozycyjny, dekompozycja stopniowa, dekompozycja równoczesna, dekompozycja kombinowana

¹ Ryszarda Iwanejko, riw@vistula.wis.pk.edu.pl

² Autor do korespondencji / corresponding author: Jarosław Bajer, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska, Politechnika Krakowska, 31-155 Kraków, ul. Warszawska 24, tel. +(48) 12 6282877; jbajer@vistula.wis.pk.edu.pl

1. Wstęp

Tradycyjnie podstawową miarą niezawodności stosowaną dla dowolnych systemów jest tzw. stacjonarny wskaźnik gotowości systemu K . Jest on interpretowany jako prawdopodobieństwo, że system będzie sprawny (będzie wykonywać swoje zadanie albo będzie gotów do podjęcia wykonywania swego zadania) w dowolnej chwili czasu w tzw. normalnym okresie eksploatacji (czyli po czasie adaptacji systemu po jego pierwszym uruchomieniu, ale jeszcze przed tym, gdy zaczną się ujawniać procesy zużycia, starzenia i zmęczenia). Jest to miara kompleksowa, uwzględniająca dwa strumienie: strumień uszkodzeń i odnowy [7-11]. Miarę K można wyznaczać za pomocą różnych metod. W pierwszym rzędzie są to metody jednoparametryczne, do których należą metoda wzorów analitycznych oraz metody przeglądu.

2. Metody wyznaczania niezawodności systemu $K(S)$

Metodę wzorów analitycznych (MWA) stosuje się w sytuacjach, gdy nie można skonstruować prawidłowego schematu niezawodnościowego systemu, co oznacza, że z niezawodnościowego punktu widzenia system ma strukturę mieszaną (typową lub nietypową) [1,8,10]. Ideą metody jest takie blokowanie elementów, by dla uzyskanych bloków można było zastosować wzory analityczne dla struktur podstawowych (szeregowej, równoległej, progowej). Uzyskany w ten sposób wynik $K(MWA)$ jest dokładny.

Metody przeglądu (MP) stosuje się w sytuacjach, gdy nie można skonstruować prawidłowego schematu niezawodnościowego systemu. Ideą metody przeglądu jest sporządzenie tabeli stanów elementarnych systemu, z których każdy opisuje jeden możliwy przypadek spośród różnych kombinacji stanów sprawności elementów systemu. Jeśli liczba elementów systemu jest niewielka, to należy uwzględnić wszystkie możliwe stany elementarne systemu i zastosować metodę przeglądu zupełnego (MPZ), co pozwoli na uzyskanie dokładnej wartości $K(MPZ)$. Wynik dokładny K przy znacznej liczbie elementów można uzyskać również wówczas, gdy możliwe jest zastosowanie metody wyboru stanów sprawności [1, 7]. Jeśli liczba wszystkich elementów systemu jest duża, to najczęściej jedynym wyjściem jest pominięcie w obliczeniach mało prawdopodobnych przypadków, gdy w dowolnej chwili czasu znaczna liczba elementów jest niesprawna, co sprowadza się do zastosowania metody przeglądu częściowego (MPCz). Wyznaczona wówczas wartość $K(MPCz)$ jest przybliżona, co z jednej strony ogranicza pracochłonność metody a z drugiej wiąże się z koniecznością oszacowania popełnianego błędu ϵ . Oszacowanie błędu ϵ jest stosunkowo proste, więc pozwala na sterowanie dokładnością obliczeń [3, 4]. MPCz jest przy tym metodą uniwersalną, dla której nie obowiązują żadne ograniczenia (np. co do liczby elementów systemu, jego struktury).

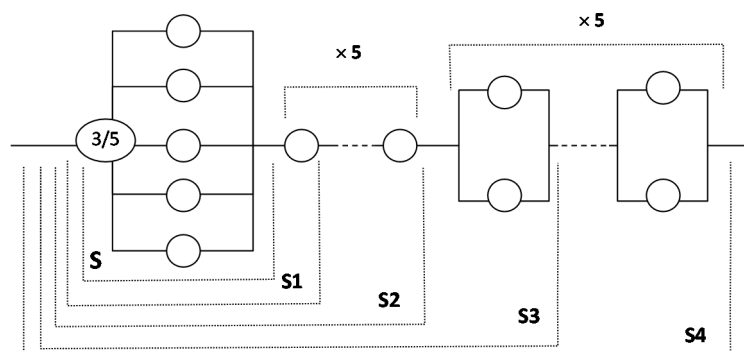
Miarę K dla złożonych systemów można wyznaczyć również wykorzystując dwuparametryczną, pracochłonną metodę minimalnych przekrojów niesprawności

(MMPN) [1, 10, 11]. Mimo, że podstawowym celem tej metody jest wyznaczenie średnich czasów sprawności (T_p) i niesprawności (T_n) systemu, to jest oczywistym, że ich znajomość pozwala na wyliczenie miary oznaczanej tutaj przez $K(MMPN)$. Dwa parametry systemu (T_p , T_n), choć nie są wyznaczane jako wartości dokładne, to dają projektantowi ważną informację jakiego rzędu są te wielkości, co pozwala na ocenę pracy systemu i podejmowanie decyzji o ewentualnej konieczności jego modernizacji. Wyznaczone $K(MMPN)$ jest również wartością przybliżoną, jednak problem oszacowania popełnianego błędu nie jest prosty [4]. Ponadto nie wiadomo, czy uzyskany wynik $K(MMPN)$ jest większy czy mniejszy od nieznannej wartości dokładnej $K(MPZ)$. Wiąże się to z niebezpieczeństwem błędnej oceny niezawodności systemu. W sytuacji, gdy wymagany poziom niezawodności systemu K_w [9, 10] oraz poziom wyznaczony $K(MMPN)$ są zbliżone, to istnieje realne ryzyko podjęcia złej, często strategicznej, decyzji wskutek niezgodnej ze stanem faktycznym relacji między wartościami K oraz K_w . W praktyce uwzględnienie minimalnych przekrojów niesprawności (MPN) o większej liczbie elementów pozwala na uzyskanie dokładniejszych wyników $K(MMPN)$. Jednak dodatkowy nakład pracy nie zawsze w istotny sposób wpływa na poprawę dokładności wyniku. Poniżej (przykład 1) przeanalizowano dokładność wyników $K(MMPN)$ dla struktur mieszanych, dla których celem porównania wyznaczono dokładne wartości niezawodności K za pomocą MWA.

Przykład

Aby ocenić dokładność miary K wyznaczanej za pomocą MMPN, jako wyjściową wzięto pod uwagę strukturę progową S „3 z 5”, złożoną z elementów jednorodnych e . Następnie strukturę S zmodyfikowano i utworzono struktury (rys.1):

- S_1 – poprzez dołączenie do S szeregowo jednego elementu e ,
- S_2 – poprzez dołączenie do S szeregowo 5-ciu takich samych jednorodnych elementów,



Rys. 1. Struktury niezawodnościowe analizowane w przykładzie 1 (opracowanie własne)

Fig. 1. Reliability structures analyzed in example 1 (authors' work)

- S3 – poprzez szeregowe dołączenie do S2 jednej jednorodnej struktury „1 z 2”,
- S4 – poprzez szeregowe dołączenie do S2 5-ciu jednorodnych struktur „1 z 2”.

Obliczenia przeprowadzono dla dwóch wariantów - o niższej (I) i wyższej (II) niezawodności elementów $K(e)$. Do obliczeń przyjęto:

- I) $T_p(e) = 9$ [d], $T_n(e) = 1$ [d], skąd $K(e) = 0,90$
 II) $T_p(e) = 50$ [d], $T_n(e) = 1$ [d], skąd $K(e) = 0,98$.

Jak wiadomo dla struktury „3 z 5” istnieje $\binom{5}{3} = 10$ minimalnych przekro-

jów trójelementowych. Dla pozostałych struktur istnieją dodatkowe minimalne przekroje (1-elementowe dla S1, S2, S3 i S4 oraz 2-elementowe dla S3 i S4). W kolejnym kroku wyznaczono niezawodności powyższych struktur za pomocą MWA i uzyskano wartości dokładne $K(MWA)$ oraz za pomocą MMPN i uzyskano wartości przybliżone $K(MMPN)$, przy czym w obliczeniach uwzględniano wszystkie istniejące dla danej struktury MPN. Wartości dokładne $K(MWA)$ posłużyły do porównań, co później pozwoliło na sformułowanie wniosków.

Uzyskane wyniki niezawodności K przedstawionych powyżej systemów, wraz z błędami bezwzględnymi BB i względnymi BW, zestawiono w tabeli 1, natomiast w tabeli 2 zestawiono wartości błędów bezwzględnych BB i względnych BW dla najbardziej złożonej struktury S4, uzyskane przy uwzględnianiu minimalnych przekrojów niesprawności (1-, 2- oraz 3-elementowych).

Tabela 1. Wyznaczone wartości niezawodności poszczególnych struktur z przykładu 1 (opracowanie własne)

Table 1. The reliability values of individual structures, example 1 (authors' work)

Struktura oraz liczba MPN 1-, 2- i 3-elementowych	Przypadek / $K(e)$	$K(MWA)$	$K(MMPN)$	Błąd bezwzględny BB = $K(MWA) - K(MMPN)$	Błąd względny BW = $BW/K(MWA)$
S 0 / 0 / 10	I / 0,90	0,991440000	0,986468200	0,004971800	0,501%
	II / 0,98	0,999926814	0,999920006	0,000006808	0,001%
S1 1 / 0 / 10	I / 0,90	0,892296000	0,889024390	0,003271610	0,367%
	II / 0,98	0,980320406	0,980315269	0,000005137	0,001%
S2 5 / 0 / 10	I / 0,90	0,585435406	0,637237762	-0,051802357	-8,849%
	II / 0,98	0,905664523	0,909024798	-0,003360275	-0,371%
S3 5 / 1 / 10	I / 0,90	0,579581052	0,632263660	-0,052682608	-9,090%
	II; 0,98	0,905316324	0,908694388	-0,003378063	-0,373%
S4 5 / 5 / 10	I / 0,90	0,556743246	0,613120269	-0,056377024	-10,126%
	II; 0,98	0,903924868	0,907375145	-0,003450277	-0,382%

Tabela 2. Wyznaczone wartości błędów BB i BW dla struktury S4 (opracowanie własne)

Table 2. The absolute and relative error values for the structure S4 (authors' work)

Liczba MPN 1-, 2- i 3- elementowych	Przypadek / Ke	K(MWA)	K(MMPN)	BB	BW
5 / 0 / 0	I / 0,90	0,556744	0,642857	-0,086114	-15,467%
5 / 5 / 0			0,618321	-0,061577	-11,060%
5 / 5 / 10			0,613120	-0,056377	-10,126%
5 / 0 / 0	II / 0,98	0,903925	0,909091	-0,005166	-0,572%
5 / 5 / 0			0,907441	-0,003516	-0,389%
5 / 5 / 10			0,907375	-0,003450	-0,382%

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń sformułowano następujące spostrzeżenia:

- w przypadkach, gdy jest brak lub gdy występuje niewielka liczba przekrojów 1-elementowych (np. dla struktur S i S1), wartość przybliżona K(MMPN) jest mniejsza od wartości dokładnej K(MWA); w przypadkach, gdy liczba przekrojów 1-elementowych jest znaczna (np. dla struktur S2) wartość przybliżona K(MMPN) jest większa od wartości dokładnej K(MWA) (ten fakt wynika ze stosowania przybliżonych wzorów),
- dla systemów, dla których brak jest 1-elementowych MPN lub ich liczba jest niewielka (np. S, S1) błędy BB i BW są pomijalne,
- dla systemów, dla których istnieje większa liczba jednoelementowych przekrojów niesprawności, błędy (zarówno bezwzględny BB jak i względny BW) wyznaczenia K za pomocą MMPN są większe, przy czym wielkości błędów zależą od poziomu niezawodności elementów K(e); popełniany błąd może być bardzo istotny np. dla S2 oraz K(e)=0,90 błąd bezwzględny wyniósł $BB \approx -0,0518$ a względny $BW \approx -8,85\%$;
- na wielkości błędów (bezwzględnego i względnego), oprócz liczby przekrojów jednoelementowych, wpływają również wartości niezawodności elementów: im elementy mają wyższą niezawodność tym błędy BB i BW są niższe, dla tej samej struktury, gdy K(e)=0,90 błędy są przeciętnie nawet do kilkaset razy większe niż gdy K(e)=0,98,
- niemożność oszacowania popełnianych błędów w praktyce stwarza ryzyko błędnej oceny działania systemu przy porównywaniu wyznaczonego K(MMPN) i wymaganego poziomu niezawodności systemu Kw [9, 10], a tym samym generuje ryzyko podjęcia błędnej decyzji strategicznej dotyczącej konieczności modernizacji systemu,
- liczba przekrojów 2-elementowych nie wpływa w tak istotny sposób na dokładność wartości K(MMPN) jak liczba przekrojów 1-elementowych, co widać przy porównaniu wyników dla struktur S2 i S4,

- samą MMPN można uprościć, uwzględniając np. tylko minimalne przekroje 1- i 2-elementowe, jednak uwzględnienie w obliczeniach MPN o większej liczbie elementów (o ile istnieją) wpływa na uzyskanie dokładniejszych wyników; z przeprowadzonych obliczeń wynika, że przykładowo dla przypadku I, gdy $K(e)=0,90$ dla struktury S4, przy pominięciu w obliczeniach przekrojów 2- i 3-elementowych, uzyskuje się błąd $BW=-15,467\%$ (tab.2) - jest on o ok. 5,341 punktów procentowych większy niż w przypadku, gdyby uwzględniono przekroje 2- i 3-elementowe, natomiast dla przypadku II, gdy $K_e=0,98$ dokładność po uwzględnieniu przekrojów 2- i 3-elementowych wzrosłaby o ok. 0,19 punktów procentowych; jak tu widać większa pracochłonność wynikająca z uwzględnienia wszystkich MPN metody wpływa w istotny sposób na większą dokładność wyniku wtedy, gdy niezawodności elementów nie są bardzo wysokie, wówczas poprawa dokładności obliczeń może być znacząca.

W praktyce istnieje wiele przypadków, gdy nie można skonstruować prawidłowego schematu niezawodnościowego systemu i gdy, wydawałoby się, jedynym wyjściem w celu wyznaczenia niezawodności systemu jest zastosowanie pracochłonnej i przybliżonej MPCz. W dalszej części przedstawiono kilka wybranych przykładów, gdy pomimo niemożności skonstruowania prawidłowego schematu niezawodnościowego systemu można uzyskać dokładny wynik K stosunkowo niewielkim nakładem pracy. W każdym z poniższych przykładów schemat postępowania jest analogiczny i opiera się na dekompozycji systemu.

3. Dekompozycja systemu

Dekompozycja systemu to inaczej jego rozkład. Może być ona jednokrotna (przeprowadzona ze względu na jeden element) lub wielokrotna (przeprowadzona ze względu na kilka elementów lub w skrajnym przypadku ze względu na wszystkie elementy systemu).

Najprostszym przypadkiem dekompozycji, tj. dekompozycji ze względu na jeden element, wymaga wyboru takiego jednego elementu systemu e_1 (tzw. element dekompozycyjny), z którym są największe trudności np. przy próbie skonstruowania schematu niezawodnościowego. Następnie rozważa się dwa rozłączne i uzupełniające się przypadki: zakłada się, że ten element dekompozycyjny e_1 jest:

- zdatny i wówczas system S zamienia się w S_1 ,
- niezdatny i wówczas system S zamienia się w S_2 .

Jest oczywiste, że ani w S_1 ani w S_2 element e_1 nie występuje. Wówczas, na mocy wzoru na prawdopodobieństwo zupełne [1, 10], niezawodność systemu S wyznacza się za pomocą wzoru

$$K(S) = K(S_1) \cdot K(e_1) + K(S_2) \cdot [1 - K(e_1)] \quad (1)$$

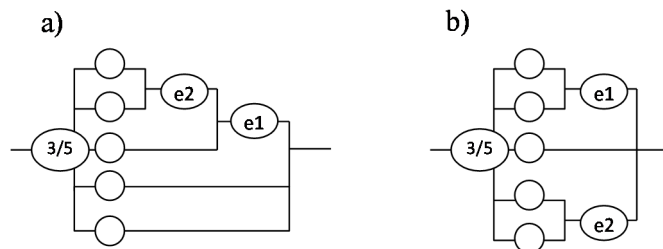
Jeśli w sposób analityczny można wyznaczyć $K(S1)$ i $K(S2)$, to uzyskujemy dokładną wartość miary $K(S)$. Jeśli natomiast nie można wyznaczyć dokładnych wartości $K(S1)$ lub $K(S2)$ to proces dekompozycji należy kontynuować, i wówczas jest to już dekompozycja wielostopniowa. Poniżej przyjęto, że konieczna jest dalsza dekompozycja struktury $S1$ ze względu na drugi element $e2$. Wówczas struktura $S1$ zamienia się w strukturę $S3$ (gdy $e2$ jest zdatny) albo w strukturę $S4$ (gdy $e2$ jest niezdatny). Stosując ponownie wzór na prawdopodobieństwo zupełne uzyskuje się:

$$K(S1) = K(S3) \cdot K(e2) + K(S4) \cdot [1 - K(e2)] \tag{2}$$

Wartość $K(S1)$ wyznaczoną za pomocą (2) należy podstawić do wzoru (1).

Proces dekompozycji, prowadzony ze względu na dwa elementy, może być dekompozycją stopniową albo równoczesną.

W pierwszym przypadku, przy dekompozycji stopniowej, po przeprowadzeniu dekompozycji ze względu na element $e1$ prowadzi się dekompozycję ze względu na element $e2$. Taką dekompozycję należy zastosować, gdy między elementami $e1$ oraz $e2$ istnieje zależność tego typu, że niesprawność jednego z nich ($e1$) wyłącza drugi element ($e2$). Wówczas każda droga sprawności zawierająca element $e2$ zawiera też $e1$ (rys.2a).



Rys. 2. Przykłady struktur mieszanych nietypowych, gdy należy zastosować dekompozycję (a) stopniową (b) równoczesną (opracowanie własne)

Fig.2. Examples of unusual mixed structures, where a) step decomposition (b) simultaneous decomposition should be used (authors' work)

Natomiast dekompozycję równoczesną ze względu na $e1$ oraz $e2$ należy przeprowadzić wówczas, gdy elementy $e1$ i $e2$ są niezależne w tym sensie, że niesprawność żadnego z nich nie wyłącza drugiego. W takiej sytuacji istnieje choć jedna taka minimalna droga sprawności (MDS), która nie zawiera równocześnie elementów $e1$ oraz $e2$ (rys. 2b). Można wtedy od razu rozważyć 4 wyluczające się przypadki:

- gdy $e1$ oraz $e2$ są równocześnie zdatne i wówczas system S zamienia się w $S1$; taki przypadek zachodzi z prawdopodobieństwem $P(S1) = K(e1) \cdot K(e2)$,

- gdy e_1 jest zdalny natomiast e_2 jest niezdatny i wówczas system S zamienia się w S_2 , taki przypadek zachodzi z prawdopodobieństwem $P(S_2) = K(e_1) \cdot [1 - K(e_2)]$,
- gdy e_1 jest niezdatny natomiast e_2 jest zdalny i wówczas system S zamienia się w S_3 , taki przypadek zachodzi z prawdopodobieństwem $P(S_3) = [1 - K(e_1)] \cdot K(e_2)$,
- gdy e_1 oraz e_2 są równocześnie niezdatne i wówczas system S zamienia się w S_4 , taki przypadek zachodzi z prawdopodobieństwem $P(S_4) = [1 - K(e_1)] \cdot [1 - K(e_2)]$.

Na mocy twierdzenia o prawdopodobieństwie zupełnym można wtedy napisać:

$$K(S) = K(S_1) \cdot P(S_1) + K(S_2) \cdot P(S_2) + K(S_3) \cdot P(S_3) + K(S_4) \cdot P(S_4) \quad (3)$$

Choć, w przypadku, gdy elementy e_1 i e_2 są niezależne (w sensie jak powyżej np. jak na rys. 2b), zastosowanie dekompozycji stopniowej nie jest błędem to jednak proces wyznaczania $K(S)$ przy stosowaniu dekompozycji równoczesnej jest znacznie przyspieszony i jest intuicyjnie prostszy.

Dekompozycję można też, w zależności od potrzeb, prowadzić ze względu na większą liczbę elementów. W ten sposób identyfikuje się szereg sytuacji i struktur S_i (S_1, S_2, S_3, \dots), gdy dla danych, określonych podczas kolejnych dekompozycji stanów funkcjonowania poszczególnych elementów można wyznaczyć: 1^o prawdopodobieństwo sprawności nowej struktury $K(S_i)$ (jest to prawdopodobieństwo warunkowe), 2^o prawdopodobieństwo zajścia takiej sytuacji $P(S_i)$. Ponieważ zidentyfikowane sytuacje są rozłączne a zarazem wyczerpują wszystkie możliwości, więc do wyznaczenia rzeczywistej, nieznannej, dokładnej wartości K należy zastosować wzór na prawdopodobieństwo zupełne

$$K = \sum_i K(S_i) \cdot P(S_i) \quad (4)$$

W bardziej złożonych przypadkach bardzo istotna, ze względu na pracochłonność, jest kolejność wyboru elementów dekompozycyjnych. Najlepsze rezultaty (tj. najmniej stopni dekompozycji) daje wybór w pierwszej kolejności takiego elementu, od którego „zależy najwięcej” (występuje w największej liczbie minimalnych dróg sprawności, ma największą wydajność itp.). Czasem może też być konieczność zastosowania tzw. dekompozycji kombinowanej (np. równoczesnej ze względu na e_1 i e_2 oraz stopniowej ze względu na e_3 i e_4). Jeśli prowadzi się dekompozycję ze względu na wszystkie elementy, to ten proces faktycznie sprowadza się do metody przeglądu zupełnego.

4. Podsumowanie

Znajomość dokładnej wartości stacjonarnego wskaźnika gotowości K , zwanego potocznie niezawodnością, umożliwia sprawdzenie podstawowego kryterium niezawodnościowego i uzyskanie odpowiedzi na pytanie czy system w dowolnej chwili czasu jest wystarczająco niezawodny i czy konieczna jest jego moderniza-

cja. Dla systemów o strukturze złożonej, gdy nie można wprost zastosować metody wzorów analitycznych a metody przeglądu okazują się zbyt pracochłonne, dokładną wartość niezawodności K można uzyskać po zastosowaniu tzw. procesu dekompozycji systemu. Polega on na wyborze elementu, bądź elementów, które uniemożliwiają przeprowadzenie prostych analitycznych obliczeń. Metoda dekompozycji wymaga rozważenia dwóch rozłącznych przypadków: gdy elementy dekompozycyjne są zdatne i gdy są niezdatne. Jeśli dla tych dwóch przypadków uzyska się struktury mieszane, to można do wyznaczenia ich niezawodności zastosować znane, proste wzory analityczne. Jeśli uzyskane po dekompozycji struktury nadal są zbyt złożone, proces dekompozycji stosuje się powtórnie. W zależności od sytuacji, ta wielokrotna dekompozycja może być równoczesna, stopniowa lub kombinowana. Finalne zastosowanie wzoru na prawdopodobieństwo zupełne umożliwia łączne uwzględnienie wszystkich analizowanych przypadków. Metoda jest intuicyjnie prosta. W praktyce pozwala na wyznaczenie dokładnej wartości K stosunkowo niewielkim nakładem pracy. Przykłady zastosowania dekompozycji przedstawiono w artykule „Aplikacje dekompozycji wielokrotnej do dokładnego wyznaczania niezawodności systemów złożonych” [5], stanowiącym kontynuację obecnego. Inne, interesujące podejście do zastosowania ogólnie rozumianej dekompozycji systemu (konkretnie kanalizacyjnego), traktowanego jako graf-drzewo i opartego na tzw. metodzie dekompozycji i ekwiwalentowania, zaproponowali Ermolin Ju. A. i Alekseev M. I. [2], do metody których uzupełniające rozważania dotyczące uniknięcia ograniczeń w jej praktycznych zastosowaniach, zamieszczono w pracy [6].

Literatura

- [1] Bajer J., Iwanejko R., Kapcia J., Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych w zadaniach, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2006.
- [2] Ermolin Ju. A., Alekseev M. I.: Metod dekompozicii i ekwivalentirovanija kanlizacionnoj seti. Vodosnabżenie i Sanitarnaja Technika No 11, s. 51-57, 2012.
- [3] Iwanejko R., Analiza błędów metod wyznaczania miar niezawodności obiektów komunalnych na przykładzie systemu zaopatrzenia w wodę. Czasopismo Techniczne 3-Ś/2009, Zeszyt 11, str. 21-38, Kraków 2009.
- [4] Iwanejko R., Accuracy of reliability measures of water supply and sewage facilities. Scietific Problems Of Machines Operation And Maintenance, 1 (157) 2009, ss. 29-36.
- [5] Iwanejko R., Bajer J., Aplikacje dekompozycji wielokrotnej do dokładnego wyznaczania niezawodności systemów złożonych, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA, t. XXXIV, z. 64 (4/II/17), s. 345-358. DOI:10.7862/rb.2017.252.
- [6] Królikowska J., Kubala M., Analiza problemów praktycznego zastosowania metody dekompozycji i ekwiwalentowania, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA, t. XXXII, z. 62 (3/I/15), s. 243-252, DOI: 10.7862/rb.2015.109.

- [7] Kwietniewski M., Roman M., Kłoss-Trębaczekiewicz H., *Niezawodność wodociągów i kanalizacji*, Arkady, Warszawa 1993.
- [8] Migdalski J. (red.), *Poradnik niezawodności, Podstawy matematyczne*. Wydawnictwo Przemysłu Maszynowego „WEMA”, Warszawa 1982.
- [9] Rak J. i inni, *Niezawodność i bezpieczeństwo systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2012.
- [10] Wiczysty A., *Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych*. Skrypt dla studentów wyższych szkół technicznych., Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 1990.
- [11] Wiczysty A. (red.), *Metody oceny i podnoszenia niezawodności działania komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę*, Monografie KIS PAN, Kraków 2001.

MULTI-STAGE DECOMPOSITION AS A METHOD OF ACCURATE DETERMINATION OF RELIABILITY OF COMPLEX SYSTEMS

Summary

Nowadays, design of all engineering systems should attempt to simultaneously meet technical, economic and reliability criteria. These criteria, especially the reliability ones, should also be met by already existing systems in operation. The principal criterion may refer to the system reliability K . The K measure is interpreted as the probability that at any time during a normal operation the system will be efficient and will perform its tasks in a satisfactory manner. Knowing the value of K often helps to make significant and strategic decisions whether the system needs to be modernized. The measure of reliability K can be determined using various methods. The simplest one is the accurate method of analytical formulas that can be used for systems with a mixed reliability structure. In the engineering practice, however, there may be cases when the system does not have such a structure and construction of a correct system reliability scheme is not possible; it means that the exact value of the system reliability K cannot be determined in the simplest, traditional way. The other methods, such as complete and partial review methods, are generally inefficient. The first one is too labor-intensive and time-consuming if applied to larger systems. The second one, although approximate and keeping control on the calculations accuracy, also becomes a time and labor consuming if a satisfyingly small error has to be obtained. However, one can avoid this difficulty if the process (single or multiple) of system decomposition followed by the formula for complete probability are applied. Such a procedure will allow to obtain the exact value of the system reliability measure K at a relatively small workload. The article presents the methodology for determination of K using a multi-stage decomposition process.

Keywords: indicator of stationary readiness, single parameter methods, step decomposition, simultaneous decomposition, combined decomposition

Przesłano do redakcji: 10.12.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Monika CHMIELEWSKA¹
Krystian CIEŚLAK²

ANALIZA ROZWIĄZAŃ SYSTEMU FOTOWOLTAICZNEGO ZINTEGROWANEGO Z BUDYNKIEM NA PRZYKŁADZIE DOMU JEDNORODZINNEGO

Koncepcja systemów fotowoltaicznych stanowiących integralną część budynku określana jako Building Integrated Photovoltaics (BIPV) zakłada dostosowanie modułów PV do różnorodnych aplikacji w budynku, głównie jako elementów będących alternatywą dla tradycyjnych materiałów budowlanych w obrębie dachów i elewacji, np. pokryć dachowych, szklanych systemów elewacyjnych i dachowych, przeszkleń ścian.

Opracowanie porusza zagadnienie wykorzystania energii promieniowania słonecznego do produkcji energii elektrycznej w instalacji fotowoltaicznej zintegrowanej z budynkiem oraz obejmuje analizę uzysków energii w kontekście spełniania zapotrzebowania budynku na energię elektryczną.

W celu określenia efektywności systemów BIPV przy użyciu programu PVsyst 6.43 wykonane zostały projekty instalacji ścian kurtynowych wykorzystujących różne typy modułów fotowoltaicznych oraz świetlików dachowych. Założono powierzchnię przeznaczoną na cele instalacji fotowoltaicznej, dla wszystkich przypadków przyjęto rozwiązanie on-grid. Przy wykorzystaniu programu PVsyst wykonana została analiza uzysków energii elektrycznej ze wszystkich instalacji w ciągu roku. Otrzymane wyniki odniesiono do zapotrzebowania budynku, co pozwoliło na oszacowanie względnego, procentowego pokrycia zapotrzebowania przez technologie BIPV. Niestety, nie we wszystkich przypadkach założona powierzchnia modułów pozwoliła na całkowite pokrycie zapotrzebowania budynku na energię elektryczną. Najbardziej korzystne dla projektowanego budynku rozwiązanie pozwala wyprodukować wystarczającą ilość energii, aby zaspokoić potrzeby energetyczne.

Słowa kluczowe: BIPV, ogniwa słoneczne, ogniwa monokrystaliczne, ogniwa polikrystaliczne, system fotowoltaiczny, zapotrzebowanie na energię, budownictwo energooszczędne

¹ Monika Chmielewska, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin; tel. 663436533; moniika.chmielewska@gmail.com

² Autor do korespondencji / corresponding author: Krystian Cieślak, Politechnika Lubelska, Wydział Inżynierii Środowiska, Instytut Inżynierii Odnawialnych Źródeł Energii, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin; 81 5384654; k.cieslak@pollub.pl

1. Wprowadzenie

Obecnie, systemy fotowoltaiczne można sklasyfikować według trzech różnych kryteriów: współpracy systemu z siecią elektroenergetyczną, miejsca i sposobu instalacji generatora fotowoltaicznego oraz przeznaczenia wytwarzanej energii. Uwzględniając miejsce i sposób instalacji generatora fotowoltaicznego można wyróżnić między innymi systemy PV zintegrowane z budynkiem – BIPV (*ang. Building Integrated Photovoltaics*). Jest to idea wprowadzenia rozwiązań z zakresu fotowoltaiki w budynkach poprzez zastępowanie tradycyjnych materiałów budowlanych elementami fotowoltaicznymi i dostosowanie modułów do różnorodnych aplikacji w budynku. Koncepcja BIPV mimo pojawienia się na rynku już pod koniec ubiegłego wieku, nie jest jeszcze powszechnie stosowana i wciąż znajduje się w początkowej fazie rozwoju.

2. Charakterystyka koncepcji

Ze wszystkich elementów systemu fotowoltaicznego moduły PV są najbardziej widoczne. Ich wygląd i sposób zainstalowania może w integralny sposób wpływać na architekturę. Obecnie w systemach BIPV często stosowane są ogniwa częściowo transparentne, zwłaszcza w przypadku fasad i świetlików dachowych. Stopień transparentności materiałów można kształtować na różnym poziomie, a rezultat uzależniony będzie od rodzaju ogniwa i ich układu - zupełnie inaczej wyglądają rozsunięte ogniwa krystaliczne, a inaczej częściowo przezroczyste materiały cienkowarstwowe [1, 2].

2.1. Rozwiązania konstrukcyjne

Teoretycznie miejscem przeznaczonym do instalacji systemu BIPV może być każda powierzchnia budynku odpowiednio wystawiona na bezpośrednie działanie promieniowania słonecznego, jednak w praktyce niektóre fragmenty budynku nadają się do tego szczególnie. Są to:

- dachy – płaskie i pochylone,
- ściany – elewacje i przeszklenia (okna) pionowe, nachylone, zakrzywione,
- struktury o specjalnej funkcji, najczęściej zacieniającej – zadaszenia, markizy, a także zabezpieczającej – balustrady [3].

Systemy prawdziwie zintegrowane ze strukturą dachu, tzn. o funkcji pokrycia dachowego, mają mniejszy ciężar, nie są tak widoczne i bardzo dobrze komponują się z architekturą budynku. W przypadku dachów spadzistych platformę nośną dla instalacji może stanowić od razu odpowiednio nachylona konstrukcja dachu [3]. Poza montażem modułów o typowym prostokątnym kształcie stosuje się również dachówki z ogniwami PV. Wielką zaletą tej metody jest prostota instalacji, ze względu na podobieństwo do tradycyjnych dachówek. Jednakże system połączeń elektrycznych jest dość złożony, bowiem dachówki fotowoltaiczne zawierają najczęściej jedynie dwa ogniwa monokrystaliczne [3,4].

Jednym z zastosowań systemów BIPV są także świetliki dachowe, czyli przeszklone konstrukcje, pełniące przede wszystkim funkcję doświetlenia pomieszczeń. Do aplikacji w takiej formie stosowane są materiały częściowo transparentne, które przepuszczając światło dzienne pozwalają kontrolować oświetlenie wnętrza. Budynki są wówczas projektowane w postaci szkieletowej struktury stalowej lub drewnianej, a konwencjonalne szklane wypełnienie zastępowane jest szkłem z ogniwami fotowoltaicznymi [3,4].

Przykładem elementów zacieniającego mogą być między innymi niewielkie zewnętrzne daszki, wykonywane zarówno jako półprzezroczyste jak i całkowicie nieprzezierne. Konstrukcja zapewnia dobrą wentylację tylnej strony nagrzewających się modułów, co skutecznie podwyższa ich efektywność energetyczną.

Zewnętrzne ściany budynku wykorzystywane są do celów instalacji PV zdecydowanie rzadziej niż płaszczyzny dachowe. Ponieważ moduły w systemach fasadowych ustawione są zwykle pionowo, spodziewany uzysk energii jest mniejszy od optymalnego. Wada ta jest kompensowana możliwością pełnienia przez moduły funkcji typowych dla przegrody zewnętrznej oraz wielkością dostępnej powierzchni.

Zintegrowanie systemów fotowoltaicznych ze ścianami kurtynowymi jest jednym z najczęstszych zastosowań BIPV. Ściany kurtynowe są rodzajem ścian osłonowych, wykonanym jako wypełniona szkłem konstrukcja ramownicowa metalowa. Stosowane są przeszklenia całej powierzchni ściany zewnętrznej, jednak rozwiązania takie muszą spełniać warunki ochrony termicznej i zapewniać odpowiedni komfort użytkownika [4,5].

2.2. Zalety i wady rozwiązania

Niewątpliwą zaletą systemów fotowoltaicznych zintegrowanych z budynkiem jest ich szerokie zastosowanie i dużo możliwości aplikacji na obiekcie. Posiadają również szereg dodatkowych funkcji poza produkcją energii słonecznej - estetyczne, izolacji termicznej, a także izolacyjności akustycznej. Stanowią alternatywę dla tradycyjnych materiałów budowlanych, przez co pozwalają na ograniczanie kosztów instalacji poprzez oszczędność już na etapie budowy. Zastosowanie zintegrowanych z budynkiem systemów fotowoltaicznych pozwala na oszczędność zużywanej wewnątrz obiektu energii, poprzez zwiększanie lub zmniejszanie ilości dopływającego w ciągu dnia światła czy zabezpieczenie powierzchni dachu [6,7].

Niestety, systemy fotowoltaiczne zintegrowane z budynkiem posiadają również wady. Głównymi utrudnieniami są między innymi wysoka cena niektórych rozwiązań i brak standaryzacji wielkości modułów. Jednakże zdecydowanie najważniejsza jest konieczność uwzględniania instalacji systemu i sposobu jego integracji na etapie projektowania, bowiem często zastępują one materiały mające istotny wpływ na nośność budynku. Przyczynia się to również do większych wymagań technicznych elementów systemów BIPV. Z powodu miejsca instalacji modułów na powierzchniach o nieoptymalnym nachyleniu, np. na fasadach, uzyski energii są znacznie mniejsze niż w przypadku tradycyjnych instalacji.

3. Metodyka i analiza wyników

Do celów symulacji i analizy uzysków energii z systemu zintegrowanego z budynkiem została zaprojektowana instalacja fotowoltaiczna dla budynku jednorodzinne w Warszawie. Powierzchnia ściany pionowej, która może zostać przeznaczona na instalację wynosi 26 m², powierzchnia południowej połaci dachowej wynosi 45 m². Kąt nachylenia dachu to 30°. Przyjęto, że w najbliższej okolicy projektowanego budynku nie znajdują się elementy, które w znaczący sposób wpływałyby na zacinienie instalacji. Dane meteorologiczne dla określonej lokalizacji zostały określone w oparciu o bazę danych programu. Przyjęto rozwiązanie systemu podłączonego do sieci. Aby porównać uzyski energii w przypadku zastosowania różnych typów rozwiązań, wykonano symulacje w oparciu o posiadane dane techniczne szkła fotowoltaicznego. Projekt instalacji wykonano przy użyciu programu PVsyst 6.43.

Zapotrzebowanie na energię elektryczną dla projektowanego budynku zostało obliczone w oparciu o przyjęte założenia:

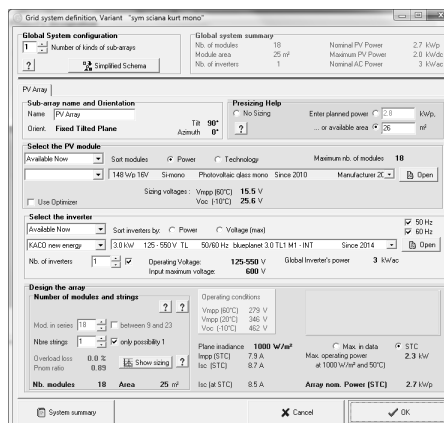
- ilość osób: 3,
- oświetlenie w pomieszczeniach: diody LED, o poborze mocy do 10W,
- urządzenia w klasie energetycznej najwyższej możliwej dla danego typu.

Korzystając z kart katalogowych standardowego osprzętu i uwzględniając małe sprzęty AGD oraz sporadycznie użytkowane urządzenia określono roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną na 3500 kWh.

Dobór modułów i inwertera w programie PVsyst 6.43 został poprzedzony przez dobór kąta nachylenia instalacji. Jako ścianę, na której umieszczona zostanie instalacja fotowoltaiczna w formie ściany kurtynowej przyjęto ścianę południową, o azymucie 0°. Dla instalacji w obrębie dachu przyjęto taki sam azymut i kąt równy nachyleniu połaci.

Dla każdego z symulowanych rozwiązań przeprowadzone zostały kolejne kroki takie jak dobór modułów, inwertera oraz sposobu połączenia modułów. W oparciu o karty katalogowe szyb fotowoltaicznych firmy Onyx Solar [2] uzupełniona została baza modułów. Po wybraniu stosowanych w danym rozwiązaniu modułów i odczytaniu ocenianej mocy systemu został dobrany odpowiedni inwerter. Przykładowe okno doboru elementów systemu PV przedstawia Rys. 1.

Po zakończeniu doboru elementów systemu możliwe było przeprowadzenie symulacji uzysków energii dla każdego z rozwiązań. Odczytany prognozowany uzysk energii dla kolejnych miesięcy przedstawiono w formie tabeli (tab. 1.), a następnie wykresu w celu porównania efektywności wybranych do analizy rozwiązań.



Rys. 1. Przykładowe okno doboru modułów, inwertera i sposobu połączenia w programie PVsyst 6.43

Fig. 1. Print screen from a PVsyst software showing selection of the PV installation elements

3.1. Ściana kurtynowa z ogniwami z amorficznego krzemu

Jako pierwszy przypadek rozpatrzone zostało rozwiązanie ściany kurtynowej z ogniwami z amorficznego krzemu. Szyby fotowoltaiczne zastępują tradycyjne przeszklenie ściany w pokoju dziennym projektowanego domu. Przyjęte zostało 8 szyb fotowoltaicznych firmy Onyx Solar o mocy 189 W, o wymiarach 1245 x 2456 mm. Teoretyczna moc projektowanej instalacji PV wynosi 1,51 kW. Planowany roczny uzysk energii z instalacji został ustalony na poziomie 1066 kWh.

3.2. Ściana kurtynowa z ogniwami z monokrystalicznego krzemu

W kolejnej opcji rozpatrzono 18 szyb fotowoltaicznych firmy Onyx Solar o wymiarach 1650 x 850 mm i mocy 147,6 W. Teoretyczna moc projektowanej instalacji PV wynosi 2,66 kW. Planowany roczny uzysk energii z instalacji wynosi 1742 kWh.

3.3. Ściana kurtynowa z ogniwami z polikrystalicznego krzemu

Przyjęte zostało 36 szyb fotowoltaicznych firmy Onyx Solar o wymiarach 1475 x 480 mm i mocy 62,3 W. Teoretyczna moc projektowanej instalacji PV wynosi 2,3 kW. Planowany roczny uzysk energii z instalacji według symulacji wynosi 1,66 kWh.

3.4. Świetliki dachowe z ogniwami z polikrystalicznego krzemu

Dla przyjętych w poprzednim rozwiązaniu szyb fotowoltaicznych o mocy 62,3 W dokonano również symulacji dla przypadku umieszczenia ich w obrębie połaci dachowej jako świetlików. Pod instalację przyjęta została cała powierzchnia południowej połaci dachowej. Przyjęto 63 szyby firmy Onyx Solar o wymiarach 1475 x 480 mm i mocy 62,3 W. Teoretyczna moc projektowanej instalacji PV wyniesie 4 kW, a planowany roczny uzysk energii z instalacji 4243 kWh.

3.5. Ściana kurtynowa i świetliki dachowe z ogniwami z amorficznego krzemu

Przyjęte zostały szyby fotowoltaiczne firmy Onyx Solar o wymiarach 1475 x 480 mm i mocy 62,3 W. Ilość możliwych do zamontowania szyb wynosi 36. Teoretyczna moc projektowanej instalacji PV wynosi 2,3 kW. Planowany roczny uzysk energii z instalacji wynosi 1,66 kWh.

3.6. System BAPV na dachu budynku

W celu porównania uzysku energii z systemów BIPV z tradycyjnym rozwiązaniem BAPV został zaprojektowany system PV na dachu budynku. Nachylenie dachu 30°, powierzchnia połaci południowej 50 m². Do symulacji przyjęto moduły polikrystaliczne SV60P-250 firmy Selfa, o mocy 250W. Teoretyczna moc planowanej instalacji, przy wykorzystaniu dostępnej powierzchni dachu: 7,5 kW, natomiast planowany roczny uzysk energii z instalacji wynosi 8,07 kW.

Tabela 1. Zestawienie miesięcznych uzysków energii w kWh dla poszczególnych rozwiązań

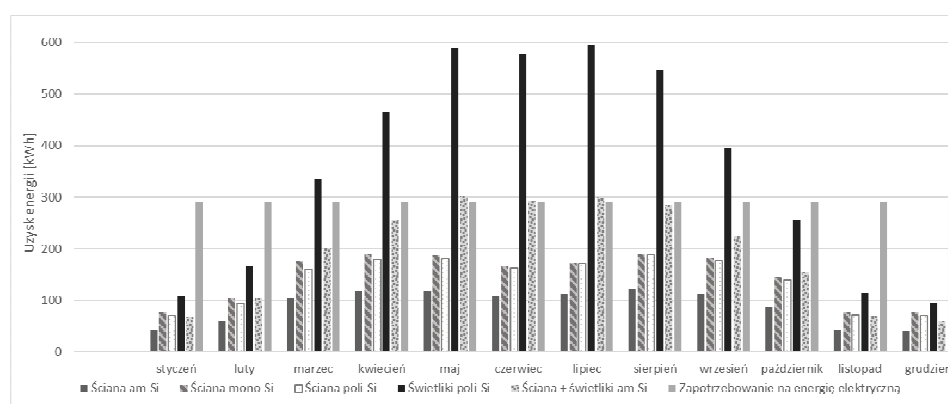
Table 1. Comparison of monthly energy yields for proposed BIPV solutions

Miesiąc	Ściana am-Si	Ściana mono-Si	Ściana poli-Si	Świetliki poli-Si	Ściana + świetliki am-Si
	Uzysk energii [kWh]				
styczeń	42,6	78,7	70,3	109,0	67,4
luty	59,9	104,2	93,4	165,7	102,7
marzec	104,7	174,6	159,3	335,2	199,6
kwiecień	118,0	188,9	179,6	465,3	257,5
maj	118,1	185,7	180,5	589,8	302,9
czerwiec	107,1	166,4	162,6	577,0	293,1
lipiec	111,2	172,0	171,4	595,1	299,4
sierpień	120,5	188,8	187,7	545,0	284,9
wrzesień	113,2	182,4	176,8	395,5	224,3
październik	87,5	146,0	139,3	256,7	154,1
listopad	42,6	76,3	70,7	113,8	69,9
grudzień	40,6	77,8	70,5	94,5	59,8
Σ	1066	1741,8	1662,1	4242,6	2315,5

4. Analiza wyników

Prognozowane uzyski dla zaproponowanych rozwiązań w celu analizy porównawczej przedstawiono na wspólnym wykresie (rys. 2.) wraz z miesięcznym zapotrzebowaniem na energię elektryczną.

Poniższe wyniki pokazują, że największy uzysk energii możliwy jest w przypadku zastosowania świetlików dachowych polikrystalicznych, nieprzeziernych. Wówczas od marca do września instalacja będzie w stanie pokryć zapotrzebowanie w całości, a w najkorzystniejszych miesiącach uzysk energii może być nawet dwukrotnie większy od zapotrzebowania.



Rys. 2. Porównanie miesięcznych uzysków energii dla poszczególnych rozwiązań zintegrowanych z budynkiem i zapotrzebowania na energię elektryczną

Fig. 2. Comparison of monthly energy yields for each of BIPV solutions and electricity demand

Najmniej korzystnym rozwiązaniem jest ściana kurtynowa z ogniwami wykonanymi z amorficznego krzemu o przezierności 30%. Jest ona w stanie wyprodukować rocznie jedynie 30% całkowitej potrzebnej energii.

W przypadku zastosowania zarówno ściany kurtynowej jak i świetlików dachowych z amorficznego krzemu w miesiącach letnich możliwe jest całkowite pokrycie zapotrzebowania na energię elektryczną. W skali roku pokrycie sięgać może około 65%.

Porównywalne wielkości są możliwe do uzyskania przy zastosowaniu ogniw mono- i polikrystalicznych. Instalacja jest wówczas w stanie pokryć około 50% zapotrzebowania w skali roku.

5. Wnioski

Zastosowanie systemów fotowoltaicznych zintegrowanych z budynkiem może stanowić alternatywę dla tradycyjnych instalacji dachowych, bowiem odpowiednie rozwiązanie pozwala na uzyskanie wystarczającej ilości energii, aby

pokryć zapotrzebowanie budynku. Jednakże wielkość uzysków energii z instalacji fotowoltaicznej zależy od jej lokalizacji, kąta nachylenia względem podłoża oraz zastosowanej technologii. Wydajność systemu spada wraz ze wzrostem przejrzystości szyb. Z analizy wyników symulacji wynika, że instalacja zintegrowana z budynkiem w formie ściany kurtynowej jest w stanie pokryć do 50% zapotrzebowania w ciągu roku. Znacznie korzystniejsze są rozwiązania w formie świetlików dachowych z racji optymalnego nachylenia względem podłoża.

Literatura

- [1] Debbarma M, Sudhakar K., Baredar P.: Comparison of BIPV and BIPVT: A review. *Resource-Efficient Technologies*, 3, 2017, s. 263.
- [2] Muszyńska-Łanowy M.: Ekologia dla oczu. Estetyka powłoki BIPV, *Świat Szkła*, nr 7, 2015, s. 26-34.
- [3] Muszyńska-Łanowy M.: BIPV - fotowoltaika zintegrowana z budynkiem, *Fotowoltaika w architekturze. Świat Szkła*, lipiec 2011, s. 14-25.
- [4] Shukla A. K., Sudhakar K., Baredar P.: A comprehensive review on design of building integrated photovoltaic system. *Energy and Buildings*, 128, 2016, s. 99.
- [5] Pietruszko Stanisław M., *Fotowoltaika zintegrowana z budownictwem (BIPV)*, VI Forum Operatorów Systemów i Odbiorców Energii i Paliw „Bezpieczeństwo energetyczne a nowe kierunki wytwarzania i wykorzystania energii w Warszawie, Warszawa 2014.
- [6] Shukla A. K., Sudhakar K., Baredar P.: Recent advancement in BIPV product technologies: A review. *Energy and Buildings*, 140, 2017, 188.
- [7] Solar Energy International, *Photovoltaics: Design and Installation Manual*, 2004.

ANALYSIS OF BIPV SOLUTIONS IN A SINGLE-FAMILY HOUSE

Summary

The conception of photovoltaic systems as an integral part of the building known as Building Integrated Photovoltaics (BIPV) is based on the adaptation of the PV modules with different building elements. It became an alternative to traditional building materials within the roof and facades, glass facade systems and curtain walls.

The article raises a question concerning usage of the solar energy for electricity production in photovoltaic systems integrated with the building such as glass facades, skylights or curtain walls. The article also includes an analysis of the energy production by BIPV technologies installed on the building situated in Warsaw. An analysis of produced electricity during the year for given solutions such as curtain walls and skylights with different types of solar cells was performed using PVsyst 6.43 software. The results are compared to the electric energy consumption of the building, what enabled to evaluate the percentage of energy consumption coverage by BIPV solutions. Unfortunately, due to insufficient number of modules or localization of the PV array, not all of the presented solutions allowed to cover the building's electricity consumption.

Keywords: BIPV, solar cells, monocrystalline cells, polycrystalline cells, PV array, consumption of the energy, energy-efficient construction

Przesłano do redakcji: 24.05.2016 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Marek URBANIK¹
Barbara TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK²

APPROACH TO THE DETERMINATION OF FAILURE RISK LEVEL INDEX ON THE EXAMPLE OF THE NATURAL GAS DISTRIBUTION SUBSYSTEM

The paper presents issues related to the failure risk analysis in the natural gas distribution subsystem (NGDS). In the operation analysis of the gas supply system, very crucial is safety assessment of its functioning, that is why the approach to determining risk in the NGDS by means of the risk level index of gas network failure has been proposed. The presented method can constitute the basis for a comprehensive failure risk management program and the process of making operational decisions.

Keywords: gas network functioning, gas network, risk, gas network failure

1. Introduction

The transport of natural gas by gas pipelines belongs to one of the safest types of transport of this fuel. However, also here, as everywhere, failures occur, which sometimes bring very serious consequences. The unsealing of the gas pipeline located in the ground is a particular threat, because due to the location of the failure, it is noticeable after a long time.

For economic and ecological reasons, natural gas is gaining more and more importance. The increased demand for this fuel causes the expansion of gas networks, which, in turn, increases the level of risk of undesirable events. Each undesirable event in the natural gas distribution subsystem causes disruptions in its supply and creates the risk of the explosion. For this reason, it is very reasonable to determine the level of risk associated with the occurrence of an undesirable event in the natural gas distribution subsystem. In this work, the natural gas distribution subsystem should be understood as a medium and low pressure network, while the high pressure network should be treated as a power source for the NGDS.

The most common causes of pipeline leaks are [2]:

- joints cracks,

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Marek Urbanik, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17 8651408, d314@stud.prz.edu.pl

² Barbara Tchórzewska-Cieślak, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17 8651435, cbarbara@prz.edu.pl

- mechanical damage, eg by an excavator bucket during construction works,
- unsealing of threaded connections,
- corrosion of gas pipelines,
- improper gas composition, which causes damage to the gas pipeline from the inside.

The procedure of defining the risk level of risk should take into account all aspects related to the construction of the gas pipeline starting from the project, the material from which the gas pipeline will be constructed by determining the probability of occurrence of the failure causes and its consequences, location of the gas pipeline and determination of the nuisance degree of failure for individual recipients [5-8, 11, 13-16, 18].

In this work, based on the literature [12], a method of determining the level of risk in the natural gas distribution subsystem using the risk level index has been proposed. In order to properly determine the level of risk with implementation of this method, expert knowledge and experience gained in building and operating of NGDS are necessary.

2. Risk level index – assumptions

When dividing gas pipelines due to pressure, it should be remembered that the value of the working pressure, i.e. the pressure under which the gas is discharged under normal operating conditions, is taken into account, as presented in Table 1.

Medium pressure gas pipelines are supplied by high pressure gas pipelines, while low pressure gas pipelines are usually gas connections to buildings. The failure of medium-pressure gas pipelines results in greater losses as it disrupts the gas supply to the low-pressure network, disrupting the gas supply to a larger number of consumers. Failure of a low-pressure gas pipeline usually deprives (or disrupts the supply) of gas to a smaller number of consumers [1]. Of course, the type of failure should be taken into account. Sometimes the removal of low-pressure network failure forces the medium pressure network to close for a certain period of time, which deprives more gas consumers of access to the gas [17].

One of the key elements affecting the damage of the pipe is its location. Failure of the gas network as a result of an inadequate location may occur as a result of geological factors (eg. landslides, high level of groundwater in the pipeline) and urban planning.

Location the gas pipeline near traffic routes may contribute to damaging the gas pipeline from vehicle vibrations. The more urbanized the area is also the more likely to damage the gas pipeline during construction works. The location of the gas pipeline should be determined according to Regulation of the Minister of Economy of 26 April 2013 on technical conditions to be met by gas networks and their location. This Act divides the location of gas pipelines into [9]:

- first-class location - a land with buildings for collective housing and public utility buildings, single- or multi-family buildings, intensive wheeled traffic,

developed underground infrastructure, such as water supply, sewage, heating, gas, energy and water supply networks telecommunications, and streets, roads and mining areas,

- location of the second class - single-family and prefabricated housing area, development with individual recreation buildings, and also necessary infrastructure for them,
- location of the third class - an undeveloped area and an area where only single-family, economic and livestock buildings as well as the necessary infrastructure can be located.

The gas pipeline material is another group of factors affecting the probability of a failure. Two types of materials are used on the gas pipeline, ie steel and polyethylene [2-4]. It should be remembered that each type of material has different properties. The steel is characterized by high durability and stiffness. On the other hand, compared to polyethylene, it has a large mass compared to polyethylene, which makes it difficult to transport pipes to the site of the gas pipeline as well as the assembly itself. Steel is also susceptible to corrosion, especially electrochemical. The advantages of polyethylene as a material for gas pipelines are low weight and relatively high corrosion resistance. In turn, the defect of polyethylene is a low scratch resistance and greater susceptibility to cracking [10].

The term corrosion is defined as the phenomenon of destruction of materials under the influence of the surrounding environment (atmosphere, precipitation, waters) as well as technological factors released into the atmosphere as a result of human activity. They are sulfur oxides, nitrogen, carbon dioxide, dust, etc. and all kinds of chemicals. Most often, we refer to the phenomenon of corrosion to metals and their alloys, however, it also applies to non-metallic materials, such as those used for the construction of polyethylene gas pipelines [18].

In the case of NGDS, the probability of a failure due to corrosion mainly concerns gas pipelines made of steel, which spreads in the walls of a gas pipe causing a gas leak, which ultimately poses a threat to the health or life of its surroundings and the interruption of gas supplies. The type of corrosion, the rate of its operation and the method of protection against it depends mainly on the gaseous material and its location. The vast majority of gas lines is in the ground. In this case, gas pipelines should consider the following corrosion causes:

- factors from the ground in which the gas-stream is located,
- factors from the improper composition of the transposed gas,
- atmospheric factors (e.g. derived from compounds that got into the ground together with rainfall).

Corrosion should be taken into account when determining the rank of the location of the gas pipeline.

The risk level of the natural gas distribution subsystem should be estimated starting from the division of subsystem elements into groups of factors of the same type. This division is presented in Table 1.

Table 1. Groups and factors connected with functioning of the natural gas distribution subsystem

Tabela 1. Grupy i czynniki związane z funkcjonowaniem podsystemu dystrybucji gazu ziemnego

Group of elements of the natural gas distribution subsystem	Factors of a given gas distribution subsystem group
Type of gas network	Medium-high pressure network 0,5÷1,6 MPa
	Medium pressure network 10 kPa÷0,5 MPa
	Low pressure network ≤ 10 kPa
Location class of the gas pipeline	First class of location
	Second class of location
	Third class of location
Geological conditions	Landslides
	High soil moisture
	Quicksand
Material of the gas pipeline	Steel
	Polyethylene
Working time of the gas pipeline	≤ 10 years
	11÷30 years
	> 30 years

The next step in evaluating the risk level is assigning ranks to individual groups and weights to their factors. Individual ranks and weights are presented in Tables 2 and 3.

Table 2. Division of ranks for NGDS groups, developed on the basis of [12]

Tabela 2. Podział rang dla grup PsDGZ, opracowano na podstawie [12]

Ranks for groups of elements of the gas distribution subsystem R_{gi}	Rank
1	irrelevant
2	not important
3	moderately important
4	important
5	very important

Table 3. Value of weights for factors for NGDS, developed on the basis of [12]

Tabela 3. Wartość wag dla czynników PsDGZ, opracowano na podstawie [12]

Weight value for individual factors W_{ei}	Weight
1	low
2	medium
3	high
4	very high

In Table 4 the assumed risk levels are proposed.

Table 4. Risk levels

Tabela 4. Poziomy ryzyka

IPR	< 40	40÷70	71÷100	>100
Risk levels	insignificant	tolerable	controlled	unacceptable

The obtained value of IPR through performed analysis helps to make decisions concerning the operation or modernization of the system. In case of obtaining insignificant risk, no further action is required and is operated in proper and reliable way. In case of obtaining tolerable risk the system preventive action is not needed. Controlled risk means, that the system is allowed to operate but under the condition that modernization or repair will be undertaken. If unacceptable level occurs immediate action should be taken as to reduce *IPR* [11, 12, 14].

3. Risk level index - methodology

Estimating the level of risk according to the presented method consists in assigning the rank of the gas network to the group and then to the given factor of a given weight group. Then, the risk level index should be calculated from the dependence 1 [12]:

$$IPR = \sum_{i=1}^n R_{gi} \cdot W_{ei} \quad (1)$$

where:

IPR – risk level index,

R_{gi} – assigned to the rank of the *i*-th group of elements of the natural gas distribution subsystem,

W_{ei} – value of the weight of the *i*-th factor of a given group of elements of the natural gas distribution subsystem,

n – number of considered groups of factors when estimating the risk level index.

The following data has been selected for the calculation example:

- type of gas pipeline depending on the pressure - medium-pressure gas pipeline,
- material of the gas pipeline - polyethylene,
- location of the gas pipeline - a gas pipeline located near a road with fairly intensive vehicular traffic, one-family and multi-family area - based on data, the first class of location was assumed,
- geological conditions - the area where the so-called quicksand.

The fragment of the gas pipeline shown in Figure 1 has been analyzed.



Fig. 1. The fragment of the gas pipeline (marked in red) subjected to analysis, developed on the basis of [5]

Rys 1. Fragment gazociągu (zaznaczono na czerwono) poddanego analizie, opracowano na podstawie [5]

To presented in Table 1 groups of elements of the natural gas distribution subsystem and their factors on the basis of Table 2 and 3 were assigned rank and weight, which are presented in Table 5.

Table 5. Characteristics of the analyzed gas network

Tabela 5. Charakterystyka analizowanej sieci gazowej

Group of elements of the natural gas distribution subsystem	Rank for a given group R_{gi}	Factors of a given group of the natural gas distribution subsystem	Weight factor W_{ei}	$R_{gi} \cdot W_{ei}$
Type of gas network	4	medium pressure network	2	8
Gas pipeline location class	3	first location class	4	12
Geological conditions	5	dustbox	4	20
Material of the gas pipeline	4	polyethylene	3	8
Work time of the gas pipeline	3	11÷30 years	3	9
IPR				57

According to the adopted risk levels in tab. 4, for the IPR value = 57 the level of risk is at the tolerated level. The estimation of the level of risk posed by the IPR must be "supported" by expert knowledge on the construction and design of gas pipelines as well as the management of gas networks.

4. Conclusion

Currently, due to the increasing residential areas, the length of gas networks is growing, and the probability of their failure is constantly growing. Therefore, it is justified to develop new research methods that will allow to determine the level of risk on a given section of the gas network. Such studies supported by experience and expert knowledge to develop more effective methods of control and protection of gas networks against failure. It gives the opportunity to combine experience of professionals in a given field, which allows taking into account all the most important factors affecting the risk values associated with damage to the gas network. The proposed method is an alternative to other methods of assessing and managing the failure of the water-pipe network, and its application is justified in the case of subjective assessments of risk parameters.

The method belongs to the group of expert methods and can also be an element of the decision-making process regarding modernization plans of gas network.

Companies, to which belong operational supervision over gas network, should be able to estimate the risk, inform users about its size, take appropriate actions to minimize it and initiate actions that must be taken in the face of the risk. Risk analysis can also be useful for planning prevention activities related to preventing damage, as well as developing emergency and rescue scenarios.

Literature

- [1] Dieckhoener C., Lochner S., Lindenberger D.: Simulating the Effects of European Natural Gas Infrastructure Developments, *Oil Gas-European Magazine*, 36(4) 2010, pp. 174-185.
- [2] Dietrich A., Migracja gazu związana z nieszczelnością dystrybucyjnej sieci gazowej. *Nafta-Gaz* 2016, nr 1, s. 40-44.
- [3] Majid, Z.A., Mohsin, R., Yaacob, Z., Hassan, Z.: Failure analysis of natural gas pipes, *Engineering Failure Analysis* 2010, 17(4), pp. 818-837.
- [4] Materiały z PNIG.
- [5] Rak J.: Istota ryzyka w funkcjonowaniu systemu zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2004.
- [6] Rak J.: Metoda planowania remontów sieci wodociągowej na przykładzie miasta Krosna, *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture*, JCEEA, t. XXXI, z. 61 (1/14), 2014, s. 225-232. DOI:10.7862/rb.2014.15.
- [7] Rak J.: Metody matrycowe oceny ryzyka w systemach zaopatrzenia w wodę. Ośrodek Informacji "Technika Instalacyjna W Budownictwie", *INSTAL*, z.3, s. 42-45, 2004.
- [8] Rak J.: Ryzyko w funkcjonowaniu operatora SZW - analiza ergonomiczna. Wydawnictwo Sigma NOT, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, t. LXXVII, z. 6, s. 211-214, 2003.
- [9] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 26 kwietnia 2013 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe i ich usytuowanie Na

- podstawie art. 7 ust. 2 pkt 2 ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (Dz. U. z 2010 r. Nr 243, poz. 1623, z późniejszymi zmianami).
- [10] Shalaby, H.M., Riad, W.T., Alhazza, A.A., Behbehani, M.H.: Failure analysis of fuel supply pipeline, *Engineering Failure Analysis*, 13 (5) 2006, pp. 789-796.
- [11] Tchórzewska-Cieślak B.: *Metody analizy i oceny ryzyka awarii podsystemu dystrybucji wody*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2011.
- [12] Tchórzewska-Cieślak B.: *Niezawodność i bezpieczeństwo systemów komunalnych na przykładzie systemu zaopatrzenia w wodę*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2008.
- [13] Tchórzewska-Cieślak B.: Risk management system in water-pipe network functioning. *Proceedings of the European Safety and Reliability Conference 2009, Safety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and Application 3*, pp. 2463-2471.
- [14] Tchórzewska-Cieślak B.: Water supply system reliability management. *Environmental Protection Engineering* 2009, 35, pp. 29-35.
- [15] Tchórzewska-Cieślak B., Pietrucha-Urbanik K.: Failure risk analysis in the collective water supply systems in crisis situations. *Journal of Polish Safety and Reliability Association* 2013, 1 (4), pp. 129-136.
- [16] Tchórzewska-Cieślak B., Pietrucha-Urbanik K.: Methods for integrated failure risk analysis of water network in terms of water supply system functioning management. *Journal of Polish Safety and Reliability Association, Summer Safety and Reliability Seminars* 2017, t. 8, z. 1, pp. 157-166.
- [17] Urbanik M., Tchórzewska-Cieślak B.: Ecological aspects of the natural gas use, *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA*, t. XXXII, z. 62 (1/15), s. 409-417. DOI: 10.7862/rb.2015.29.
- [18] Urbanik M., Tchórzewska-Cieślak B.: Podstawy analizy niezawodności funkcjonowania instalacji wykorzystujących gaz ziemny, *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA*, t. XXXII, z. 62 (1/15), s. 419-431. DOI: 10.7862/rb.2015.30.

PODEJŚCIE DO OKREŚLENIA INDEKSU POZIOMU RYZYKA AWARII NA PRZYKŁADZIE PODSYSTEMU DYSTRYBUCJI GAZU ZIEMNEGO

Streszczenie

W pracy przedstawiono zagadnienia związane z analizą ryzyka awarii w podsystemie dystrybucji gazu ziemnego (PDGZ). W analizie eksploatacji systemu zaopatrzenia w gaz ważna jest ocena bezpieczeństwa jego funkcjonowania, dlatego też zaproponowano podejście do określania ryzyka w PDGZ za pomocą indeksu poziomu ryzyka awarii uszkodzenia sieci gazowej. Przedstawiona metoda może stanowić podstawę kompleksowego programu zarządzania ryzykiem awarii oraz procesu podejmowania decyzji eksploatacyjnych.

Słowa kluczowe: funkcjonowanie sieci gazowej, sieć gazowa, ryzyko, awaria sieci gazowej

Przesłano do redakcji: 1.10.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Piotr GLEŃ¹
Karol KRUPA²

STUDIUM ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU ARCHITEKTURY ISLANDII

Idea zrównoważonego rozwoju – *sustainable development* - jest stosunkowo nowym prądem myślowy. Termin ten został użyty po raz pierwszy w raporcie Światowego Komitetu ds. Środowiska i Rozwoju „*the Brundtland Commission*”, chociaż ogólny zarys zrównoważonego rozwoju nakreślony był już w 1972 roku w Sztokholmie podczas Konferencji ONZ „*Środowisko Człowieka*”. [1] W architekturze pojawia się od niedawna ale obecnie zaczyna mieć znaczący wpływ na kształtowanie myśli architektonicznej współczesnych projektantów. Miasta coraz większy nacisk kładą na architekturę ekologiczną. Przyczyną jest znaczna urbanizacja powierzchni i dynamiczny rozwój miast. Aby oddać ziemi powierzchnię zabraną przez powstające budynki coraz popularniejsze stało się stosowanie np. zielonych dachów. Zwiększa to powierzchnię biologicznie czynną. Autor pragnie przedstawić rozumienie definicji zrównoważonego rozwoju w kontekście architektonicznym. W niniejszym artykule na podstawie wymienionych przykładów architektury zrównoważonego rozwoju w Islandii, prezentuje sposoby myślenia oraz wykorzystywania naturalnych zasobów jakimi dysponuje. Omówione są również rozwiązania projektowe stosowane w ekologicznej wiosce *Sólheimar* w Islandii. Klimat na tej wulkanicznej wyspie jest niezwykle surowy, dlatego też według autora stanowi ona doskonały przykład pełnego wykorzystania wartości jakimi dysponuje. Niniejszy artykuł jest próbą przedstawienia pozytywnej drogi do architektury zrównoważonego rozwoju. Przykłady zaprezentowane w niniejszym tekście przez autora mają za zadanie zwrócić uwagę na doskonałe wykorzystanie połączenia współczesnych technologii z rozwiązaniami stosowanymi już od wieków w Islandii.

Słowa kluczowe: Islandia, Ecovillage, zielone dachy, wody termalne

1. Wprowadzenie

Autor artykułu pragnie przedstawić na przykładzie działań prowadzonych w Islandii sposób rozumienia oraz metody wykorzystywania zrównoważonego rozwoju w odniesieniu do zagadnienia architektury. Wraz z nadejściem ery

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Piotr Gleń, Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury, Samodzielna Pracownia Architektoniczna, ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin; tel. 725503548; p.glen@pollub.pl

² Karol Krupa, Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury, Samodzielna Pracownia Architektoniczna, ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin; tel. 503612328; k.krupa@pollub.pl

świadomości ekologicznej nastąpiła zmiana w architekturze z fascynacji nowymi technologiami oraz przemysłem na architekturę proekologiczną. [2]

Jednym z najbardziej rozpoznawanych w Islandii miejsc pod kątem wykorzystywania zasobów naturalnych w funkcjonowaniu tej małej społeczności jest *Sólheimar Ecovillage*. Można zaryzykować stwierdzenie, że ta mała wioska doszła do etapu kiedy jest ona praktycznie samowystarczalna. Społeczność ta jest stosunkowo niewielka bo liczy 100 osób z których część zamieszkuje i pracuje w wiosce na stałe a część przebywa tam sezonowo. Wymiana mieszkańców jest tam obowiązkowa a podstawowym kryterium jest aby ich liczba jednorazowo nie przekraczała 100 członków. Każdy zamieszkujący to miejsce na stałe lub czasowo ma w obowiązku czynnie włączać się funkcjonowanie całej wioski *Sólheimar Ecovillage*. Stworzona w ten sposób społeczność zaczęła więc funkcjonować jako jeden organizm a jej elementy składowe przenikają się i uzupełniają jednocześnie.

Islandia - państwo położone w Europie Północnej, na wyspie o tej samej nazwie Islandia oraz kilku mniejszych wyspach. Na Islandii warunki klimatyczne oraz podłoże skalne uniemożliwiają swobodną uprawę jakiegokolwiek roślinności. Ma tu również znaczenie fakt, że wyspa ta znajduje się na granicy północnego kręgu polarnego, co oznacza że występują tutaj noce polarne. Brak światła słonecznego nie sprzyja roślinności. Większość towarów zostaje więc tutaj importowana z innych państw. Dlatego tym bardziej na uznanie zasługuje fakt iż w *Sólheimar* mieszkańcy uprawiają własne warzywa, pieką własne pieczywa czy wytwarzają przedmioty domowego użytku. Biorąc pod uwagę liczbę osób w tej wspólnocie imponujące jest ile różnego rodzaju wykonywanych zawodów możemy tu znaleźć.

W kontekście tematu podjętego przez autora tekstu skupia się on na aspekcie wykorzystywania poprzez mieszkańców oraz użytkowników *Sólheimar Ecovillage* zasobów naturalnych jakimi dysponuje Islandia. Jak już wspomniano, kraj ten jest niezwykle trudny do uprawy roślinności czy hodowli zwierząt ze względu na wulkaniczne podłoże. Mieszkańcy jednak mają w zamian za to inne wartości przyrodnicze dzięki którym funkcjonowanie miast stało się dużo łatwiejsze. Mowa tutaj o złożach wód termalnych, które wykorzystywane są na Islandii jako źródło ciepła. Dzięki pokładom źródeł wód termalnych znajdujących się pod powierzchnią ziemi ludzie korzystają bez ograniczeń z ciepłej wody ogrzewając nią budynki. Jest to przykład korzystania z zasobów jakie oferuje przyroda nie oddziałując na nią tym samym w sposób destrukcyjny.

2. Zrównoważony rozwój

Zrównoważony rozwój polega na wykorzystywaniu środków jakie oferuje nam natura w taki sposób aby mogły z nich korzystać następne pokolenia. Jest to dbanie o wspólną przyszłość całej planety. Tak więc samo pojęcie *zrównoważonego rozwoju* doskonale wpasowuje się w charakter społeczności Islandii a w szczególności wioski *Sólheimar Ecovillage*. Wykorzystuje się tutaj maksymalnie potencjał jaki oferuje Islandia. Poprzez zastosowanie wód termalnych do

ogrzewania obiektów praktycznie nie występuje tutaj ogrzewanie tradycyjne za pomocą np. różnego rodzaju kotłów. Jest to odczuwalne chociażby w miastach Islandii gdzie powietrze jest czystsze niż w większości miast europejskich.

Pojęcie *zrównoważonego rozwoju* w kontekście architektonicznym przekłada się więc na sposób projektowania i wykorzystywania wartości przyrodniczych w budownictwie. Należy pamiętać, że działania architektoniczne są przede wszystkim skierowane do odbiorców, użytkowników. Tak więc architekt skupia się nie tylko na zagadnieniach budowlanych ale również społecznych. Zwolennicy architektury proekologicznej zmagają się z problemem połączenia trzech rzeczy: przyjaznej środowisku technologii, oszczędności surowców oraz wartości estetycznych. [3]

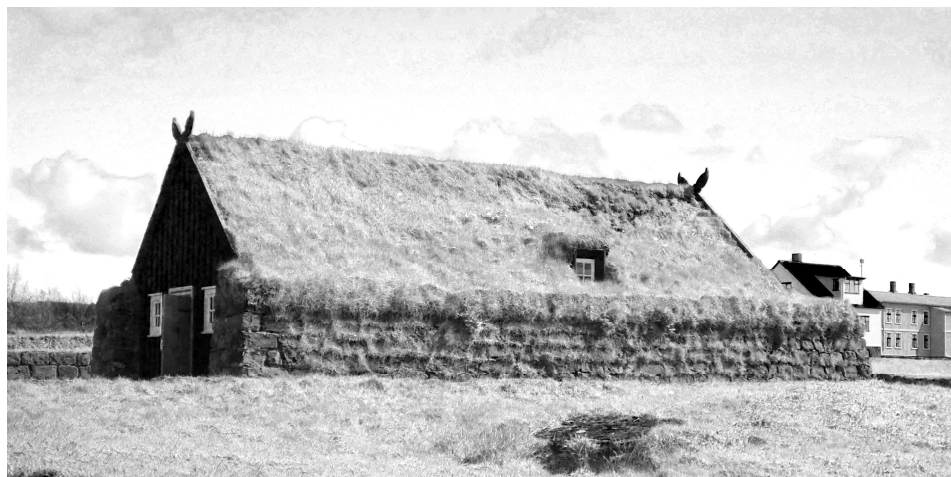
Jak zauważa Elżbieta Ryńska niektóre źródła twierdzą, że inicjatorem budownictwa ekologicznego na świecie był już w latach czterdziestych i pięćdziesiątych XX wieku George Fred Keck. Stosował on wówczas rozwiązania technologiczne uważane dzisiaj za podstawowe w projektowaniu związanym ze zrównoważonym rozwojem. [4]

3. Sposoby wykorzystywania uwarunkowań klimatycznych w projektowaniu

Formy architektoniczne pierwotne ale również te spotykane w małych osadach, silnie powiązane były z miejscowym budulcem jak również z uwarunkowaniami klimatycznymi Islandii. [5] Biorąc pod uwagę obecność takich bogactw przyrodniczych jak źródła termalne, czymś zupełnie naturalnym stało się ich powszechne zastosowanie przez człowieka. Podstawowym zastosowaniem jest tutaj wykorzystanie ich jako źródło ciepła. Ale również turystyka zyskała dzięki chociażby tak znanemu miejscu jak geotermalne spa *blue lagoon*.

Wspomniano uprzednio o niezwykle trudnych warunkach klimatycznych jakie panują na Islandii. Jest to wyspa powstała na skałach wulkanicznych. Tak więc porost roślinności jest tutaj znacznie utrudniony. Fakt ten jak również obecność silnych wiatrów przyczyniło się do budowania niskich domów, których dachy porośnięte były trawą. Domy te często zagłębione były częściowo poniżej terenu. Wizualnie obiekty przypominały bardziej piwnicę niż budynek mieszkalny (Rys.1.).

Zielone dachy nie miały wówczas znaczenia estetycznego. Stosowane były jedynie ze względu na uwarunkowania klimatyczne. Na cięte warstwy torfu układano darń, która korzeniami spajała poszczególne bloki. [6] Dachy porośnięte trawą chroniły budynki przed znaczącymi stratami ciepłymi a także przed wiatrem, opadami śniegu oraz deszczu (Rys. 2). Powstałe w ten sposób opływowe kształty wzgórz i pagórków sprawiały, że budynek był znacząco mniej narażony na działania sił przyrody. W dobie postępu cywilizacyjnego jaki następuje na świecie, troska o środowisko naturalne stała się sprawą nadrzędną. „Dobrze utrzymany ogród wykonany na dachu, to doskonały sposób na przywrócenie naturze powierzchni gruntu zajętej pod zabudowę.” [7]



Rys. 1. Budynek z zielonym dachem - Skansen i Muzeum w Árbæjarsafn - fot. autor

Fig. 1. The building with a green roof - Historical Village and Museum Arbaejarsafn - author's photograph



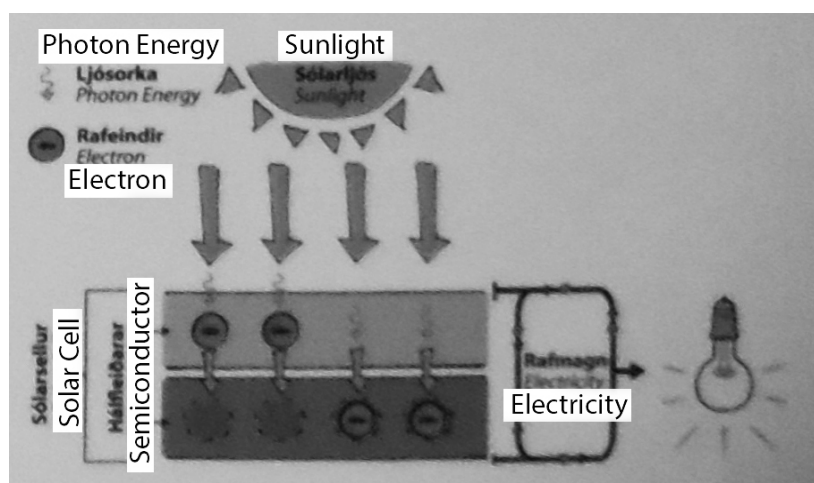
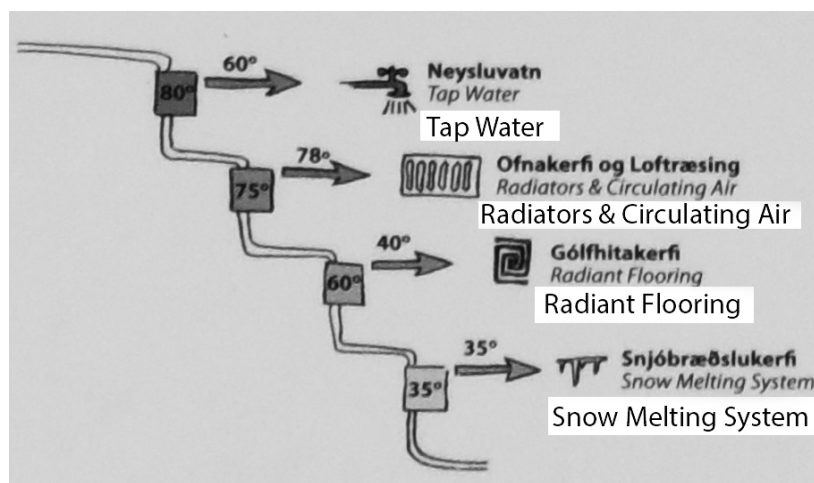
Rys. 2. Budynek z zielonym dachem - Sólheimar Ecovillage - fot. Autor

Fig. 2. The building with a green roof - Sólheimar Ecovillage - author's photograph

Kolejną z zasad zrównoważonego rozwoju w projektowaniu jest stosowanie dużych przeszkleń w celu gromadzenia jak największej energii słonecznej. Z uwagi na niewielkie nasłonecznienie lub noce polarne w tym rejonie, obiekty mieszkalne obecnie posiadają duże przeszklenia dzięki czemu wykorzystywana maksymalnie jest dostępna energia słoneczna. Straty ciepłe powodowane przez duże szklenia niwelowane są poprzez wykorzystywanie energii wód termalnych do ogrzewania budynków. Natomiast stosowanie zielonych dachów powoduje przede wszystkim zatrzymywanie maksymalnie dużej ilości ciepłego powietrza

wewnątrz. We wspomnianej już wcześniej osadzie *Sólheimar Ecovillage* wykorzystywane są właśnie tego typu rozwiązania projektowe. większość zabudowań posiada zielone dachy, duże przeszklenia oraz ogrzewane są za pomocą gorącej wody ze źródeł termalnych. Również energia słoneczna znalazła tutaj swoje zastosowanie poprzez użycie baterii fotowoltaicznych (Rys.3.).

Przedstawiony schemat pokazuje, że ciepła woda z pod powierzchni ziemi w zależności od temperatury wykorzystywana jest do różnych celów. Niską temperaturą roztopia się pokrywą śnieżną lub zlodowaciałe elementy. Wyższą natomiast używana jest do ogrzewania podłogowego oraz do zasilania kaloryferów. Z kolei najwyższą temperaturę wody używa się jako wodę ciepłą w kranie stosowaną do mycia.



Rys. 3. Schemat wykorzystania energii cieplnej - fot. autor

Fig. 3. Diagram of thermal energy - author's photograph

4. Podsumowanie

Jak pisze Wojciech Pęski „Istotnym wymogiem zrównoważonego rozwoju jest zgodność procesu kształtowania przestrzeni, użytkowania i rozbiórki obiektu architektonicznego z przepływem i wykorzystaniem energii występującej w przyrodzie”. [8] Niniejszy cytat doskonale obrazuje sens zrównoważonego rozwoju w kontekście architektonicznym. Jest to znalezienie kompromisu pomiędzy funkcją i formą architektoniczną, a naturalnymi dobrami występującymi w przyrodzie, które służyć mogą jako odnawialne źródła energii.

Literatura

- [1] Wojciech Pęski, „Zarządzanie zrównoważonym rozwojem miast” Wydawnictwo „Arkady”, Warszawa 1999, s. 31.
- [2] James Wines, „Zielona architektura”, wyd. TASCHEN GmbH 2008, s. 8.
- [3] James Wines, „Zielona architektura”, wyd. TASCHEN GmbH 2008, s. 19.
- [4] Elżbieta D. Ryńska „Architekt w procesie tworzenia harmonijnego środowiska”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004, s. 8.
- [5] Noble A. G. Vernacular Buildings, A Global Survey, I.B. Tauris, London, New York.
- [6] Natalia Przesmycka, Wernakularna architektura Islandii (w:) Budownictwo i Architektura 14(3) (2015) 257-268.
- [7] Barbara Sokołowska, Mariusz Krajczyński „Stropodachy projektowanie i wykonawstwo”, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2004, s. 11.
- [8] Wojciech Pęski, „Zarządzanie zrównoważonym rozwojem miast” Wydawnictwo „Arkady”, Warszawa 1999, s. 228.

STUDY OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF ARCHITECTURE OF ICELAND

Summary

The idea of sustainable development is relatively well-dim current thinking. This term was first used in the report-nity Interior and Administration Committee. Environment and Development, "the Brundtland Commission", cho-pregnancy overview of sustainable development was already outlined in 1972 in Stockholm at the UN Conference "Environment Man". [1] In the architecture-sculpture it appears recently but is now beginning to have a significant impact on the shaping of architectural thought-Wani contemporary designers. Cities increasing emphasis on ecological architecture. The reason is the vast urbanization after-surface and dynamic urban development. To return the land taken away from the surface formed by the buildings became increasingly popular to use eg. Green roofs. This increases the area of biologically active. The author wishes to understand the present-not the definition of sustainable development in the context of architecture. In st of this article on the basis of these examples of architecture-sustainable development in Iceland, it presents ways of thinking and the use of natural resources at its disposal. They are also discussed design solutions used in ecological village Solheimar in Iceland. The climate on this volcanic island is extremely severe, and therefore according to the author it is an excellent example of the full use of its disposal. This article is an attempt to present a positive way to the architecture of sustainable development. Examples presented herein by the author are intended blender!-Priced due to the excellent use of combination of modern technology and the solutions used for centuries in Iceland.

Keywords: Iceland, Ecovillage, green roofs, thermal

Przesłano do redakcji: 24.11.2016 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Wioleta BŁASZCZAK-BAK¹
Anna SOBIERAJ-ŻŁOBIŃSKA²

METODA OPTD DO REDUKCJI DANYCH W OPRACOWANIU WYNIKÓW POMIARÓW LINII ELEKTROENERGETYCZNYCH

Skaning laserowy to technologia dostarczająca we względnie krótkim czasie dużą ilość danych pomiarowych. Jest to zarazem pozytywna jak i negatywna cecha tej technologii. Z jednej strony w wyniku skaningu otrzymuje się dane, które szczegółowo odzwierciedlają pomierzony obiekt. Z drugiej strony trudność sprawia przetwarzanie takiej ilości danych i nie zawsze wszystkie dane ze skaningu są niezbędne do realizacji wybranego zadania. Z tych względów nieustannie trwają prace nad opracowaniem algorytmów umożliwiających usprawnienie ich przetwarzania. Jednym z rozwiązań jest zmniejszenie ilości danych.

W pracy przedstawiono wyniki redukcji danych pochodzących z pomiaru lotniczym skanowaniem laserowym napowietrznych sieci elektroenergetycznych. Pomiar były przeprowadzone na potrzeby inwentaryzacji. Uzyskaną chmurę punktów przetworzono wykorzystując metodę Optimum Dataset (OptD). Celem było sprawdzenie czy punkty obrazujące linie elektroenergetyczną nie zostaną utracone w trakcie przetwarzania metodą OptD.

W metodzie OptD jako kryterium optymalizacyjne przyjęto stopień redukcji czyli jaki procent punktów ma zostać usunięty z oryginalnego zbioru (p%). Badania przeprowadzono dla dwóch przypadków: 1) p%=70%, (zbiór Ω_1) oraz 2) p%=85% (zbiór Ω_2). Uzyskane wyniki pokazały, że metoda OptD nie zakłóca obrazu linii elektroenergetycznych. Liczba punktów obrazująca linie jest wystarczająca do prawidłowego wyznaczenia przebiegu tej linii.

Słowa kluczowe: przetwarzanie danych, lotniczy skaning laserowy, metoda redukcji

1. Wprowadzenie

Szybko rozwijające się technologie pomiarowe takie jak LiDAR (Light Detection And Ranging), MBES (Multi Beam Echo Sounder) powodują pozyskiwanie ogromnych ilości danych. Dysponując takimi zbiorami można generować

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Wioleta Błaszczak-Bak, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Instytut Geodezji, ul. Oczapowskiego 1/25, 10-719 Olsztyn; tel. (89)5233305; wioleta.blaszczak@uwm.edu.pl

² Anna Sobieraj-Żłobińska, Politechnika Gdańska, Katedra Geodezji, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk; tel. (58)3472212; anna.sobieraj@pg.edu.pl

np. Digital Terrain Model (DTM) lub Digital Surface Model (DSM). Jednak przetwarzanie takiej ilości informacji, a zwłaszcza zmian zachodzących w czasie rzeczywistym jest praktycznie niemożliwe lub bardzo trudne [3]. Nieustannie trwają prace nad usprawnieniem przetwarzania zbiorów danych pozyskanych technologią LiDAR, tak aby mogły być wykorzystywane do budowy SIS (Spatial Information System) lub mogły stanowić źródło wielu innych opracowań. Jednym z projektów, który chce umożliwić zaawansowane wykorzystanie danych przestrzennych jest Centrum Analiz Przestrzennych Administracji Publicznej (CAPAP). W ramach realizacji projektu planuje się między innymi wykonanie zadania związanego z narzędziami, jakie będą użyte w trakcie wykorzystania danych przestrzennych. Zadanie to polega na utworzeniu platformy analitycznej umożliwiającej przeprowadzanie zaawansowanych analiz przestrzennych, w tym analiz na danych 3D, a także interpretację oraz wizualizację wyników analizy w postaci tekstowej oraz graficznej.

Również w ramach prac związanych z inwentaryzacją linii elektroenergetycznych z wykorzystaniem danych LiDAR można stosować metody redukcji, ponieważ wiele z pomierzonych elementów krajobrazu jest niepotrzebnych.

W tych i wielu innych przypadkach konieczne jest zmniejszanie liczebności danych w zbiorze pomiarowym. Zmniejszenie może odbywać się drogą generowania, redukcji, lub generalizacji gotowego DTM. Generowanie to zmniejszanie zbioru danych poprzez tworzenie siatki *grid* [4], [5], [6]. Redukcja pozwala na zmniejszenie liczebności zbioru danych poprzez usunięcie niektórych punktów. Wybór punktów do usunięcia odbywa się na podstawie różnych algorytmów [7],[8],[9]. Generalizacja DTM to natomiast uproszczenie DTM [10].

Redukcja liczebności danych pomiarowych w zbiorze jest innym zagadnieniem niż generalizacja DTM nazywana również redukcją ilościową danych wysokościowych [10]. Można wyróżnić różne metody generalizacji np.: filtrację globalną, stosowaną głównie dla modeli o regularnej siatce; filtrację lokalną polegającą na selekcji punktów kluczowych dla modelu terenu; podejście heurystyczne związane z generalizacją linii strukturalnych DTM [11]. Istnieją również inne podziały metod generalizacji. Zhou i Chen [12] wymieniają metody: generalizację linii trójwymiarowych, filtrację, metodę addytywną, metodę subtraktywną i metodę obiektową. Kolejnymi metodami związanymi z generalizacją są metody związane z technikami przetwarzania obrazów, traktując DTM w strukturze *grid* jako raster. Przykładem takiego przetworzenia jest zmiana rozdzielczości wynikowego modelu [13].

Do sporządzenia wielu opracowań np. przekrojów, map izolinii, inwentaryzacji linii elektroenergetycznych lepiej jest, jeśli korzystamy ze źródła w postaci danych rzeczywistych. Po zmniejszeniu liczebności punktów w chmurze użytkownik może pracować na danych rzeczywistych, uzasadniony jest zatem wybór redukcji.

Redukcja zbioru jest zagadnieniem wymagającym prawidłowego zaplanowania, tak aby zredukowany zestaw danych spełniał wszystkie oczekiwania u-

żytkownika. Oczywiście najlepiej jest, jeśli otrzymany wynik jest rozwiązaniem optymalnym pod względem ustalonych kryteriów. Do metod redukcji, które dają rozwiązanie optymalne należy metoda Optimum Dataset (OptD) [1], [2].

Podejście prezentowane jest w pracach [1], [2] i schematycznie przedstawiono je na rys. 1.

Proponowaną metodę OptD można zastosować w trakcie opracowania wyników z pomiaru linii elektroenergetycznych z wykorzystaniem lotniczego skaningu laserowego (Airborne Laser Scanning – ALS). Pomiary sieci elektroenergetycznych wykonuje się w na potrzeby inwentaryzacji, w celu poprawy bezpieczeństwa elektroenergetycznej sieci [14],[15].

Celem pracy jest porównanie przebiegu linii elektroenergetycznych po redukcji danych w zbiorze pomiarowym, oraz sprawdzenie czy punkty obrazujące linie elektroenergetyczną nie zostaną utracone w trakcie przetwarzania metodą OptD.

W pracy stosowano następujące podejście do przetwarzania danych ALS z pomiaru linii elektroenergetycznych:

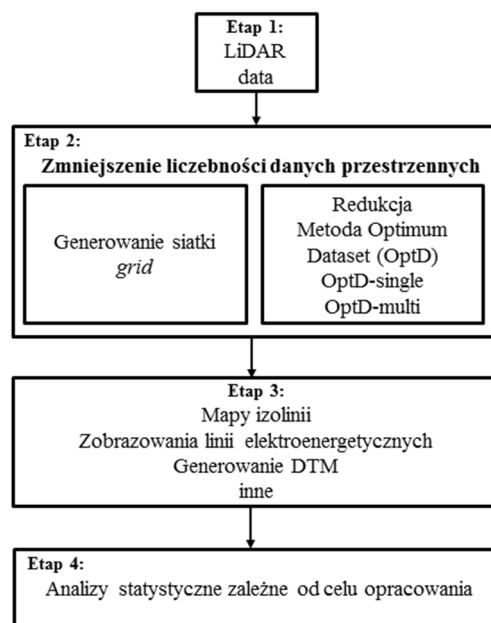
1. Pozyskanie chmury punktów ALS.
2. Przeprowadzenie analizy statystycznej zbioru.
3. Ustalenie kryteriów optymalizacyjnych.
4. Zastosowanie metody OptD-single do redukcji punktów w chmurze ALS.
5. Przeprowadzenie analiz statystycznych uzyskanych po redukcji zbiorów.
6. Podgląd linii elektroenergetycznych.
7. Analiza wyników.

1.1. Metoda Optimum Dataset

Metodę OptD możemy wykonać w dwóch wariantach:

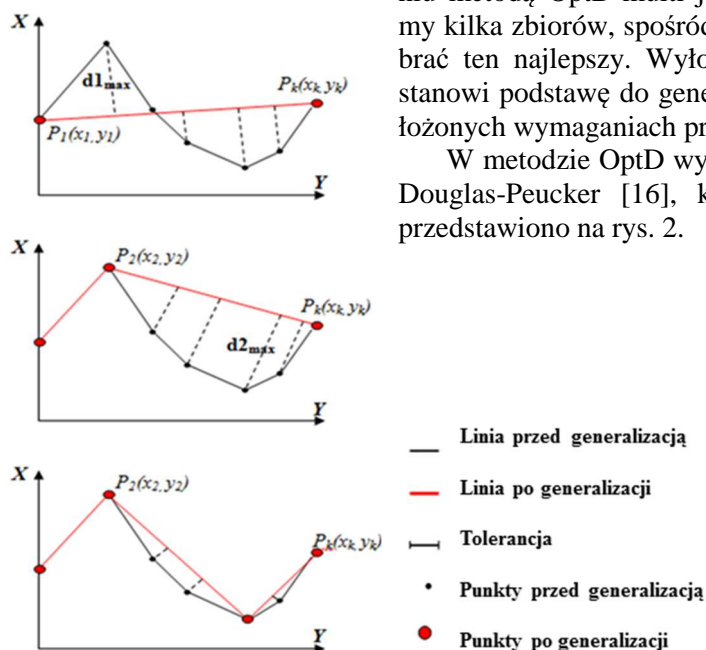
- metoda OptD z optymalizacją jednokryterialną nazwana **OptD-single**,
- metoda OptD z optymalizacją wielokryterialną nazwana **OptD-multi**.

Jeżeli wybieramy metodę OptD-single poszukiwany jest zbiór spełniający ściśle określony jeden warunek. Jeśli jednak podejmiemy decyzje o przetwarza-



Rys. 1. Zmniejszanie zbioru danych przestrzennych

Fig. 1. Decrease of the spatial dataset



Rys. 2. Zasada działania metody D-P (źródło: [1])

Fig.2. D-P method (source: [1])

Przed rozpoczęciem generalizacji metodą D-P należy przyjąć ustaloną wartość parametru κ , jak również zdefiniować linię podstawową. Linia podstawowa jest to linia wyznaczona przez punkty początku i końca generalizowanej linii. Współczynnik tolerancji κ jest to długość odcinka, którą określa użytkownik w zależności od przewidywanego poziomu generalizacji. Punkty, których odległości od linii podstawowej są mniejsze od wartości κ są eliminowane ze zbioru danych.

Algorytm metody D – P przebiega w następujących etapach:

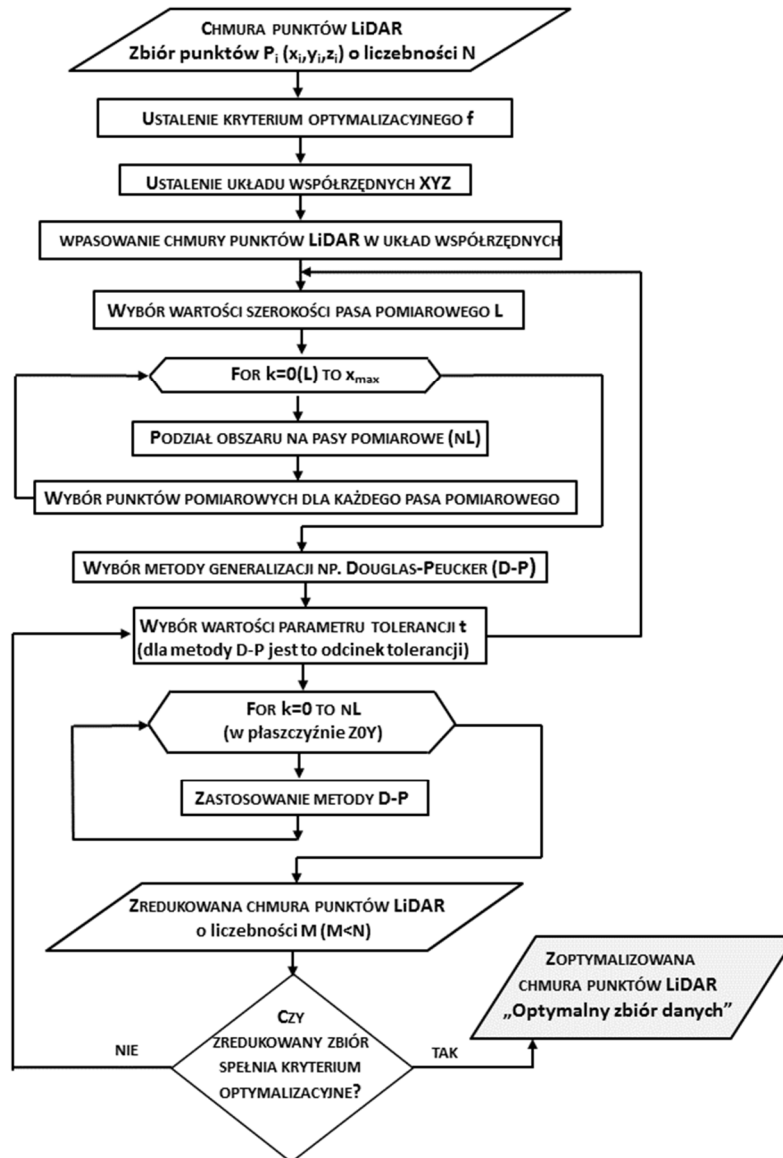
1. Wybór linii podstawowej, którą tworzą dwa punkty: początkowy zwany kotwicą ($P_1(x_1, y_1)$) i końcowy zwany pływakiem ($P_k(x_k, y_k)$) oraz ustalenie współczynnika tolerancji κ . Linia podstawowa prezentowana na rys. 2 jest pierwszym przybliżeniem linii po generalizacji.
2. Obliczenie odległości wszystkich punktów należących do opracowywanego pasa poszukiwań od linii podstawowej. W tym etapie następuje również wybór punktu, którego odległość od linii podstawowej jest największa. Na rys. 2 jest to odległość d_{\max} .
3. Jeżeli $d_{\max} \geq \kappa$ to punkt zostaje i staje się automatycznie drugim końcem nowo utworzonej linii podstawowej (np. punkt $P_2(x_2, y_2)$ na rys. 2). Jeżeli natomiast $d_{\max} < \kappa$ wówczas punkt zostaje usunięty z dalszych analiz.

niu metodą OptD-multi jako wynik otrzymamy kilka zbiorów, spośród których należy wybrać ten najlepszy. Wyłoniony zbiór danych stanowi podstawę do generowania DTM o założonych wymaganiach projektowych.

W metodzie OptD wykorzystano algorytm Douglas-Peucker [16], który schematycznie przedstawiono na rys. 2.

4. Realizacja algorytmu w pasie poszukiwań trwa do momentu, gdy zostaną zweryfikowane wszystkie wartości d_{\max} . Na rys. 2 zaprezentowano efekt działania algorytmu dla kilku wybranych kroków.

W pracy zdecydowano wykorzystać metodę OptD-single. Algorytm metody OptD-single w postaci schematu blokowego zaprezentowano na rys. 3.



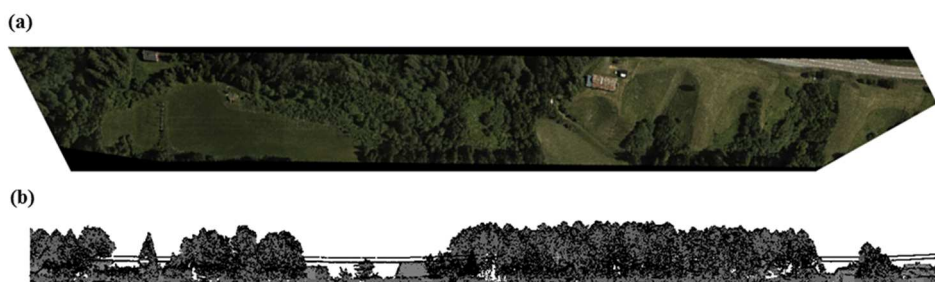
Rys. 3. Schemat blokowy algorytmu metody OptD-single (źródło: [1])

Fig.3. Flowchart of the OptD-single method (source: [1])

2. Wyniki badań

Chmura punktów ALS została udostępniona przez Firmę Vimap Sp. z o.o. w Olsztynie. Pomiary zostały wykonane 6 lipca 2017 roku, skanerem laserowym RIEGEL VUX1-UAV na wysokości lotu około 100m.

Fragment chmury punktów wykorzystany w pracy zawiera 2 332 746 punktów (zbiór Ω) i zaprezentowany został na rys. 4.



Rys. 4. Chmura punktów ALS udostępniona przez Firmę Vimap: (a) ortofotomapa, (b) widok z boku (źródło: opracowanie własne w CloudCompare v.2.6.0)

Fig. 4. ALS point cloud provided by Vimap: (a) orthophotomap, (b) side view (source: own study in CloudCompare v.2.6.0)

Charakterystykę statystyczną zbioru Ω przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Statystyka oryginalnego zbioru danych Ω

Table 2. Statistics of original dataset Ω

Parametr	Wartość
Liczba punktów	2 332 746
Zmax [m]	108.600
Zmin [m]	84.620
Zśr [m]	91.634
SD [m]	6.834
Średnia odległość między punktami [m]	0.036

Chmurę punktów ALS przetworzono wykorzystując metodę OptD-single. Jako kryterium optymalizacyjne przyjęto stopień redukcji czyli jaki procent punktów ma zostać usunięty z oryginalnego zbioru danych (p%).

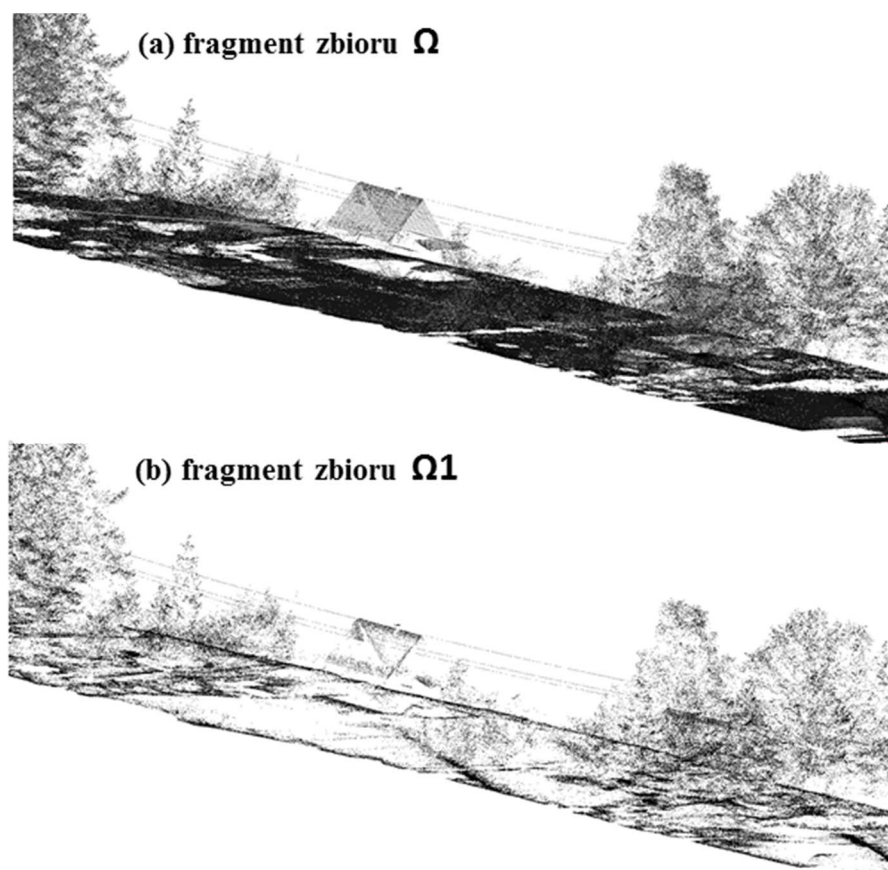
Założono, że wynikiem przetwarzania metodą OptD-single mają być dwa zbiory zredukowane o 70% i 85%. Aby spełnić to kryterium przyjęto 2 różne warianty w metodzie OptD-single:

- szerokość pasa poszukiwań 0.200m, tolerancja 2.000m (zbiór Ω_1),
- szerokość pasa poszukiwań 0.200m, tolerancja 4.000m (zbiór Ω_2).

Wybraną szerokość pasa poszukiwań przyjęto większą prawie sześciokrotnie niż średnia odległość między punktami w zbiorze, natomiast tolerancję w metodzie Douglas-Peucker [16] przyjęto najpierw jako 2.000m, a następnie 4.000m. Tak duża wartość wynika z faktu, że rozstęp wysokości wynosi około 24.000m.

W rezultacie otrzymano dwa zbiory danych: Ω_1 zawierający 676814 punktów (czyli około 30% punktów oryginalnego zbioru) oraz Ω_2 zawierający 360069 punktów (czyli około 15% punktów oryginalnego zbioru).

Na rys. 5 przedstawiono powiększony fragment oryginalnego zbioru Ω oraz zredukowanego zbioru Ω_1 .



Rys. 5. Powiększony fragment chmury punktów ALS (a) zbiór Ω , (b) zbiór Ω_1 (źródło: opracowanie własne w CloudCompare v.2.6.0)

Fig. 5. The zoomed fragment of the ALS point cloud: (a) Ω dataset, (b) Ω_1 dataset (source: own study in CloudCompare v.2.6.0)

Na rys. 6 przedstawiono natomiast powiększony fragment oryginalnego zbioru Ω oraz zredukowanego zbioru Ω_2 .



Rys. 6. Powiększony fragment chmury punktów ALS (a) zbiór Ω , (b) zbiór Ω_2 (źródło: opracowanie własne w CloudCompare v.2.6.0)

Fig. 6. The zoomed fragment of the ALS point cloud: (a) Ω dataset, (b) Ω_2 dataset (source: own study in CloudCompare v.2.6.0)

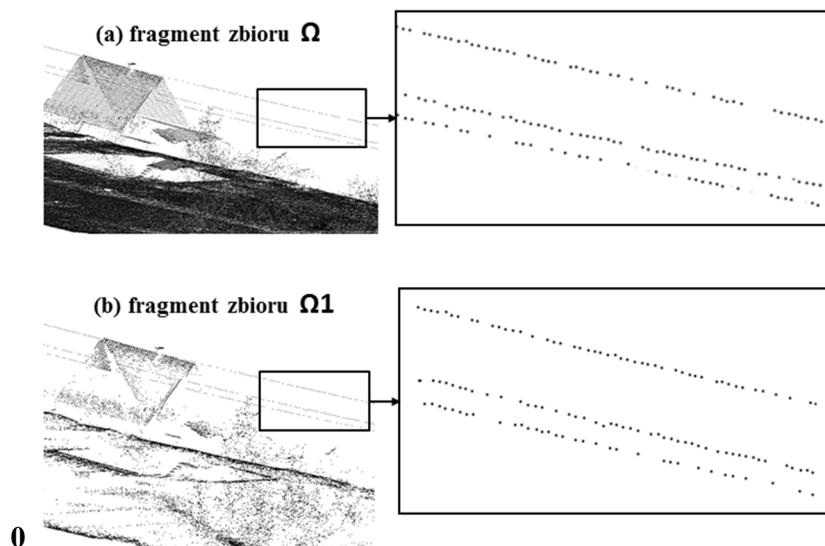
W tabeli 2 zestawiono parametry charakteryzujące zbiory otrzymane po zastosowaniu metody OptD-single.

Tabela 2. Statystyka zredukowanych zbiorów Ω_1 i Ω_2

Table 2. Statistics of reduced datasets Ω_1 i Ω_2

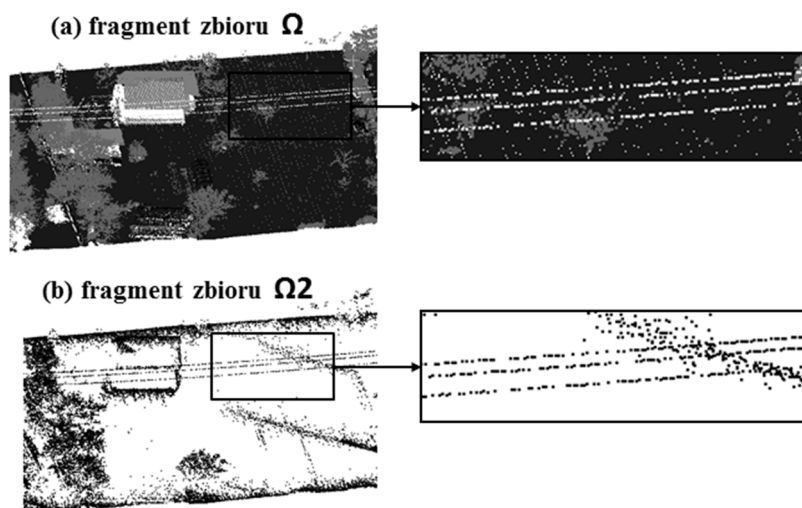
Parametr	Zbiór Ω_1	Zbiór Ω_2
Liczba punktów	676814	360069
Zmax [m]	108.600	108.600
Zmin [m]	84.620	84.620
Zśr [m]	92.389	92.526
SD [m]	6.557	6.727
Średnia odległość między punktami [m]	0.073	0.097

Następnie wybrano fragment zbiorów obrazujący linie elektroenergetyczne. Powiększone fragmenty zaprezentowano na rys. 7. i 8.



Rys. 7. Powiększony fragment chmury punktów ALS z liniami elektroenergetycznymi (a) zbiór Ω , (b) zbiór $\Omega 1$ (źródło: opracowanie własne w CloudCompare v.2.6.0)

Fig. 7. The zoomed fragment of ALS point clouds with power lines (a) Ω dataset, (b) $\Omega 1$ dataset (source: own study in CloudCompare v.2.6.0)

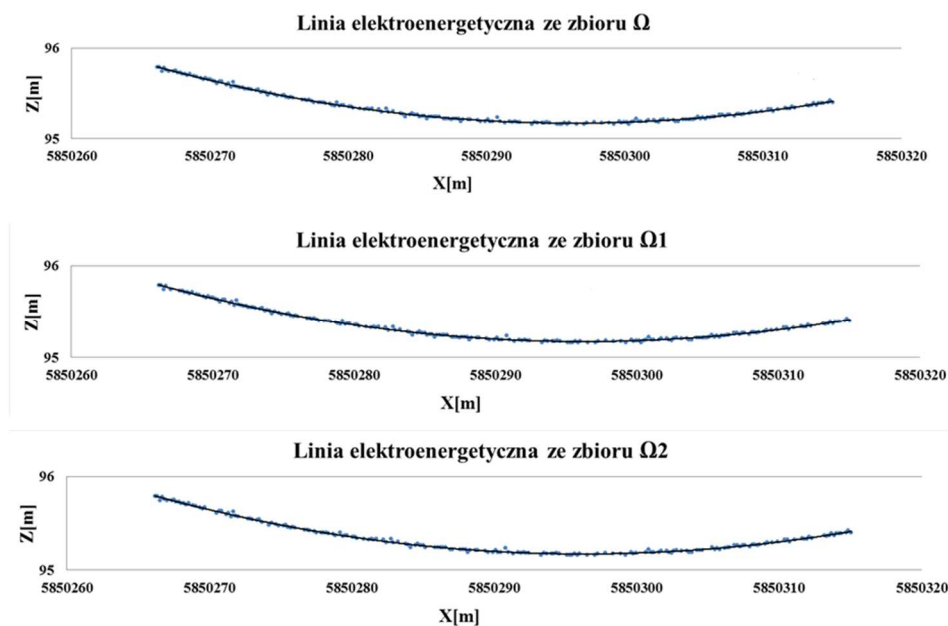


Rys. 8. Powiększony fragment chmury punktów ALS z liniami elektroenergetycznymi (a) zbiór Ω , (b) zbiór $\Omega 2$ (źródło: opracowanie własne w CloudCompare v.2.6.0)

Fig. 8. The zoomed fragment of ALS point clouds with power lines (a) Ω dataset, (b) $\Omega 2$ dataset (source: own study in CloudCompare v.2.6.0)

Na przedstawionych rysunkach widać, że redukcja (nawet 70%, 85%) nie zakłóca obrazu linii elektroenergetycznych. Liczba punktów obrazująca linie jest wystarczająca do prawidłowego wyznaczenia przebiegu tej linii.

W punkty obrazujące linie elektroenergetyczne wpasowano krzywe przedstawione na rys. 9.



Rys. 9. Wpasowanie krzywych reprezentujących linie elektroenergetyczne (źródło: opracowanie własne)

Fig. 9. Fitting of the curves representing power lines (source: own study)

Współczynnik determinacji R^2 obliczony dla analizowanych przypadków różni się w stosunku do zbioru Ω : dla zbioru Ω_1 o 0.0003, natomiast dla zbioru Ω_2 o 0.0002. Obliczono również odchylenie standardowe (sd) punktów reprezentujących linię elektroenergetyczną. Wynosi ono odpowiednio: $sd=0.174m$ dla zbioru Ω , $sd= 0.182m$ dla zbioru Ω_1 oraz $sd= 0.192m$ dla zbioru Ω_2 .

3. Wnioski

W pracy zaprezentowano wyniki przetwarzania metodą OptD chmury punktów z pomiaru lotniczym skanowaniem laserowym linii elektroenergetycznych. Na podstawie prezentowanego przykładu można stwierdzić, że zmniejszenie liczebności zbioru metodą OptD nie powoduje utraty punktów niezbędnych do prawidłowego wyznaczenia przebiegu linii elektroenergetycznej, a odchylenie standardowe różni się o 0.008m dla zbioru Ω_1 oraz o 0.018 dla zbioru Ω_2 .

Metoda OptD pozwoliła na zredukowanie zbioru ALS, natomiast zachowała punkty charakterystyczne, reprezentujące linie elektroenergetyczne. Takie podejście znacznie usprawnia prace związane z przetwarzaniem chmury punktów ALS.

Literatura

- [1] Błaszczak-Bąk W.: New Optimum Dataset method in LiDAR processing. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*. Vol.13/4(184), 2016, pp. 379-386, DOI: 10.13168/AGG.2016.0020.
- [2] Błaszczak-Bąk W., Sobieraj-Żłobińska A., Kowalik M.: The OptD-multi method in LiDAR processing. *Measurement Science of Technology*, Vol. 8, No. 7, 2017, 075009 (10pp) DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6501/aa7444>.
- [3] Liu H., Yang X.: Software reuse in the emerging cloud computing era. *Hershey, PA: Information Science Reference* 9, 2012, pp. 204-227.
- [4] Gościewski D.: Selection of interpolation parameters depending on the location of measurement points". *GIScience & Remote Sensing*, Vol. 50(5), 2013, pp. 515-526, DOI:10.1080/15481603.2013.827369.
- [5] Bauer-Marschallinger B., Sabel D., Wagner W.: Optimisation of global grids for high-resolution remote sensing data". *Computers & Geosciences*, Vol. 72, 2014, pp. 84-93. DOI: 10.1016/j.cageo.2014.07.005.
- [6] Suchocki C., Katzer J.: An example of harnessing Terrestrial Laser Scanner for remote sensing of saturation of chosen building materials. *Construction & Building Materials*, Volume 122, 30 September 2016, 400-405. ISSN czasopisma :0950-0618, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.06.091.
- [7] Błaszczak-Bąk W., Janowski A., Kamiński W., Rapiński J.: Optimization algorithm and filtration using the adaptive TIN model at the stage of initial processing of the ALS point cloud. *Canadian Journal of Remote Sensing*, No. 37(6), 2011, pp. 583-589. DOI: 10.5589/m12-001.
- [8] Błaszczak-Bąk W., Janowski A., Kamiński W., Rapiński J.: ALS Data Filtration with Fuzzy Logic. *Journal of Indian Society of Remote Sensing*, No. 39, 2011, pp. 591-597. DOI: 10.1007/s12524-011-0130-2.
- [9] Chen Y.: High performance computing for massive LiDAR data processing with optimized GPU parallel programming". *University of Texas at Dallas. Book. Graduate Program in Geospatial Information Science*. 2012.
- [10] Bakuła K.: The role of the reduction of elevation data obtained from airborne laser scanning in the process of flood hazard map creation". *PhD Thesis. Warsaw University of Technology*. 2014.
- [11] Weiber R.: Model and experimente for adaptivecomputer-assisted terrain generalization". *Cartograph and Geographic Information System*. Vol. 19, No. 3, 1992.
- [12] Zhou Q., Chen Y.: Generalization on of DTM for terrain analysis using a compound method. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. 66, 2011, pp. 38-45.
- [13] Haile A., Rientjes T.: Effects of LiDAR resolution in flood modelling: A model stativity study for the city of Tegucigalpa". *Honduras. ISPRS EG III/3, III/4, V/3 Workshop "Laser scanning 2005"*. 2005.

- [14] Błaszczak-Bąk W., Janicka J., Pająk K., Sobieraj A., 2015: Problem jednoznacznej identyfikacji słupa elektroenergetycznego w procesie inwentaryzacji linii wysokiego napięcia metodą lotniczego skaningu laserowego, *Przegląd Geodezyjny*, 4/2015, pp. 7-10.
- [15] Błaszczak-Bąk W., Janicka J., Sobieraj A., 2015: Zastosowanie lotniczego skaningu laserowego do oceny stanu dróg w planowaniu transportu, *Logistyka*, 2015(4), pp. 2478-2486.
- [16] Douglas D. H.; Peucker T. K.: Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature". *Canadian Cartographer* 10(2), 1973, pp. 112-122.

THE OptD METHOD FOR DATA REDUCTION IN THE DEVELOPMENT OF SURVEYING OF POWER LINES

Summary

Laser scanning is a technology that provides a large amount of measurement data in a relatively short time. It is both a positive and a negative feature of this technology. On the one hand, as a result of scanning, data is obtained that accurately reflects the measured object. On the other hand, it is difficult to process such a large amount of data, and not all of the data from the scanning is necessary to accomplish the selected task. For these reasons, works on developing algorithms to improve data processing are constantly conducted. One of the solution is to reduce the amount of data. The paper presents the results of data reduction from surveying of overhead power lines by means of ALS. The measurements were carried out for inventory purposes. The obtained point cloud was processed using the Optimum Dataset method (OptD). The aim was to check whether the points displaying the power lines will not be lost during the OptD processing.

In the OptD method as the optimization criterion the degree of reduction was assumed. It is percentage of points which should be removed from the original dataset ($p\%$). The research was carried out for two cases: 1) $p\% = 70\%$, (dataset Ω_1) and 2) $p\% = 85\%$ (dataset Ω_2). The obtained results showed that the OptD method does not interfere with the image of power lines. The number of points displaying the lines is sufficient to correctly determine the course of this line.

Keywords: data processing, airborne laser scanning, reduction method

Przesłano do redakcji: 20.12.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Ryszard MIELIMĄKA¹
Paweł SIKORA²

ZARZĄDZANIE KOPALNIANYMI OBIEKTAMI POWIERZCHNIOWYMI W GÓRNOŚLĄSKIM ZAGŁĘBIU WĘGLOWYM Z WYKORZYSTANIEM NARZĘDZI GIS

W artykule zwrócono uwagę na problematykę reorganizacji spółek górniczych w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym, które powodują konieczność systematycznej aktualizacji danych o obiektach powierzchniowych. Identyfikacja właścicieli obiektów, lokalizacja obiektów i działek na mapie, informacja o koniecznych przeglądach i wykonanych remontach czy chociażby raportowanie o przekroczeniu kategorii odporności obiektów budowlanych w związku z projektowaną lub dokonaną eksploatacją górnictwem to zadania czasochłonne. Rozproszone i często nieaktualne dane o obiektach powierzchniowych stwarzają dodatkowo ryzyko popełnienia błędów podczas ich identyfikacji. Celem artykułu było przedstawienie możliwości usprawnienia zarządzania obiektami powierzchniowymi w śląskich kopalniach z naciskiem na wykorzystanie istniejących zasobów geoinformatycznych oraz wezwanie do dyskusji nad ujednoczeniem standardu wymiany danych o obiektach powierzchniowych w zakładach górniczych GZW.

Słowa kluczowe: GIS, obiekty powierzchniowe, CAD, górnictwo

1. Wprowadzenie

Współczesny model zarządzania przedsiębiorstwem górniczym w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (GZW) powinien przewidywać możliwość tworzenia wielowariantowych planów sprzedaży węgla z uwzględnieniem aktualnych wymagań rynku [2]. Usprawnienie systemu zarządzania produkcją jest w tym procesie kluczowe. W przypadku przedsiębiorstwa złożonego z wielu zakładów górniczych system zarządzania produkcją jest niezwykle złożony i rozbudowany. Jednym z wielu elementów wpływających na całość systemu jest obszar zarządzania obiektami powierzchniowymi (ZOP). W tym zakresie ważne jest m.in.

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Ryszard Mielimąka, Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii, Katedra Eksploatacji Złóż, ryszard.mielimaka@polsl.pl

² Paweł Sikora, Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii, Katedra Eksploatacji Złóż, pawel.sikora@polsl.pl

uwzględnianie harmonogramu przeglądów i remontów budynków oraz innych obiektów budowlanych niebędących budynkami, lecz będącymi we władaniu przedsiębiorstwa a także szybka lokalizacja obiektu jak również identyfikacja obiektu i wzajemne powiązania. Dzięki tym informacjom, z wykorzystaniem dodatkowych danych oraz prostych narzędzi GIS-owych [1], można tworzyć np. raporty o przekroczeniu kategorii odporności na szkody górnicze.

Obecnie dane dotyczące poszczególnych obiektów budowlanych przechowywane są najczęściej w postaci papierowej. Książki obiektów budowlanych, na podstawie Ustawy „Prawo Budowlane” [5], prowadzone są najczęściej w formie klasycznej przez zarządców poszczególnych obiektów. Dane te są także spotykane w postaci numerycznej jako tabele i arkusze kalkulacyjne, jednak są rozproszone po różnych działach i często nieaktualne.

W związku z bogatą dokumentacją kartograficzną w postaci numerycznej, którą dysponują obecnie zakłady górnicze, istnieje możliwość usprawnienia procesów związanych z zarządzaniem obiektami powierzchniowymi, poprzez ujednoczenie i zcentralizowanie danych o obiektach z różnych źródeł oraz powiązanie ich z mapą numeryczną i wykorzystanie podstawowych narzędzi GIS-owych do identyfikacji obiektów i raportowania. Bez łatwego i szybkiego dostępu do ujednoczonych danych narzędzia GIS są w zasadzie bezużyteczne.

W artykule przedstawiono uproszczoną koncepcję biznesową usprawniającą zarządzanie obiektami powierzchniowymi jako element złożonego systemu zarządzania produkcją z naciskiem na wykorzystaniem istniejących zasobów geoinformatycznych na przykładzie kopalń GZW.

2. Obiekt budowlany

W zakresie ewidencji obiektów powierzchniowych typowego przedsiębiorstwa górniczego w GZW wyróżnia się obiekty budowlane będące pod nadzorem Urzędów Górniczych (głównie obiekty budowlane zakładu górniczego oraz obiekty podstawowe zakładu górniczego) oraz obiekty niebędące pod nadzorem UG (nadzór po stronie np. starostwa).

W przedmiotowym zakresie zarządzania obiektami powierzchniowymi wyróżnia się następujące obiekty:

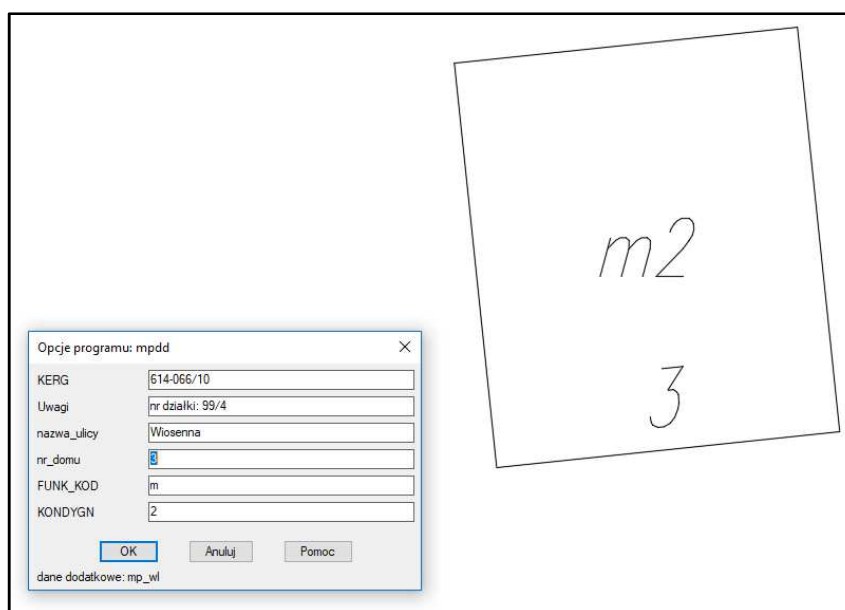
- działki (zarówno te, których stan prawny jest uregulowany, jak i nieuregulowany),
- budynki,
- obiekty budowlane,
- sieci uzbrojenia technicznego podziemne, naziemne oraz nadziemne,
- wydzielone lokale użytkowe.

Wymienione obiekty są w większości elementami treści map powierzchniowych będących częścią dokumentacji kartograficznej zakładu górniczego. W przypadku kopalń węgla kamiennego mapy powierzchni są prowadzone obecnie w postaci numerycznej. W większości dane numeryczne pochodzą z tzw. wek-

toryzacji map klasycznych [7]. Mapy są cyklicznie aktualizowane, co wynika z przepisów Prawa Geologicznego i Górniczego [9]. Aktualizacja prowadzona jest najczęściej przez firmy zewnętrzne na podstawie wyników pomiarów fotogrametrycznych.

3. Istniejące rozwiązania w zakresie zarządzania obiektami powierzchniowymi w zakładach górniczych

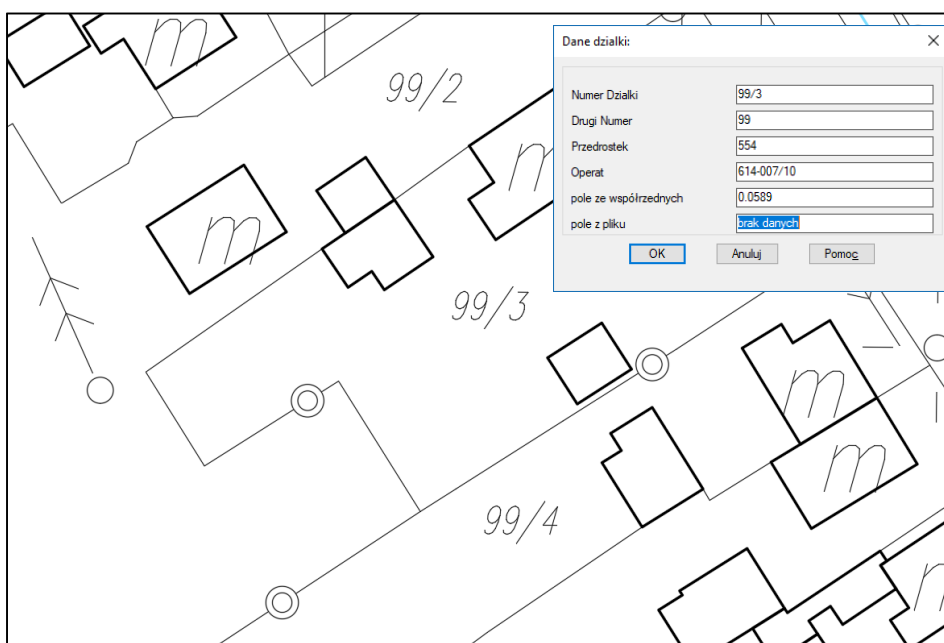
Najprostsze rozwiązania oparte są na arkuszach kalkulacyjnych i stosowane są głównie w działach mierniczych do prostej identyfikacji obiektów i czasem jeszcze w działach podatkowych gdzie dane gromadzone są z uwagi na zadanie związane z naliczaniem podatków. Spotykana jest także dokumentacja prowadzona ręcznie - na potrzeby przeglądów i bieżących remontów (książki obiektów budowlanych prowadzone przez nadzorców poszczególnych obiektów). Również i w tym przypadku dane o poszczególnych obiektach czasem są konwertowane do postaci arkuszy kalkulacyjnych. Rozwiązania bardziej zaawansowane wykorzystują mechanizmy GIS-owe [8]. Pozwalają m.in. na przypisanie danych dodatkowym obiektom budowlanym na mapie numerycznej (rysunek 1). Przykładem takiego rozwiązania jest system Geolisp – system powszechnie stosowany w polskich w zakładach górniczych węgla kamiennego [6].



Rys. 1. Przykład edycji danych dodatkowych budynku na mapie numerycznej w systemie Geolisp (źródło własne)

Fig. 1. An example of the building attributes edition in the Geolisp system (own source)

System pozwala wykonywać szereg zadań GIS-owych, potencjał jego możliwości jest bardzo duży. Nie ogranicza się tylko do zadań stawianych działom mierniczo – geologicznym. W przedmiotowym zakresie pozwala m.in. przypisywać atrybuty opisowe działkom (rysunek 2) a następnie np. wyszukiwać działkę o zadanym numerze lub konkretny budynek lub grupę budynków, jak również identyfikować działki zajęte przez np. zwałowisko.



Rys. 2. Przykład edycji danych dodatkowych działki na mapie numerycznej w systemie Geolisp (źródło własne)

Fig. 2. An example of land parcel attributes edition in the Geolisp system (own source)

Program udostępnia także szereg możliwości raportowania oraz definiowania nowych atrybutów. Mimo dużych możliwości systemu Geolisp rzadko spotyka się mapy numeryczne, gdzie obiektom budowlanym zostały przypisane atrybuty tekstowe. Budynki na mapach numerycznych w zakładach górniczych są reprezentowane głównie jako obiekty z możliwością ich dalszej rozbudowy o dane opisowe.

Ostatnią grupą danych przechowywanych w zakładach górniczych są dane tekstowe zcentralizowane w bazach danych, np. systemów wspierających zarządzanie SAP (niem. *Systemanalyse und Programmentwicklung*).

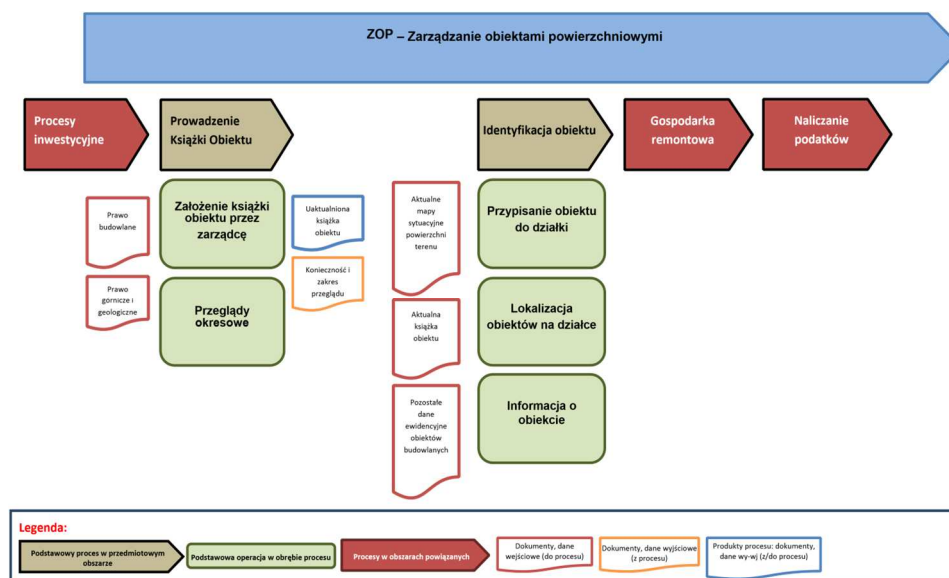
Niestety wszystkie dostępne dane (ich rodzaj i struktura) gromadzone w poszczególnych działach i nie są bezpośrednio kompatybilne ze sobą, co w konsekwencji powoduje powielanie się informacji oraz brak kontroli nad ich aktualizacją.

Poza strukturami kopalń GZW istnieją rozwiązania dedykowane do obsługi typowo powierzchniowych przedsiębiorstw, integrujące wszystkie wymienione wcześniej metody i rodzaje przechowywania danych udostępniając jednocześnie możliwość ich wizualizacji i identyfikacji na mapie. Do przykładowych należą rozwiązania firm SHH SP. z o.o. oraz GEOMATIC Software Solutions Sp. z o.o. Oba rozwiązania można technologicznie przystosować do istniejących systemów zarządzania produkcją, które w warunkach GZW wykorzystują najczęściej szynę programową Oracle oraz stosują bazę danych Oracle Spatial [11]. Niestety koszt zakupu takiego oprogramowania i jego adaptacji z uwagi wyłącznie na zarządzanie obiektami powierzchniowymi znacząco przewyższa potencjalne korzyści finansowe, które w zasadzie opierają się na ograniczeniu czasu podczas czynności z obsługą książki obiektu, prostych zadań GIS-owych, centralizacji danych oraz zwiększenia ich bezpieczeństwa. Wobec czego, w świetle możliwych usprawnień i istniejących rozwiązań w zakresie zintegrowanego zarządzania przedsiębiorstwem należy się skupić na opracowaniu dedykowanego i prostego oprogramowania wykorzystując istniejące zasoby programowe.

4. Koncepcja biznesowa systemu zarządzania obiektami powierzchniowymi

Obecny przepływ informacji w obszarze zarządzania obiektami powierzchniowymi opiera się w dużej mierze na danych prowadzonych w formie papierowej (np. książki obiektów budowlanych) (rysunek 3). Coraz więcej informacji ulega cyfryzacji. Niestety w obrębie obszaru ZOP istnieje wielu właścicieli procesów (książki obiektów prowadzone są oddzielnie dla każdego obiektu przez zarządcę). Identyfikacja obiektów odbywa się zatem wieloetapowo. Przykładowo, ustalenie powiązanych działek, np. ze składowiskiem, wymaga odrębnej analizy mapy powierzchniowej i danych ewidencyjnych. Podobnie jest w przypadku zbiorczego raportu o koniecznych przeglądach i wymaganych remontach obiektów budowlanych, gdzie poszczególne informacje ustalane są z poszczególnymi zarządcami tych obiektów. Ponieważ książki obiektów prowadzone są indywidualnie dla każdego obiektu, przez poszczególnych zarządców, to trudno na żądanie, w szybki sposób, zweryfikować potrzebę przeglądu czy dokonać kontroli przeprowadzonych przeglądów wynikających z Ustawy Prawo Budowlane oraz/lub wykonanych w związku tym remontów.

Na podstawie konsultacji z pracownikami działów kopalń związanych z obszarem obsługi obiektów powierzchniowych stworzono podstawową mapę procesów zawierającą typowy przepływ danych i wykonywanych operacji w poszczególnych procesach. Mapę procesów obszaru ZOP przedstawiono na rysunku 3.

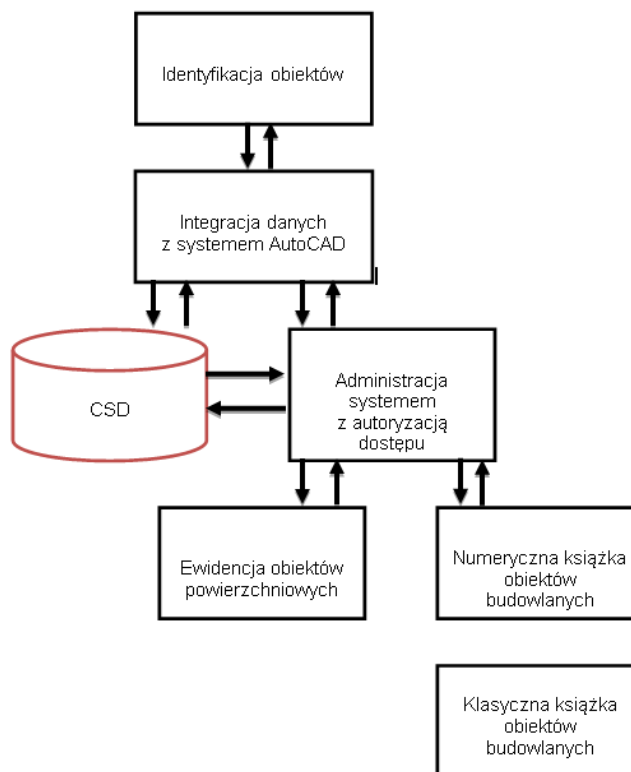


Rys. 3. Mapa procesów w obszarze zarządzania obiektami powierzchniowymi (na podstawie [10])

Fig. 3. Map of processes in the area of surface objects management (basing on [10])

Rozwiązanie problemu dodaje do istniejącego stanu jeden proces którego najważniejszym zadaniem jest gromadzenie danych ewidencyjnych. Docelowo proces powinien być ściśle spleciony z realizacją inwestycji (książka obiektu powinna być generowana automatycznie oraz wprowadzana odpowiednia identyfikacja obiektu na mapie), obsługą remontów (generowanie zapisów w książce obiektu) czy np. raportowanie danych do podatku od nieruchomości w obszarze środków trwałych i finansów [10]. Obszary te skupiają najważniejsze i najbardziej aktualne dane dotyczące obiektów budowlanych.

Rozwiązanie problemu powinno dawać możliwości powiązania interfejsem zasobów bazodanowych ze środowiskiem CAD, (np. AutoCAD, który jest obecnie najczęściej wykorzystywany w podziemnych zakładach górniczych węgla kamiennego). Istniejące rozwiązania pozwalają wykorzystać do tego celu usługę sieciową WMS (ang. Web Map Service) - międzynarodowy standard internetowego serwisu do tworzenia i udostępniania map. Taki system można spotkać np. w ramach tzw. Numerycznego Modelu Złoża funkcjonującego obecnie w ramach Polskiej Grupy Górniczej sp. z o.o [3, 6]. Schemat powiązania poszczególnych komponentów docelowego rozwiązania przedstawiono na poniższym schemacie (rysunek 4). Należy również zauważyć, że sama mapa w pliku typu dwg może być zapisana w bazie danych Oracle (baza przejmuje wówczas kontrolę nad aktualizacją i bezpieczeństwem) a następnie dalej być udostępniana w ramach całego systemu.



Rys. 4. Schemat powiązania poszczególnych komponentów docelowego systemu zarządzania obiektami powierzchniowymi (na podstawie [10])

Fig. 4. Scheme of linking the individual components of the target management system of surface objects (base on [10])

Stosowany obecnie system Geolisp spełnia w większości przedstawione założenia. System pozwala m. in. na:

- autoryzowany dostęp do przechowywanych danych,
- integrację się z zakładową numeryczną mapą powierzchni w celu umożliwienia identyfikacji obiektów pod kątem:
- przypisania obiektów do działki,
- lokalizacji obiektów na działce,
- możliwość prowadzenia ewidencji obiektów powierzchniowych w formie numerycznej.

Usprawnienie systemu powinno opierać się na istniejącej relacyjnej bazie danych (na rysunku nr 3 komponent CSD – Centralna Składnica Danych oparty np. na rozwiązaniu Oracle [11]), w której gromadzone są dane ewidencyjne zdefiniowanych obiektów analizowanych w ramach przedmiotowego obszaru ZOP. Rozwiązanie musiałoby integrować się z wydzieloną częścią bazy danych (CSD)

w ramach zdefiniowanej struktury danych z możliwością jej rozbudowy o nowe elementy (tabele, kolumny, rekordy) o charakterze opisowym związane z prowadzeniem ewidencji zdefiniowanych typów obiektów powierzchniowych. W przypadku skorzystania z aplikacji SAP rozwiązanie byłoby oparte o bazę SAP (np. często stosowana DB2) oraz w części dotyczącej identyfikacji na mapie o integrację z CSD [10].

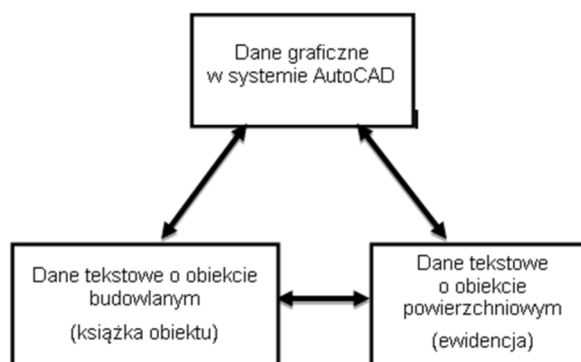
Na podstawie konsultacji z wybranymi pracownikami różnych działów w przedsiębiorstwach górniczych, którzy bezpośrednio są związani z procesem zarządzania obiektami powierzchniowymi, ustalono reprezentatywny zbiór elementów, które powinny być przechowywane i następnie wiązane z mapą numeryczną, tj.:

- Numer KW (Księga Wieczysta) – tekst, np. „KR1R/00000000/0”;
- Sąd rejonowy – tekst, np. „Gliwice”;
- Wielkość i struktura:
 - Numer:
 - Numer obrębu – tekst, np. „Gliwice”,
 - Numer działki – tekst, np. „1985/2”,
 - Powierzchnia [ha] – liczba, np. „0,2534”,
 - Nazwa użytku – tekst, np. „R”,
 - Klasa – tekst, np. „Ivb”,
 - Identyfikator – tekst, np. „130554_4.0001.3498” (wartość unikatowa dla obiektu);
- Położenie:
 - Miejscowość – tekst, np. „Gliwice”,
 - Ulica – tekst, np. „Akademicka”,
 - Województwo – tekst, np. „Śląskie”;
- Wykorzystanie:
 - Na nieruchomości znajduje się – tekst, np. „budynek tartaku, wieża oświetleniowa, itd.”;
- Tytuł prawny:
 - Rodzaj władania – tekst, np. „własność”,
 - Budynek – tekst, np. „tak”,
 - Termin – data, np. „5.12.2079”;
- Obiekt budowlany:
 - Typ – tekst, np. „budynek mieszkalny”,
 - Numer – tekst, np. „7/55”,
 - Materiał – tekst, np. „cegła”,
 - Liczba kondygnacji – liczba, np. „2”,
 - Rok budowy – liczba, np. „1960”,
 - Kategoria odporności na szkody –górnicze – liczba, np. „3”,
 - Zabezpieczenia na szkody górnicze – tekst, np. „brak”,
 - Powierzchnia użytkowa [m] – liczba, np. „170”.

Przedstawiony zbiór atrybutów został wskazany jako najważniejszy z uwagi na zadania identyfikacyjne obiektów powierzchniowych. Tylko dzięki dostępowi do danych można wykorzystać bogactwo narzędzi GIS-owych. Bez tych danych narzędzia te są w zasadzie nieprzydatne. W tym miejscu należy zauważyć, że przedsiębiorstwa górnicze w GZW posiadają własne centralne składnice danych (repozytoria), których dostosowanie do gromadzenia dodatkowych (wymienionych wcześniej) danych nie stanowi specjalnego problemu.

W ramach danych gromadzonych i przetwarzanych w ramach wydzielonych zasobów bazodanowych przewiduje się także dane związane z prowadzeniem Książki Obiektów Budowlanych, zgodnie ze strukturą określoną w Ustawie Prawo Budowlane [5]. Jednak zadanie to wymaga dodania niezbędnych rekordów do istniejącej struktury obiektów w systemie Geolisp. Jednak z uwagi na ich budowę opartą na strukturze listy (ang. list) w języku LISP zadanie to również nie jest wymagające. Takie usprawnienie dałoby w konsekwencji możliwość prowadzenia książki obiektów w formie numerycznej przez poszczególnych zarządców obiektów oraz możliwość automatycznego, zbiorczego raportowania danych o wybranych obiektach powierzchniowych. Dotychczas zadania te były czasochłonne oraz często wieloetapowe. Rozwiązanie nie eliminuje jednak konieczności (z uwagi na przepisy prawne) równoległego prowadzenia książki obiektu w postaci klasycznej – papierowej. Schemat wymiany poszczególnych danych w ramach systemu przedstawiono na poniższym schemacie (rysunek 5).

Zdefiniowane zadania wykonywane w ramach obsługi obszaru stanowią niewielki zakres zadań realizowanych w ramach całego systemu zarządzania produkcją. Mimo powiązania z obszarem mapowym, to zakres uprawnień nie wymusza dodatkowych zmian w innych obszarach i stanowi rozwiązanie, które może dopasować się do struktury narzędziowej rozwiązań w pozostałych obszarach.

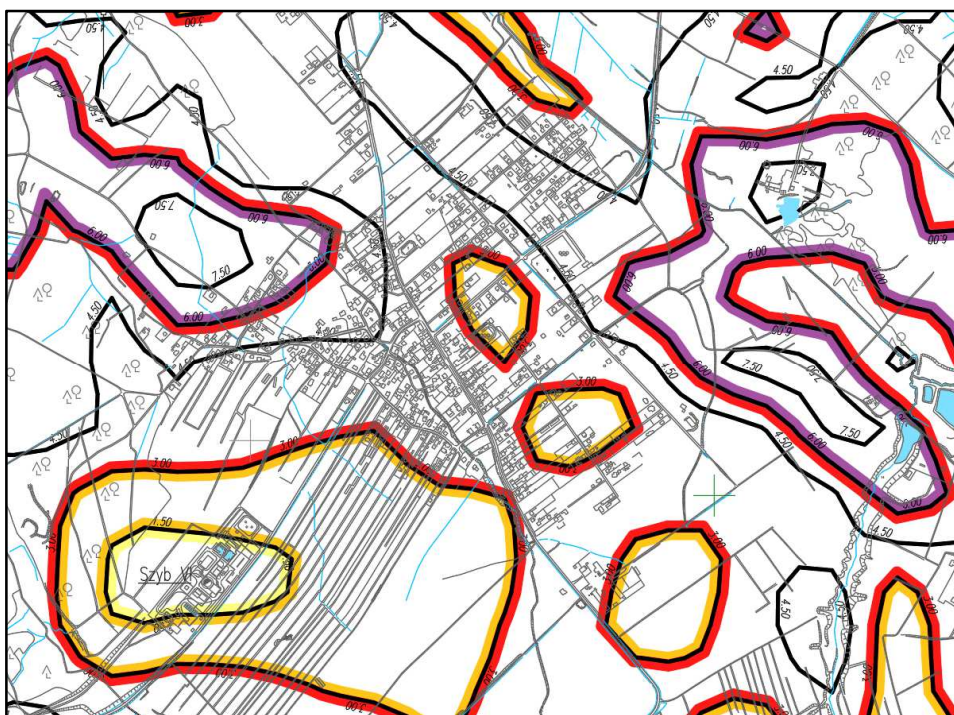


Rys. 5. Schemat dwukierunkowej wymiany poszczególnych danych w ramach systemu zarządzania obiektami powierzchniowymi (na podstawie [10])

Fig. 5. Diagram of two-way exchange of individual data within the management system of surface objects (base on [10])

Dzięki przedstawionemu rozwiązaniu można łatwo i szybko dokonać kontroli obowiązków zarządcy oraz zbiorczo planować remonty obiektów. Wymienione usprawnienia mogą w szczególnych przypadkach redukować czas realizacji zadań, z wykorzystaniem prostych narzędzi GIS-owych, nawet o ok. 90% (wartość szacunkowa oparta na doświadczeniach autorów).

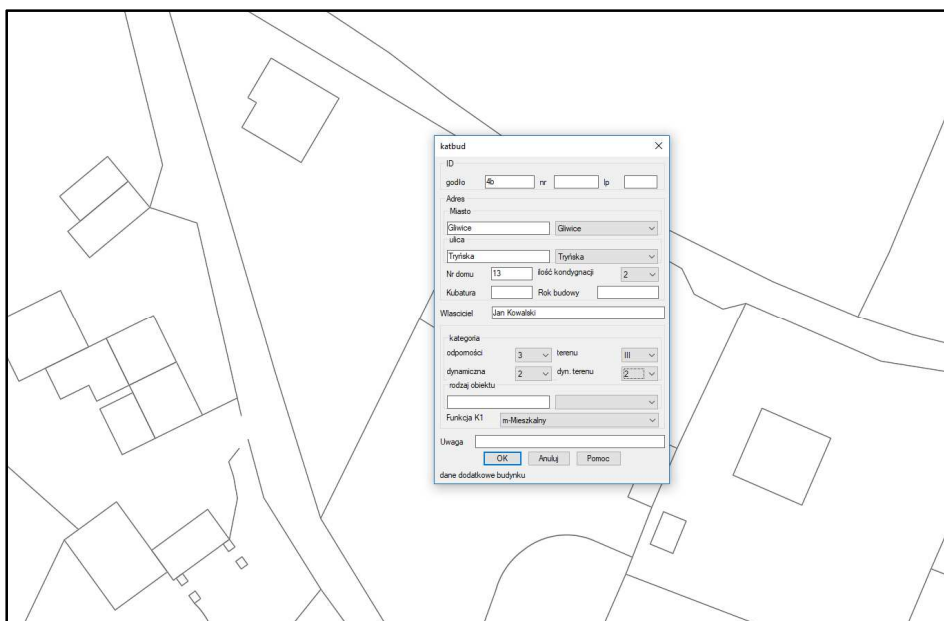
Wprowadzenie niewielkich usprawnień, przedstawionych w artykule, otwiera możliwość szerszego wykorzystania istniejących narzędzi GIS-owych. M.in. naniesienie na mapę powierzchni mapy warstwicowej rozkładu wskaźników deformacji powierzchni spowodowanych podziemną eksploatacją górnictwem [4] (rysunek 6) pozwala szybko zidentyfikować obiekty, dla których przekroczona została kategoria odporności na szkody górnicze. W ramach istniejących rozwiązań do prognozowania szkód górniczych można wykorzystać np. kompatybilne z systemem Geolisp specjalistyczne oprogramowanie EDN-OPN, także powszechnie stosowane w śląskich kopalniach.



Rys. 6. Przykład mapy powierzchni z automatycznie naniesionymi izoliniami kategorii szkód górniczych (izolinie odkształceń poziomych E mm/m) wygenerowanych przez zintegrowane i powiązane specjalistyczne oprogramowanie EDN-OPN (źródło własne)

Fig. 6. An example of a surface map with automatically marked mining damage categories (contour lines of horizontal deformations E mm/m) generated by integrated specialized software END-OPN (own source)

Identyfikacja budynków z przekroczoną kategorią wpływów górniczych wymaga uzupełnionego atrybutu - danej o kategorii odporności obiektu. System Geolisp również w obecnej wersji pozwala wykonać to zadanie ręcznie (rysunek 7) lub półautomatycznie.

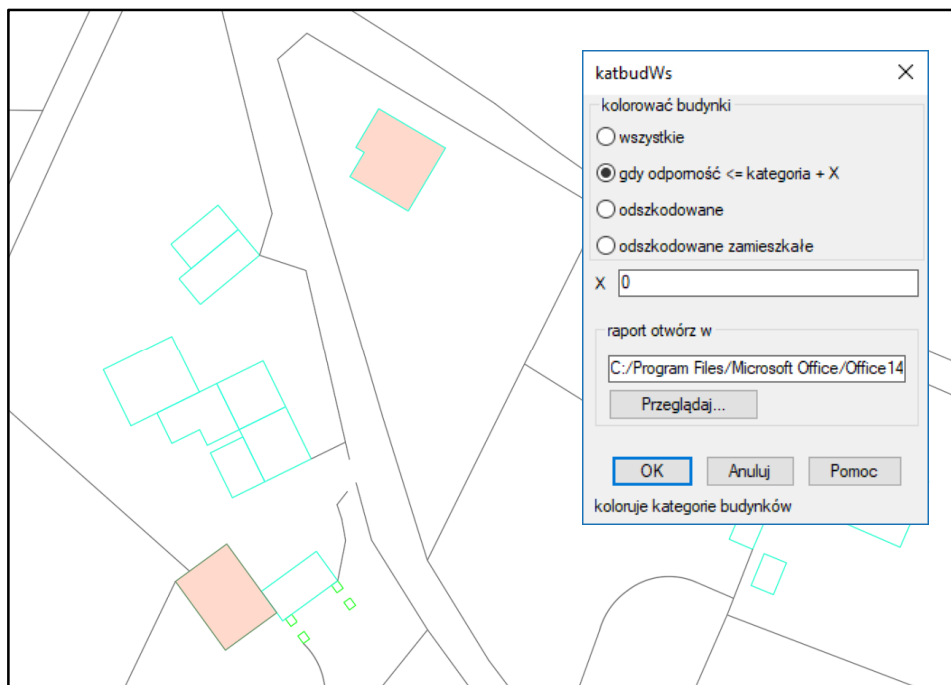


Rys. 7. Okno dialogowe systemu Geolisp służące do przypisywania informacji o odporności obiektu na szkody górnicze (źródło własne)

Fig. 7. Geolisp system dialog box to assign information about the object's resistance to mining damage (own source)

Budynki o przekroczonej kategorii odporności można w prosty sposób zidentyfikować poprzez zakolorowania lub w postaci raportu o przekroczeniu kategorii odporności (rysunek 8).

W przypadku wielowariantowych planów eksploatacji można w przedstawiony sposób szybko i dokładnie zidentyfikować i uzyskać pełną informację o potencjalnych szkodach górniczych na powierzchni terenu górniczego z uwzględnieniem pełnych informacji o obiektach powierzchniowych zagrożonych ze strony projektowanych deformacji powierzchni terenu górniczego. Informacje te mają ogromny wpływ na ostateczny wynik ekonomiczny wariantu planu eksploatacji.



Rys. 8. Automatyczna identyfikacja obiektów dla których przekroczona została kategoria odporności na szkody górnicze (źródło własne)

Fig. 8. Automated identification of objects for which the category of resistance to mining damage has been exceeded (own source)

5. Podsumowanie

Coraz częstsza reorganizacja spółek górniczych w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym powoduje konieczność systematycznej aktualizacji danych o obiektach powierzchniowych. Identyfikacja właścicieli obiektów, lokalizacja obiektów i działek na mapie, informacja o koniecznych przeglądach i wykonanych remontach, zabezpieczeniu na szkody górnicze, wypłacie odszkodowania czy chociażby raportowanie o przekroczeniu kategorii odporności obiektów budowlanych w związku z projektowaną lub dokonaną eksploatacją górnictwem to zadania czasochłonne. Rozproszone i często nieaktualne dane o obiektach powierzchniowych stwarzają dodatkowo ryzyko popełnienia błędu podczas ich identyfikacji. W artykule wykazano, że usprawnienie tego procesu nie jest trudne. Przedstawiona analiza istniejących rozwiązań stosowanych powszechnie w zakładach górniczych węgla kamiennego, m.in. systemu Geolisp, pozwala realizować większość z zadań stawianych procesowi zarządzania obiektami powierzchniowymi wykorzystując narzędzia GIS-owe. Istniejąca bogata i rozbudowana infrastruktura sprzętowa oraz programowa w śląskich zakładach górni-

czych pozwala integrować dane w jednej centralnej bazie danych oraz pozwala wiązać je z obiektami na mapie numerycznej. Celem artykułu było zwrócenie uwagi na elementy systemu, które można w stosunkowo prosty sposób usprawnić tak, aby zadania z przedmiotowego obszaru identyfikacji obiektów stały się szybkie i dokładne a w dodatku kompatybilne między poszczególnymi zakładami i przedsiębiorstwami górniczymi. Nie jest konieczne budowanie systemu od podstaw lub wdrażanie nowego rozwiązania.

Przedstawione uproszczone rozwiązanie biznesowe opera się w większości na już istniejących rozwiązaniach i integruje wszystkie dane, także dane ewidencyjne obiektów budowlanych, w obrębie jednej scentralizowanej bazy danych o określonej strukturze, wypracowanej na podstawie konsultacji z osobami bezpośrednio związanymi z zarządzaniem obiektami powierzchniowymi w zakładach górniczych. Dzięki temu rozwiązaniu dostęp do wszelkich danych jest ujednolicony, zautomatyzowany, niezwykle szybki i prosty. W ramach usprawnienia przewiduje się integrację centralnej bazy danych z numeryczną mapą powierzchni pod kątem zadań z zakresu identyfikacji obiektów przy wykorzystaniu prostych narzędzi GIS-owych. Wówczas w wielu przypadkach czas realizacji zadań znacznie się skraca, czasem nawet z okresu kilku dni do kilku sekund. Dzięki automatyzacji obiegu informacji oraz zcentralizowaniu wszystkich danych, możliwe jest udostępnianie kluczowych informacji innym działom, m.in. w związku z procesami inwestycyjnymi, gospodarką remontową czy zadaniami związanymi z naliczaniem podatków, bez konieczności powielania danych gromadzonych w obrębie przedsiębiorstwa.

W artykule przedstawiono podstawowy zbiór danych identyfikacyjnych obiektu powierzchniowego, który został opracowany na podstawie konsultacji z pracownikami kopalń związanych z procesem zarządzania obiektami. Przyjęcie standardu wymiany danych o obiektach powierzchniowych z pewnością ułatwiłoby wymianę danych w przypadku reorganizacji struktury przedsiębiorstwa.

Literatura

- [1] Bielecka E., Systemy Informacji Geograficznej – teoria i zastosowania, Wydawnictwo PJWSTK, Warszawa 2006.
- [2] Dźwigoł H.: „Zarządzanie przedsiębiorstwem górniczym w procesie restrukturyzacji”. Polityka Energetyczna T.7, str. 133-144, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energia PAN, 2004. ISSN 1429 – 6675.
- [3] Jelonek I., Poniewiera M., Gąsior B.: „Budowa jakościowego modelu złoża na przykładzie jego wdrażania w Kompanii Węglowej S.A. Cz. 3, Generowanie raportów na podstawie NMZ”. Documenta Geonica. 2015/1. s. 65-69.
- [4] Kowalski A.: „Deformacje powierzchni w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym”. Wydawnictwo naukowe GIG, Katowice 2015.
- [5] Ustawa „Prawo budowlane”. Dz.U. 1994 nr 89 poz. 414 z dnia 7 lipca 1994 r.

- [6] Poniewiera M.: Zastosowanie oprogramowania GeoLisp do budowy dynamicznego systemu informacji o przestrzeni górniczej. *Górnictwo zrównoważonego rozwoju* 2016. Konferencja naukowa, Gliwice. 2016, s. 69.
- [7] Poniewiera M., Sikora P.: „Konwersja map numerycznych”. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śl.* nr 1752, s. *Górnictwo z.278*, Gliwice 2007, str. 377÷383. ISSN 0372-9508.
- [8] Poniewiera M., Sokoła-Szewioła V.: „GIS systems in Polish coal mining”, *Innovative technologies in mining and transport*. Katowice, Poland, 2014, s. 71-105.
- [9] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 28 października 2015 r. w sprawie dokumentacji mierniczo – geologicznej. Dz.U. 2015 poz. 1941.
- [10] Tauron Wydobycie S.A. “Koncepcja Informatycznego Systemu Zarządzania Produkcją”. Materiały niepublikowane. 2015.
- [11] <http://www.oracle.com/technetwork/database-options/spatialandgraph/overview/index.html> – Oracle Corporation's official website (dostęp: 11.09.2017 r.).

MANAGEMENT OF SURFACE OBJECTS IN GZW WITH USE OF GIS TOOLS

Summary

The article highlights the issue of reorganization of mining companies in the Upper Silesian Coal Basin, which causes the need to systematically update data on surface objects. Identification of object owners, localization of objects and land parcels on the map, information on necessary inspections and repairs or just reporting of exceeding the category of resistance of buildings in connection with planned or performed mining operations are time consuming tasks. Distributed and often obsolete data on surface objects pose an additional risk of error when identifying them. The aim of the paper was to present the possibility of improving the management of surface objects in Silesian coal mines with an emphasis on the use of existing geoinformatics resources and to call for a discussion on the standardization of the exchange of data on surface objects in GZW mining plants.

Keywords: GIS, surface objects, CAD, mining

Przesłano do redakcji: 12.09.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Ryszarda IWANEJKO¹
Jarosław BAJER²

APLIKACJE DEKOMPOZYCJI WIELOKROTNEJ DO DOKŁADNEGO WYZNACZANIA NIEZAWODNOŚCI SYSTEMÓW ZŁOŻONYCH

Dla systemów inżynierskich, zarówno na etapie ich projektowania jak i eksploatacji, niezmiernie ważna jest umiejętność wyznaczania ich podstawowej miary niezawodności K . Znajomość tej wartości, interpretowanej jako prawdopodobieństwo sprawności systemu, umożliwia przeprowadzenie oceny działania tego systemu i podjęcie decyzji czy przypadkiem nie jest konieczna jego modernizacja. W rzeczywistości wiele strategicznych systemów charakteryzuje się znaczną złożonością, która uniemożliwia zastosowanie najprostszej, analitycznej metody do dokładnego wyznaczenia niezawodności K . Aby ominąć tę trudność bardzo często wystarczy przeprowadzić dekompozycję systemu. Proces dekompozycji może być przeprowadzany ze względu na jeden, kilka lub w ostateczności ze względu na wszystkie elementy. Elementy te nazywa się elementami dekompozycyjnymi. W artykule przedstawiono praktyczne zastosowania dekompozycji wielokrotnej. W każdym z nich rozpatruje się rozłączne przypadki, gdy wybrane elementy dekompozycyjne są sprawne i gdy są niesprawne. W zależności od wyboru elementów dekompozycyjnych przeprowadza się dekompozycję równoczesną, stopniową lub kombinowaną. Proces dekompozycji prowadzi się tak długo, aż struktury uzyskane dla wszystkich możliwych kombinacji stanów sprawności lub niesprawności elementów dekompozycyjnych będą mieszane. Zastosowanie na końcu wzoru na prawdopodobieństwo zupełne umożliwia łączne uwzględnienie wszystkich analizowanych przypadków. Przedstawione przykłady pokazują, że metoda jest stosunkowo prosta i mało pracochłonna w porównaniu z dokładną metodą przeglądu zupełnego. Choć o pracochłonności i powodzeniu metody w znacznym stopniu decyduje wybór elementów dekompozycyjnych, to nie wpływa to ujemnie na jej przydatność w praktyce. Metoda może znaleźć zastosowanie do wyznaczania, przy stosunkowo niewielkim nakładzie pracy, niezawodności wielu systemów i obiektów o dość złożonych strukturach.

Słowa kluczowe: stacjonarny wskaźnik gotowości, element dekompozycyjny, dekompozycja stopniowa, dekompozycja równoczesna, dekompozycja kombinowana

¹ Ryszarda Iwanejko, riw@vistula.wis.pk.edu.pl

² Autor do korespondencji / corresponding author: Jarosław Bajer, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska, Politechnika Krakowska, 31-155 Kraków, ul. Warszawska 24, tel. +(48) 12 6282877; jbajer@vistula.wis.pk.edu.pl

1. Wstęp

Niniejsza praca jest kontynuacją artykułu [5], w którym w oparciu o literaturę fachową [1,2,3,4,6,7,8,9,10,11] i autorskie propozycje, objaśniono podstawy teoretyczne procesu dekompozycji systemów złożonych. Ponieważ stanowi ona jego integralną część tematyczną (przykłady aplikacyjne do podanej metodyki prowadzenia dekompozycji), wskazanym jest, aby Czytelnik zapoznał się z nią w połączeniu z częścią wprowadzającą, zawartą w pracy [5]. Poniżej, już bez omawiania zagadnień teoretycznych, zamieszczono kilka przykładów pozwalających na dokładne prześledzenie sposobu postępowania, gdy niemożliwe jest skonstruowanie prawidłowego schematu niezawodnościowego a zastosowanie dekompozycji umożliwia wyznaczenie dokładnej wartości miary niezawodności K niewielkim nakładem pracy.

2. Przykłady aplikacyjne

2.1. Przykład 1

Należy w najprostszy sposób wyznaczyć wskaźnik gotowości pompowni $K(Po)$, w której zainstalowano $n=6$ agregatów pompowych o różnych wydajnościach, lecz jednakowych niezawodnościach (tab.1). Warunkiem sprawności pompowni jest $Q_w=Q_n$. Przyjęcie tutaj równej niezawodności dla wszystkich elementów nie jest koniecznym założeniem stosowania procesu dekompozycji, lecz pozwala jedynie na uproszczenie dalszych obliczeń. Przyjęto, że agregaty z technicznego punktu widzenia są połączone równoległe a pozostałe elementy pompowni (np. zasuwki odcinające, zawory zwrotne, kosze ssawne, przewody, kształtki) są wysoce niezawodne i nie uwzględnia się ich.

Tabela 1. Parametry agregatów pompowych zamontowanych w Po (opracowanie własne)

Table 1. Parameters of pumps in Po (authors' work)

i - numer agregatu	1	2	3	4	5	6
parametr						
Q_i [% Q_n]	60	20	10	10	10	10
K_i	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

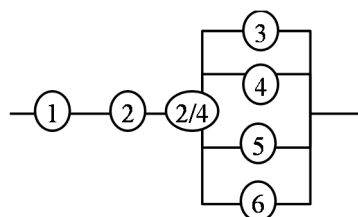
Na pierwszy rzut oka wydaje się, że powinno udać się skonstruować schemat niezawodnościowy. Wyznaczając sumę wszystkich wydajności równą $\sum_{i=1}^5 Q_i = 120\% Q_n$ widać, że rezerwa wynosi jedynie 20% Q_n , co oznacza, że element 1 musi występować we wszystkich drogach sprawności. Liczba minimalnych dróg sprawności - MDS wynosi 7 (tab.2).

Tabela 2. Minimalne drogi sprawności do przykładu 1 (opracowanie własne)

Table 2. Minimal efficiency routes for example 1 (authors' work)

Droga	Elementy					
	1	2	3	4	5	6
I	1	2	3	4		
II	1	2	3		5	
III	1	2	3			6
IV	1	2		4	5	
V	1	2		4		6
VI	1	2			5	6
VII	1		3	4	5	6

Jednak próby skonstruowania schematu niezawodnościowego kończą się niepowodzeniem. Przykładowo, ze schematu przedstawionego na rys. 1 nie można odczytać drogi VII, co oznacza, że schemat jest nieprawidłowy. Widać, że nie jest możliwe skonstruowanie prawidłowego schematu niezawodnościowego, więc do wyznaczenia $K(Po)$ niemożliwe jest zastosowanie wprost wzorów analitycznych. Należy przeprowadzić dekompozycję.



Rys. 1. Próba (nieudana) skonstruowania schematu niezawodnościowego dla danych z przykładu 1 (opracowanie własne)

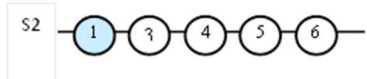
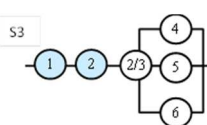
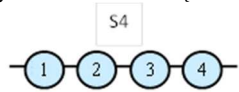
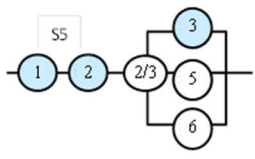
Fig. 1. An attempt (unsuccessful) to construct a reliability scheme for example 1 (authors' work)

Jako pierwszy element dekompozycyjny (e_1) wybrano agregat pompowy o największej wydajności (nr 1), który występuje we wszystkich drogach sprawności. Jako drugi (e_2) wybrano agregat 2, który występuje w 6 spośród 7 dróg. Proces dekompozycji wielostopniowej najlepiej jest prowadzić w formie tabelarycznej (tab.3), gdyż w „czystej” postaci drzewiastej nie jest zbyt czytelny. W tabeli dla poszczególnych przypadków zamieszczono schematy niezawodnościowe pompowni. Ponieważ agregaty pompowe są tzw. elementami produkcyjnymi (w odróżnieniu od tzw. elementów przepływowych, którymi są zasowy, i przez które może przepływać różna ilość wody), to w sytuacji, gdy są sprawne, nie wolno ich pominąć na schemacie niezawodnościowym (konieczne jest ich uwzględnienie, aby mógł zostać spełniony warunek na Q_w), jednak elementy, o których wiemy, że są sprawne na schemacie oznaczamy wypełnieniem. Takie elementy sprawne należy pominąć przy wyznaczaniu $K(S_i)$ lub równorzędnie

przyjąć, że ich niezawodność wynosi 1, gdyż tak naprawę wówczas niezawodność systemu K jest prawdopodobieństwem sprawności struktury warunkowym (tzn. w sytuacji sprawności lub niesprawności pewnych elementów). Wartość niezawodności elementów sprawnych należy jednak uwzględnić przy wyznaczaniu prawdopodobieństwa zajścia danej sytuacji $P(S_i)$. Należy pamiętać o tym, że suma prawdopodobieństw zajścia wszystkich sytuacji (warunków) musi być równa 1.

Tabela 3. Wielostopniowa dekompozycja systemu z przykładu 1 (opracowanie własne)

Table 3. Multistage decomposition of the system, example 1 (authors' work)

Dekompozycja ze względu na: 1	
<p><u>1 zdatny</u> z prawdopodobieństwem K_1, konieczny jest kolejny etap czyli dekompozycja ze względu na element 2</p>	<p><u>1 niezdatny</u> – z prawdopodobieństwem $[1-K_1]$; struktura S_1 złożona z elementów 2,3,4,5,i 6 – jest NIEZDATNA, bo nie spełnia kryterium sprawności (Suma wydajności $Q_2+\dots+Q_6=60\%Q_n < Q_w$); więc $K(S_1)=0$ – tu kończy się gałąź dla przypadku, gdy 1 jest niezdatny S_1 – struktura niezdatna</p>
Dekompozycja ze względu na: 2 (w sytuacji, gdy 1 jest zdatny)	
<p><u>2 zdatny</u> z prawdopodobieństwem K_2, konieczny jest kolejny etap, czyli dekompozycja ze względu na element 3</p>	<p><u>2 niezdatny</u> – z prawdopodobieństwem $[1-K_2]$; struktura S_2 (złożona z elementów 1 - sprawny, 3, 4, 5 i 6 – mogą być w dowolnym stanie niezawodnościowym) jest zdatna z prawdopodobieństwem $K(S_2)$</p> 
Dekompozycja ze względu na: 3 (w sytuacji, gdy 1 i 2 są zdatne)	
<p><u>3 zdatny</u> z prawdopodobieństwem K_3, konieczny jest kolejny etap, czyli dekompozycja ze względu na element 4</p>	<p><u>3 niezdatny</u> – z prawdopodobieństwem $[1-K_3]$; struktura S_3 jest zdatna z prawdopodobieństwem $K(S_3)$</p> 
Dekompozycja ze względu na: 4 (w sytuacji, gdy 1,2 i 3 są zdatne)	
<p><u>4 zdatny</u> z prawdopodobieństwem K_4; struktura S_4 (złożona ze sprawnych elementów 1, 2, 3 i 4) jest zdatna z prawdopodobieństwem $K(S_4)=1$ (suma Q_i daje Q_n); kolejny etap nie jest już potrzebny (stany elementów 5 i 6 są nieistotne)</p> 	<p><u>4 niezdatny</u> – z prawdopodobieństwem $[1-K_4]$; struktura S_5 jest zdatna z prawdopodobieństwem $K(S_5)$</p> 

Powyżej, w procesie dekompozycji wielostopniowej, dokonano identyfikacji 5 różnych wzajemnie wykluczających się sytuacji. W 4 przypadkach uzyskano struktury, dla których można zastosować MWA i wyznaczyć $K(S_2)$, $K(S_3)$, $K(S_4)$ i $K(S_5)$. Na samym końcu do wyznaczenia $K(P_0)$ należy zastosować wzór na prawdopodobieństwo zupełne w postaci:

$$K(S) = K(S_1) \cdot P(S_1) + K(S_2) \cdot P(S_2) + K(S_3) \cdot P(S_3) + K(S_4) \cdot P(S_4) + K(S_5) \cdot P(S_5)$$

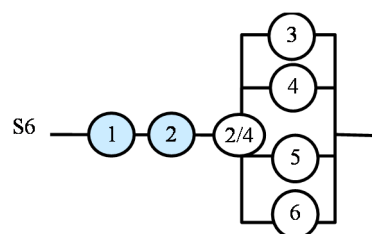
Wartości występujące w powyższym wzorze również najlepiej wyznaczać tabelarycznie (tab.4).

Tabela 4. Wyznaczanie członów występujących we wzorze na prawdopodobieństwo zupełne (opracowanie własne)

Table 4. Determination of elements in the formula for a complete probability (authors' work)

Struktura	Prawdopodobieństwo sprawności struktury S_i (warunkowe)	Prawdopodobieństwo zajęcia sytuacji (warunku) $P(S_i)$	Iloczyn $K(S_i) \cdot P(S_i)$
S1	$K(S_1)=0$	$P(S_1)=1-K_1=0,1$	0
S2	$K(S_2)=K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6=0,6561$	$P(S_2)=K_1 \cdot (1-K_2)=0,09$	0,059049
S3	$K(S_3)=K(2z3)=K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 + K_4 \cdot K_5 \cdot (1-K_6) + K_4 \cdot (1-K_5) \cdot K_6 + (1-K_4) \cdot K_5 \cdot K_6=0,972$	$P(S_3)=K_1 \cdot K_2 \cdot (1-K_3)=0,081$	0,078732
S4	$K(S_4)=1$	$P(S_4)= K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 = 0,6561$	0,6561
S5	$K(S_5)= 1-(1-K_5) \cdot (1-K_6)=0,99$	$P(S_5)= K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot (1-K_4) = 0,0729$	0,072171
	Suma	1,0	0,866052

Uzyskujemy wynik $K(P_0)=0,866052$. Proces dekompozycji pozwolił nam na uzyskanie dokładnego wyniku $K(P_0)$ i znaczne ograniczenie pracochłonności – zamiast 64 stanów MPZ należało uwzględnić jedynie 5 różnych sytuacji i zastosować wzór na prawdopodobieństwo zupełne. W tym przykładzie, gdy agregat nr 1 występuje we wszystkich MDS, można było nie przeprowadzać dekompozycji ze względu na agregat, gdyż $K(P_0)=K_1 \cdot K(S^*)$, gdzie S^* - struktura złożona z agregatów 2, 3, 4, 5 i 6. Natomiast przy wyznaczaniu $K(S^*)$ należy dekompozycję zastosować, co prowadzi do wydzielenia pozostałych struktur. Warto jeszcze zaznaczyć, że możliwe było jeszcze większe uproszczenie obliczeń, gdyż w przypadku, gdy elementy 1 i 2 są zdadne (gwarancja $Q_1+Q_2=80\%Q_n$), można było skonstruować schemat niezawodnościowy nowej struktury S_6 (rys.2) obejmujący łącznie przypadki S_3, S_4 i S_5 .



Rys. 2. Struktura S_6 możliwa do utworzenia na drugim etapie dekompozycji (opracowanie własne)

Fig. 2. Structure S6 possible to create at the second stage of decomposition (authors' work)

Należy też podkreślić, że wyznaczone w tabeli 4 iloczyny postaci $K(S_i) \cdot P(S_i)$ są równocześnie bezwarunkowymi prawdopodobieństwami sprawności struktur S_i . Mogłyby one być wyznaczone za pomocą MPZ po odpowiednim pogrupowaniu stanów elementarnych. W tabeli 5 zamieszczono wszystkie $I=2^6=64$ stany elementarne pompowni właśnie po takim pogrupowaniu, przy czym k oznacza liczbę agregatów równocześnie niesprawnych. Stanów sprawności (E1) jest tylko 12. Natomiast suma prawdopodobieństw zajść tych stanów wynosi:

$$K(\text{MPZ}) = \sum_{i \in E1} P_i = 0,866052.$$

Tabela 5. MPZ dla przykładu 1 po pogrupowaniu stanów elementarnych zgodnie ze strukturami S_i (opracowanie własne)Table 5. MPZ for example 1 after grouping elementary states according to S_i structures (authors' work)

i	k	1	2	3	4	5	6	Pi	Stan	Si
1	5	0	0	0	1	0	0	9,00E-06	E0	S1
2	4	0	0	0	1	0	1	8,10E-05	E0	
3	4	0	0	0	1	1	0	8,10E-05	E0	
4	3	0	0	0	1	1	1	0,000729	E0	
5	6	0	0	0	0	0	0	1,00E-06	E0	
6	5	0	0	0	0	0	1	9,00E-06	E0	
7	5	0	0	0	0	1	0	9,00E-06	E0	
8	4	0	0	0	0	1	1	8,10E-05	E0	
9	4	0	0	1	1	0	0	8,10E-05	E0	
10	3	0	0	1	1	0	1	0,000729	E0	
11	3	0	0	1	1	1	0	0,000729	E0	
12	2	0	0	1	1	1	1	0,006561	E0	
13	5	0	0	1	0	0	0	9,00E-06	E0	
14	4	0	0	1	0	0	1	8,10E-05	E0	
15	4	0	0	1	0	1	0	8,10E-05	E0	
16	3	0	0	1	0	1	1	0,000729	E0	
17	4	0	1	0	1	0	0	8,10E-05	E0	
18	3	0	1	0	1	0	1	0,000729	E0	
19	3	0	1	0	1	1	0	0,000729	E0	
20	2	0	1	0	1	1	1	0,006561	E0	
21	5	0	1	0	0	0	0	9,00E-06	E0	
22	4	0	1	0	0	0	1	8,10E-05	E0	
23	4	0	1	0	0	1	0	8,10E-05	E0	
24	3	0	1	0	0	1	1	0,000729	E0	
25	3	0	1	1	1	0	0	0,000729	E0	
26	2	0	1	1	1	0	1	0,006561	E0	
27	2	0	1	1	1	1	0	0,006561	E0	
28	1	0	1	1	1	1	1	0,059049	E0	
29	4	0	1	1	0	0	0	8,10E-05	E0	
30	3	0	1	1	0	0	1	0,000729	E0	
31	3	0	1	1	0	1	0	0,000729	E0	
32	2	0	1	1	0	1	1	0,006561	E0	

Tabela 5 (cd.). MPZ dla przykładu 1 po pogrupowaniu stanów elementarnych zgodnie ze strukturami Si (opracowanie własne)

Table 5 (cont.). MPZ for example 1 after grouping elementary states according to Si structures (authors' work)

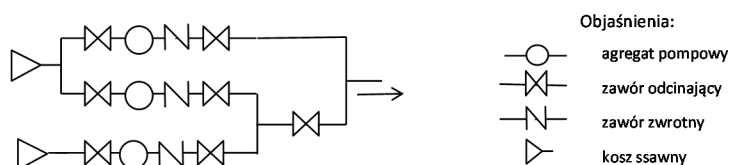
i	k	1	2	3	4	5	6	Pi	Stan	Si
33	4	1	0	0	1	0	0	8,10E-05	E0	S2
34	3	1	0	0	1	0	1	0,000729	E0	
35	3	1	0	0	1	1	0	0,000729	E0	
36	2	1	0	0	1	1	1	0,006561	E0	
37	5	1	0	0	0	0	0	9,00E-06	E0	
38	4	1	0	0	0	0	1	8,10E-05	E0	
39	4	1	0	0	0	1	0	8,10E-05	E0	
40	3	1	0	0	0	1	1	0,000729	E0	
41	3	1	0	1	1	0	0	0,000729	E0	
42	2	1	0	1	1	0	1	0,006561	E0	
43	2	1	0	1	1	1	0	0,006561	E0	
44	1	1	0	1	1	1	1	0,059049	E1	
45	4	1	0	1	0	0	0	8,10E-05	E0	
46	3	1	0	1	0	0	1	0,000729	E0	
47	3	1	0	1	0	1	0	0,000729	E0	
48	2	1	0	1	0	1	1	0,006561	E0	
49	3	1	1	0	1	0	0	0,000729	E0	
50	2	1	1	0	1	0	1	0,006561	E1	
51	2	1	1	0	1	1	0	0,006561	E1	
52	1	1	1	0	1	1	1	0,059049	E1	
53	4	1	1	0	0	0	0	8,10E-05	E0	
54	3	1	1	0	0	0	1	0,000729	E0	
55	3	1	1	0	0	1	0	0,000729	E0	
56	2	1	1	0	0	1	1	0,006561	E1	
57	2	1	1	1	1	0	0	0,006561	E1	
58	1	1	1	1	1	0	1	0,059049	E1	
59	1	1	1	1	1	1	0	0,059049	E1	
60	0	1	1	1	1	1	1	0,531441	E1	
61	3	1	1	1	0	0	0	0,000729	E0	
62	2	1	1	1	0	0	1	0,006561	E1	
63	2	1	1	1	0	1	0	0,006561	E1	
64	1	1	1	1	0	1	1	0,059049	E1	

Jak widać, nakład pracy przy zastosowaniu procesu dekompozycji jest nieporównywalnie mniejszy niż przy zastosowaniu MPZ, a uzyskany wynik K jest dokładny.

2.2. Przykład 2

Należy w najprostszy sposób wyznaczyć niezawodność pompowni, której schemat techniczny przedstawiono poniżej (rys. 3). Dla spełnienia warunku $Q_w=Q_n$ agregaty muszą pracować w strukturze „1 z 3”. Agregaty są jednorodne o niezawodności $K(A_{Pi})=0,90$, natomiast dla zasuw odcinających (ZO) i zaworów zwrotnych (ZZ) niezawodność wynosi $K(ZO)=K(ZZ)=0,98$. Ponadto ZO oraz ZZ to tzw. elementy „nieprodukcyjne” (przepływowe), dla których umow-

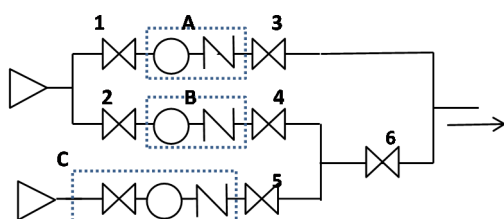
nie (przy konstruowaniu schematów niezawodnościowych) przyjmuje się $Q(ZO)=Q(ZZ)=0$. W tym przykładzie nie jest analizowana poprawność schematu technicznego pompowni.



Rys. 3. Schemat techniczny pompowni do przykładu 2 (opracowanie własne)

Fig. 3. Technical diagram of the pump station, example 2 (authors' work)

Najpierw należy podjąć próbę skonstruowania schematu niezawodnościowego. W tym celu, uwzględniając tzw. „kontakt hydrauliczny” blokuje się elementy (rys. 4) i wypisuje minimalne drogi sprawności (tab.6).



Rys. 4. Blokowanie elementów z uwzględnieniem tzw. kontaktu hydraulicznego (opracowanie własne)

Fig. 4. Blocking of elements including so-called hydraulic contact (authors' work)

Tabela 6. Minimalne drogi sprawności dla pompowni z przykładu 2 (opracowanie własne)

Table 6. Minimal efficiency routes for the pump station, example 2 (authors' work)

Droga	Blok i elementy								
	A	B	C	1	2	3	4	5	6
I	A			1	2	3			6
II		B		1	2	3	4	5	6
III			C			3	4	5	6

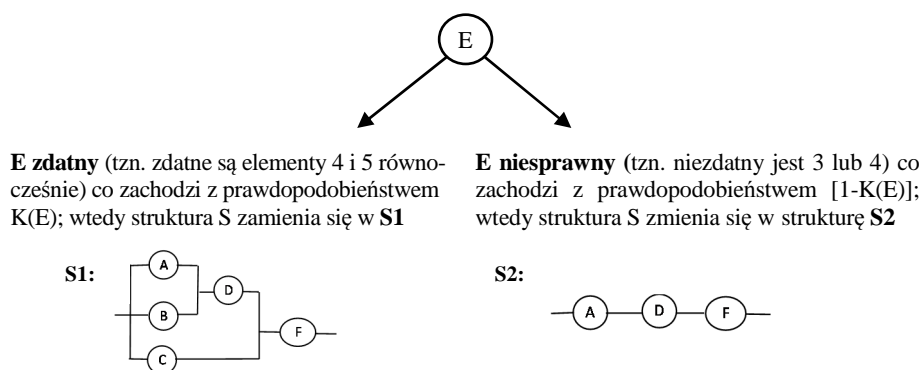
Łatwo zauważyć, że pewne elementy występują zawsze razem (tutaj 1 i 2 albo 4 i 5), można je więc również zblokować. I tak blok D będzie złożony z szeregowo połączonych elementów 1 i 2, blok E – z szeregowo połączonych elementów 4 i 5, a blok F z szeregowo połączonych elementów 3 i 6. Teraz tabelę MDS można przedstawić w postaci uproszczonej (tab.7).

Tabela 7. Minimalne drogi sprawności dla pompowni z przykładu 2 po dodatkowym pogrupowaniu elementów (opracowanie własne)

Table 7. Minimal efficiency routes for the pump station (example 2) after elements grouping (authors' work)

Droga	Bloki i elementy					
	A	B	C	D (1+2)	E (4+5)	F (3+6)
I	A			D		F
II		B		D	E	F
III			C		E	F

Jak widać nie można skonstruować prawidłowego schematu dla struktury równoległej „1 z 3”. Tutaj wystarczy przeprowadzić dekompozycję jednostopniową a jako element dekompozycyjny wybrano blok E. Równocześnie przedstawienie procesu dekompozycji w formie drzewa jest czytelne (rys.5).



Rys. 5. Proces dekompozycji jednostopniowej dla przykładu 2 ze względu na blok E (opracowanie własne)
 Fig. 5. Single - stage decomposition with regard to block E, example 2 (authors' work)

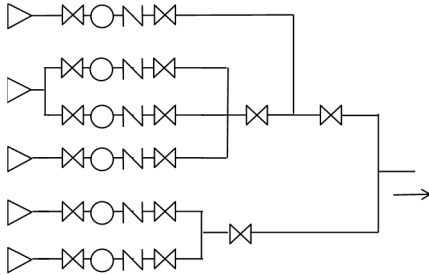
Zastosowanie wzoru na prawdopodobieństwo zupełne pozwala uzyskać dokładny wynik. Tutaj $K(S) = K(S1) \cdot K(E) + K(S2) \cdot [1 - K(E)]$. Z obliczeń uzyskujemy: $K(S1)=0,953499$ i $K(S2)=0,813529$ oraz $K(S)=0,947956$.

Taki sam wynik uzyskuje się po zastosowaniu MPZ, w której należy uwzględnić $I=2^6=64$ stany elementarne, wśród których jest tylko 15 stanów zdatności. Jest oczywiste, że można było przeprowadzać dekompozycję ze względu na blok D (zamiast E).

2.3. Przykład 3

Podobnie jak w poprzednim przykładzie należy w najprostszy sposób wyznaczyć niezawodność pompowni, której schemat techniczny przedstawiono poniżej (rys. 6). Dla spełnienia warunku $Q_w=Q_n$ agregaty muszą pracować

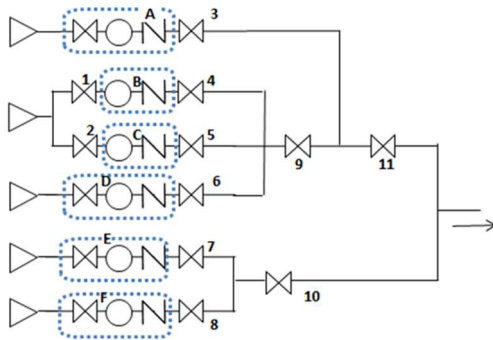
w strukturze „3 z 6”. Agregaty są jednorodne o niezawodności $K(API)$, natomiast dla zasuw odcinających i zaworów zwrotnych niezawodność wynosi $K(ZO)=K(ZZ)$. Ponadto, jak poprzednio, ZO i ZZ to tzw. elementy „nieprodukcyjne” (przepływowe), dla których umownie (przy konstruowaniu schematów niezawodnościowych) przyjmuje się $Q(ZO)=Q(ZZ)=0$. Podobnie jak w przykładzie 3 do celów badań niezawodnościowych dopuszczono nieprawidłowy z technicznego punktu widzenia schemat pompowni.



Rys. 6. Schemat techniczny pompowni do przykładu 3

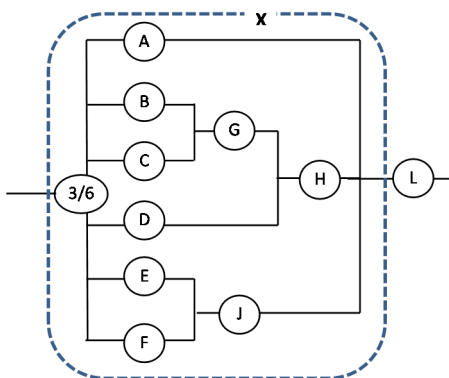
Fig. 6. Technical diagram of the pump station, example 3

Podobnie jak w przykładzie 3 najpierw, w celu uproszczenia schematu, poblokowano i ponumerowano elementy, uwzględniając przy tym kontakt hydrauliczny (rys.7), po czym dla określonych powyżej wymagań skonstruowano schemat niezawodnościowy (rys.8). Blok G tworzą szeregowo połączone zasuwę 1 i 2, blok H – zasuwę 4, 5 i 6, blok J – zasuwę 7 i 8 a blok L – zasuwę 3, 9, 10 oraz 11.



Rys. 7. Blokowanie elementów pompowni z przykładu 3 z uwzględnieniem kontaktu hydraulicznego (opracowanie własne)

Fig. 7. Blocking of the pump station elements (example 3) including a hydraulic contact (authors' work)



Rys. 8. Schemat niezawodnościowy nietypowej struktury progowej dla przykładu 4 (opracowanie własne)

Fig. 8. The reliability scheme of an unusual threshold structure, example 4 (authors' work)

Strukturę niezawodnościową pompowni sprowadzono do szeregowego połączenia bloków X oraz L. Stąd $K(P_o)=K(X) \cdot K(L)$. Blok X stanowi nietypową strukturę progową, której niezawodność $K(X)$ należy wyznaczyć wykorzystując dekompozycję ze względu na bloki G, H oraz J. Najbardziej optymalne będzie przeprowadzenie tzw. dekompozycji kombinowanej: najpierw dekompozycji ze względu na blok H, od którego „zależy najwięcej” (tab. 8), a później dekompozycji równoczesnej ze względu na bloki G i J. Między blokami G oraz J nie ma takiej zależności, że każda droga zawierająca jeden z tych bloków musiałaby zawierać drugi blok. Należy zwrócić uwagę, że jeśli blok H jest niesprawny, to stan bloku G jest nieistotny, co w tabeli 8 oznaczono symbolem gwiazdki „*” (przez analogię do maski pasującej do wszystkiego i stosowanej w systemie MS Office). Stan pierwszy (-,*,*) ze względu na bloki H, G oraz J tak naprawdę obejmuje 4 stany (-, +, +), (-, +, -), (-, -, +) oraz (-, -, -), a tu zastosowanie maski pozwoli na uproszczenie obliczeń. Dla sytuacji, gdy blok H jest sprawny przeprowadzono dekompozycję równoczesną ze względu na bloki G oraz J, czyli rozważono 4 przypadki.

Tabela 8. Pierwszy etap dekompozycji kombinowanej – ze względu na blok H (opracowanie własne)

Table 8. The first phase of a combined decomposition with regard to block H (authors' work)

Blok			Struktura	Prawdopodobieństwo przypadku
H	G	J		
-	*	*	X1: „4 z 4” (A,E,F,J)	$P(X1)= 1-K(H)$
+	+	+	X2: „3 z 6” (A,B, C,D, E,F)	$P(X2)=K(H) \cdot K(G) \cdot K(J)$
	+	-	X3: „3 z 4” (A, B, C, D)	$P(X3)= K(H) \cdot K(G) \cdot [1-K(J)]$
	-	+	X4: „3 z 4” (A, D, E, F)	$P(X4)= K(H) \cdot [1-K(G)] \cdot K(J)$
	-	-	X5: niesprawna	$P(X5)= K(H) \cdot [1-K(G)] \cdot [1-K(J)]$
			suma	1,0

Zastosowanie wzoru na prawdopodobieństwo zupełne pozwala wyznaczyć $K(X)$ jako:

$$K(X) = K(X1) \cdot P(X1) + K(X2) \cdot P(X2) + K(X3) \cdot P(X3) + K(X4) \cdot P(X4)$$

Wyznaczenie prawdopodobieństw sprawności bloków $X1$, $X2$, $X3$ i $X4$ nie powinno stwarzać problemów, gdyż są to już struktury typowe, jednak należy pamiętać o ich niejednorodności, która wynika z faktu, że bloki składają się z różnych elementów.

3. Podsumowanie

W praktyce inżynierskiej mogą występować przypadki, gdy nie można skonstruować schematu niezawodnościowego systemu, przez co nie można wyznaczyć dokładnie wartości niezawodności systemu K . Znajomość tej miary jest ważna, gdyż umożliwia przeprowadzenie oceny działania systemu. Jednak w wielu sytuacjach można ominąć tę trudność poprzez zastosowanie procesu dekompozycji.

Proces dekompozycji może być stosowany w zależności od potrzeb jako dekompozycja jednokrotna albo jako dekompozycja wielokrotna. W drugim przypadku odpowiednio do sytuacji może to być: dekompozycja stopniowa - dokonywana kolejno (stopniowo) ze względu na kilka elementów, dekompozycja równoczesna - dokonywana od razu ze względu na kilka elementów (najczęściej dwa) albo dekompozycja kombinowana - składająca się z kilku etapów dekompozycji wielostopniowej i/lub równoczesnej. W każdym przypadku, w zależności od stanów elementarnych elementów dekompozycyjnych, generowana są nowe struktury (tzw. warunkowe), w których elementy dekompozycyjne nie występują. Proces dekompozycji jest prowadzony etapowo, aż do chwili, gdy dla wszystkich struktur warunkowych S_i możliwe jest wyznaczenie dokładnej wartości $K(S_i)$ za pomocą wzorów analitycznych. Na końcu należy zastosować wzór na prawdopodobieństwo zupełne, który łącznie ujmuje wszystkie możliwe przypadki dekompozycji. Uzyskany niewielkim nakładem pracy wynik jest dokładny. Przedstawiona metodyka, wyjaśniona szczegółowo na kilku przykładach aplikacyjnych, jest jednocześnie prosta i przydatna. Może znaleźć zastosowanie do wyznaczania niezawodności wielu systemów i obiektów, gdy znajomość dokładnej wartości K warunkuje podjęcie prawidłowej, strategicznej decyzji dotyczącej ewentualnej konieczności modernizacji obiektu.

Literatura

- [1] Bajer J., Iwanejko R., Kapcia J., Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych w zadaniach, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2006.
- [2] Ermolin Ju. A., Alekseev M. I.: Metod dekompozicii i ekwivalentirovanija kanlizacionnoj seti. Vodosnabżenie i Sanitarnaja Technika No 11, s. 51-57, 2012.

- [3] Iwanejko R., Analiza błędów metod wyznaczania miar niezawodności obiektów komunalnych na przykładzie systemu zaopatrzenia w wodę. *Czasopismo Techniczne 3-Ś/2009*, Zeszyt 11, str. 21-38, Kraków 2009.
- [4] Iwanejko R., Accuracy of reliability measures of water supply and sewage facilities. *Scientific Problems Of Machines Operation And Maintenance*, 1 (157) 2009, ss. 29-36.
- [5] Iwanejko R., Bajer J., Dekompozycja wielokrotna jako metoda dokładnego wyznaczania niezawodności systemów złożonych, *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture*, JCEEA, t. XXXIV, z. 64 (4/II/17), s. 287-296. DOI:10.7862/rb.2017.246.
- [6] Królikowska J., Kubala M., Analiza problemów praktycznego zastosowania metody dekompozycji i ekwiwalentowania, *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture*, JCEEA, 2015 z. 62, nr 3/I, s. 243-252, DOI: 10.7862/rb.2015.109.
- [7] Kwietniewski M., Roman M., Kłoss-Trębaczewicz H., *Niezawodność wodociągów i kanalizacji*, Arkady, Warszawa 1993.
- [8] Migdałski J. (red.), *Poradnik niezawodności, Podstawy matematyczne*. Wydawnictwo Przemysłu Maszynowego „WEMA”, Warszawa 1982.
- [9] Rak J. i inni, *Niezawodność i bezpieczeństwo systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2012.
- [10] Wiczysty A., *Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych*. Skrypt dla studentów wyższych szkół technicznych., Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 1990.
- [11] Wiczysty A. (red.), *Metody oceny i podnoszenia niezawodności działania komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę*, Monografie KIŚ PAN, Kraków 2001.

APPLICATIONS FOR MULTIPLE DECOMPOSITION FOR ACCURATE DETERMINATION OF RELIABILITY OF COMPLEX SYSTEMS

S u m m a r y

During both design and operation of engineering systems determination of their basic reliability measure K becomes extremely important. Knowledge of this value, interpreted as a probability of system efficiency, helps to evaluate the system operation and to decide whether it needs modernization. In real life, many strategic systems are considerable complex and therefore the reliability of K cannot be accurately determined using the simplest analytical method. To get around this difficulty, system decomposition is often needed. The decomposition process can be carried out with regard to one, several or even to all elements. These elements are called decomposition elements. The article presents practical applications of multiple decomposition. Each example involves separate cases, when either the selected decomposition elements are in working order or they are out of order. Depending on the choice of decomposition elements, a simultaneous, gradual or combined decomposition is carried out. The decomposition process is carried out until the structures obtained for all possible combinations of efficiency or failure conditions of decomposition elements are mixed. The use of a complete probability formula allows for a combined consideration of all analyzed cases. The presented examples show that the method is relatively simple and not very labor-intensive, if compared to the exact method of a complete review. Although the effort and the method's success are largely determined by a choice of

decomposition elements, this does not affect its practical application. The method can be used to determine reliability of many systems and objects of rather complex structures with a relatively small effort.

Keywords: stationary readiness indicator, single parameter methods, step decomposition, simultaneous decomposition, combined decomposition

Przesłano do redakcji: 20.11.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Robert GRYGO¹
Krzysztof CZECH²
Marcin PALENCEUSZ³

NUMERYCZNA ANALIZA ODKSZTAŁCEŃ PŁASKICH DŹWIGARÓW KRATOWYCH ORAZ ICH WERYFIKACJA PRZY WYKORZYSTANIU STANOWISKA DO BADAŃ PARAMETRÓW MECHANICZNYCH KONSTRUKCJI W SKALI NATURALNEJ

W artykule przedstawiono proces badania „in situ” oraz weryfikacji obliczeń i założeń projektowych płaskiego dźwigara kratowego pod obciążeniem statycznym, realizowany na specjalnym stanowisku badawczym na terenie zakładu produkcyjnego konstrukcji stalowych. Badania in-situ wielkogabarytowych elementów nośnych konstrukcji inżynierskich należą do najbardziej pracochłonnych i skomplikowanych w inżynierii lądowej. Z tego powodu są niezwykle rzadko realizowane przez producentów konstrukcji stalowych. Większość badań eksperymentalnych odbywa się w laboratoriach uczelnianych, a wyniki badań bardzo często służą jedynie rozważaniom naukowym. Ze względu na problemy związane z transportem konstrukcji, a także na konieczność budowy specjalnego stanowiska badawczego w laboratorium uczelnianym koszty takiego przedsięwzięcia często przerastają możliwości finansowe wytwórców konstrukcji stalowych. W celu zapewnienia zgodności pracy rzeczywistej konstrukcji i odpowiadającego jej modelu numerycznego należy precyzyjnie określić parametry wytrzymałościowe materiału oraz odwzorować realny charakter pracy ustroju nośnego. Zaproponowane przez autorów stanowisko badawcze pozwala na relatywnie szybkie przeprowadzenie eksperymentu obciążania próbnego konstrukcji, które w połączeniu z pomiarem odkształceń głównych elementów nośnych umożliwia zmianę pierwotnie założonego modelu numerycznego i optymalizację jego ukształtowania.

Słowa kluczowe: konstrukcje stalowe, badania eksperymentalne, weryfikacja modelu MES

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Robert Grygo, Politechnika Białostocka, Katedra Konstrukcji Budowlanych, ul. Wiejska 45e, 15-351 Białystok; tel. 797 995 936; r.grygo@pb.edu.pl

² Krzysztof Czech, Politechnika Białostocka, Katedra Mechaniki Konstrukcji, ul. Wiejska 45e, 15-351 Białystok; tel. 797 995 942; k.czech@pb.edu.pl

³ Marcin Palenceusz, MP Engineering, ul. Jerzego Waszyngtona 24 lok. 427, 15-281 Białystok; m.palenceusz@mpe.com.pl

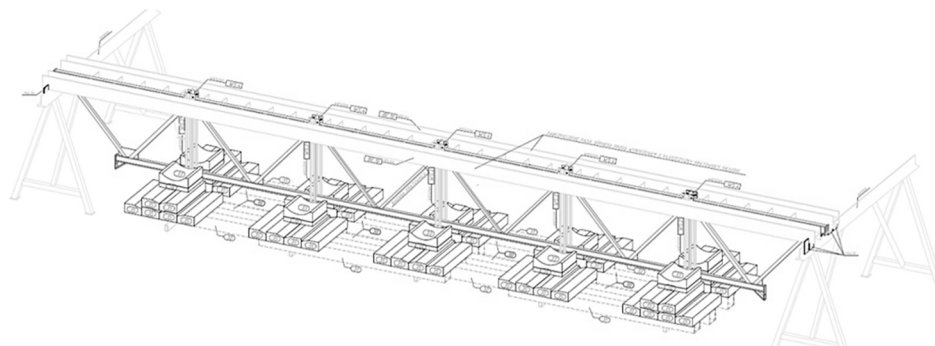
1. Wprowadzenie

Główne elementy nośne wspólnie projektowanych i realizowanych stalowych konstrukcji budowlanych w praktyce inżynierskiej zazwyczaj nie przechodzą etapu weryfikacji zgodności pracy rzeczywistej konstrukcji (jako całości lub jej kluczowych elementów) z zakładaną przez projektantów pracą konstrukcji zamodelowanej i obciążonej numerycznie – zwykle przy wykorzystaniu Metody Elementów Skończonych (MES) w jednym z dostępnych na rynku pakietów specjalistycznego oprogramowania do analiz statyczno-wytrzymałościowych. Tego typu badania doświadczalne, jeśli są w ogóle prowadzone, dotyczą zwykle konstrukcji eksperymentalnych lub istotnych z innego punktu widzenia – na przykład wynikłych z konieczności przetestowania nietypowych, nowej generacji materiałów konstrukcyjnych lub innowacyjnego sposobu łączenia ze sobą poszczególnych elementów [1-4]. O ile w przemyśle samochodowym tego typu badania na obiektach rzeczywistych są dość często prowadzone (m.in. weryfikacja odkształceń i naprężeń w poszyciu nowo projektowanych korpusów silników spalinowych itp.), to w szeroko rozumianym przemyśle budowlanym badania na obiektach rzeczywistych są niezwykle rzadko realizowane – głównie ze względu na zazwyczaj znaczące rozmiary konstrukcji. Efektem tego jest to, iż inwestor otrzymuje gotowy produkt – w tym przypadku np. element konstrukcyjny lub fragment większej części konstrukcji, który w rzeczywistych warunkach może pracować inaczej niż wynikałoby to z projektu i modelu numerycznego.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie koncepcji prostego stanowiska badawczego do weryfikacji odkształceń płaskich dźwigarów kratowych zamodelowanych numerycznie i wykonanych fizycznie w skali naturalnej, które z powodzeniem może być wykorzystywane bezpośrednio na terenie zakładu przemysłowego, w którym tego typu konstrukcje stalowe są realizowane.

2. Opis koncepcji stanowiska badawczego

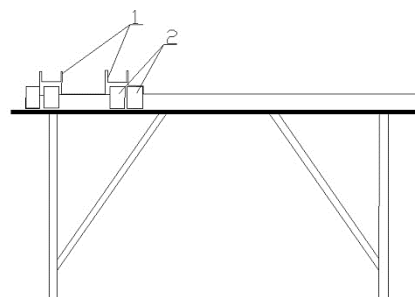
Schematycznie stanowisko badawcze z zamontowanym i obciążonym płaskim dźwigarem kratowym pokazano na rys. 1. Jak widać na poniższym rysunku, proponowane stanowisko badawcze jest złożone z dwóch przestawnych kozłów stalowych ustawianych poprzecznie w stosunku do konstrukcji będącej przedmiotem badań, do których górnych powierzchni montowane są dwie dwuteowe belki stalowe (wykonane z dwuteownika HEA220) z jednostronnie dospawanymi płaskownikami stanowiącymi zabezpieczenie pasa górnego badanych elementów przed ich wyboczeniem z płaszczyzny. Niezmienne położenie belek dwuteowych względem każdego z kozłów zapewniają dwie pary zorientowanych pionowo stalowych płaskowników.



Rys. 1. Schemat 3D stendu do badań kratownic w skali naturalnej

Fig. 1. 3D schematics of a stand for testing flat lattice girders in full scale

Pierwsza para płaskowników jest przyspawana do koźłów, druga para, w zależności od potrzeb, może być przyspawana lub montowana do koźłów za pomocą połączeń śrubowych w zmiennej skokowo odległości – przyjmowanej w zależności od wymaganej przestrzeni roboczej, która jest uzależniona od wymiarów badanych konstrukcji. Sposób oparcia belek dwuteowych na koźłach przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Koziół stalowy w widoku z boku z zamontowanymi belkami zabezpieczającymi badane elementy przed wyboczeniem z płaszczyzny: 1–zabezpieczenie pasa górnego przed wyboczeniem, 2–blachy stabilizujące

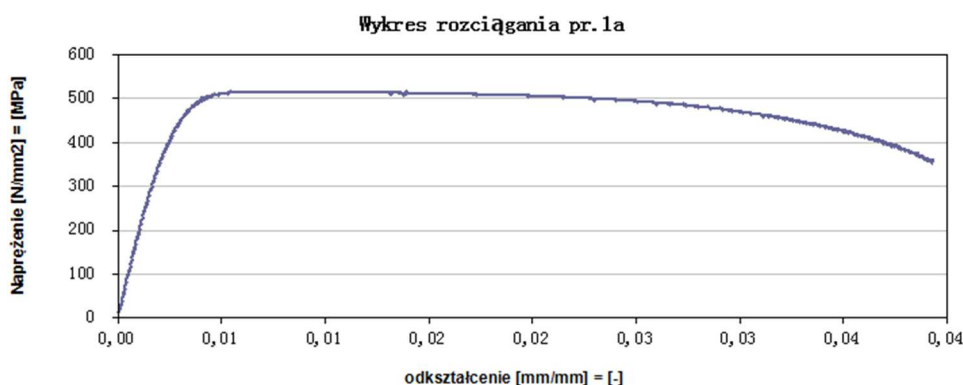
Fig. 2. A side view of the steel trestle with beams mounted to prevent elements being tested from buckling from the plane 1–protection of the upper belt from buckling, 2–stabilizers plates

Proponowane rozwiązanie umożliwia badanie płaskich dźwigarów kratowych o rozpiętości do 14 m. W przypadku mniejszych rozpiętości badanych elementów zmniejsza się jedynie odpowiednio rozstaw koźłów.

Zadawanie obciążeń badanych elementów umożliwiają wieszaki stalowe podczepiane w dowolnej kolejności do węzłów górnych płaskich dźwigarów kratowych. Jako obciążenie najlepiej zastosować prefabrykowane elementy betonowe o znanym ciężarze, które świetnie nadają się jako balast obciążający. Takie rozwiązanie nie wymaga stosowania siłowników hydraulicznych, co pozwala na obniżenie kosztów eksperymentu.

3. Badania eksperymentalne

W celu sprawdzenia jak w rzeczywistości zachowuje się konstrukcja poddana zadanemu obciążeniu należało przeprowadzić badania doświadczane mające na celu weryfikację odkształceń w wybranych punktach konstrukcji i porównanie ich z wynikami obliczeń numerycznych. W początkowej fazie wykonano badania wytrzymałościowe materiału konstrukcyjnego, z którego wykonano kratownice. Realizowano je na precyzyjnie wyciętych próbkach z dostarczonych fragmentów profili stalowych (zastosowano „cięcie wodą”). Do statycznej próby rozciągania stali łącznie przygotowano 10 próbek laboratoryjnych (po 2 szt. z każdego pobranego elementu). Próbę statycznego rozciągania stali realizowano zgodnie z wytycznymi PN-EN 10002-1: 2004 [5]. Przykładowe wyniki badań zamieszczono na rys. 3.



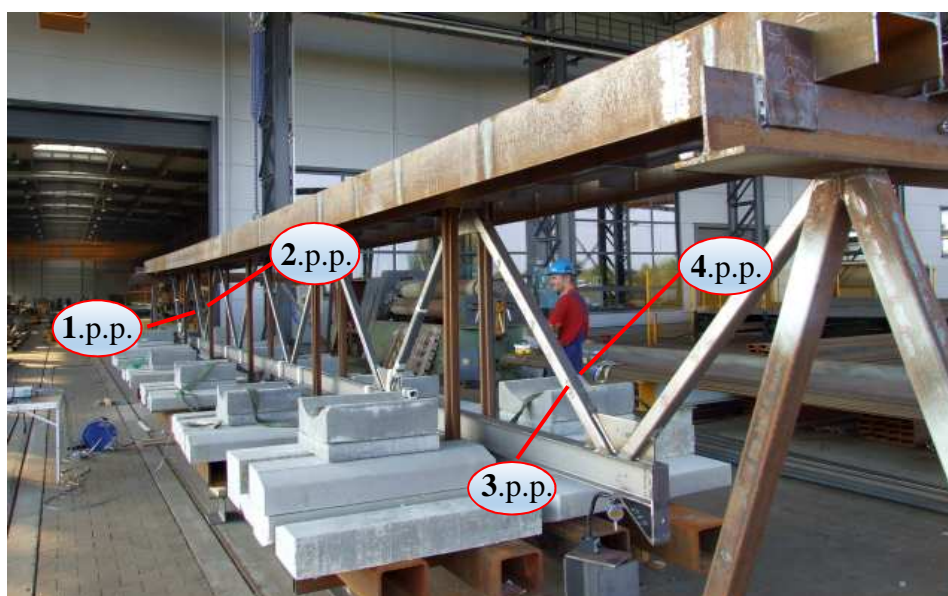
Rys. 3. Wykres rozciągania stali naprężenia/odkształcenia - krzyżulec nr 1 (próbka nr 1a)

Fig. 3. Diagram of steel tension - strain/stress - cross brace no. 1 (sample no. 1a)

Dla każdej z badanych próbek wyznaczono wartości stycznego modułu sprężystości podłużnej materiału E (moduł Younga). W obliczeniach numerycznych oraz przy wyznaczaniu wartości naprężeń w prętach skratowania (prezentowanych w dalszej części pracy) posłużono się wartością $E = 208\,762$ MPa – odpowiadającą średniej arytmetycznej z wszystkich dziesięciu badanych próbek.

W drugiej fazie eksperymentu realizowanej na proponowanym stanowisku badawczym obciążeniu poddano płaski dźwigar kratowy o pasach dolnych wykonanych z dwuteowników równoległościennych ekonomicznych IPE 140, pasach górnych wykonanych z dwuteowników szerokostopowych HE 120A oraz krzyżulcach z rur kwadratowych RK 50×50×5 i RK 60×60×6. Kratownicę poddano obciążeniu statycznemu o łącznej wartości ok. 100 kN (całkowite obciążenie konstrukcji masą 10 ton). Pomiar odkształceń prowadzono w dwóch wybranych prętach skratowania. Odkształcenia w każdym z ww. prętów rejestrowano w dwóch punktach pomiarowych usytuowanych na przeciwległych ścian-

kach profili zamkniętych. Wszystkie punkty pomiarowe przyjęto w środku rozpiętości analizowanych prętów skratowania. Lokalizację punktów pomiarowych, w których prowadzono pomiary odkształceń, schematycznie pokazano na rys. 4.

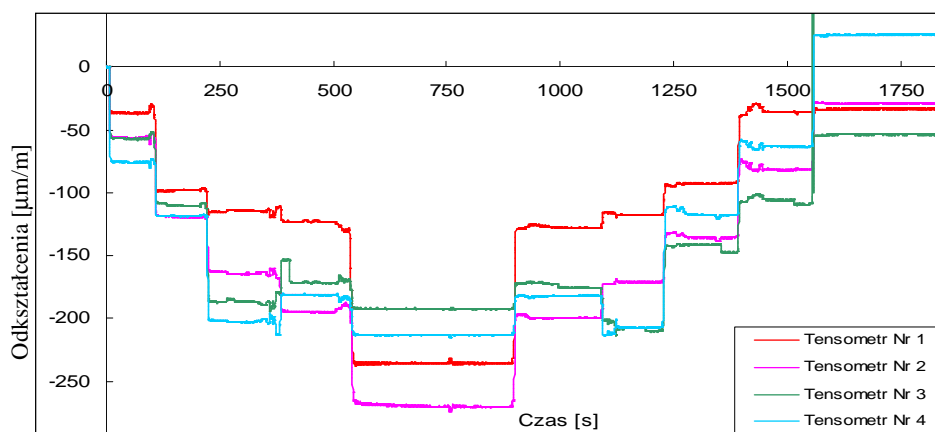


Rys. 4. Rozmieszczenie punktów pomiarowych na kratownicy PK-25 (widok z prawej strony)

Fig. 4. Location of measurement points on the lattice PK-25 (right side view)

Pomiary tensometryczne, mające na celu weryfikację odkształceń, a zarazem i naprężeń w prętach skratowania dźwigarów kratowych pod obciążeniem statycznym, prowadzono przy wykorzystaniu ośmiokanałowego urządzenia pomiarowego typu SPIDER'8 firmy *Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH* i przenośnego komputera typu notebook z zainstalowanym oprogramowaniem *CATMAN Professional 5.0*. Zastosowana aparatura pomiarowa umożliwia rejestrację danych z rozdzielczością 16 bitów przy próbkowaniu z szybkością od 1 Hz do 9600 Hz w zakresie temperatur od -10°C do $+50^{\circ}\text{C}$. Urządzenia pomiarowe *SPIDER'8* można łączyć ze sobą blokowo (do 8 rejestratorów) – uzyskując tym samym znacznie większą liczbę kanałów pomiarowych. W wersji podstawowej *SPIDER'8* jest wyposażony w 4 wzmacniacze pracujące z częstotliwością nośną do 4.8 kHz. Pomiary tensometryczne prowadzono w układzie półmostkowym. Do pomiaru odkształceń w wybranych prętach kratownic wykorzystano czujniki elektrooporowe typu CEA-06-250UN-350 firmy *Micro-Measurements Division* o rezystancji $350.0 \pm 0.3 \Omega$ (przy 24°C), długości bazy pomiarowej wynoszącej 13 mm oraz stałej tensometrycznej $2.105 \pm 0.5\%$. W trakcie pomiarów stosowano próbkowanie 5 Hz przy włączonej filtracji antyaliasingowej sygnału i filtracji dolnoprzepustowej z częstotliwością graniczną

0.5 Hz. Czas trwania pomiarów uzależniony był od długości pełnego cyklu obciążenia i odciążenia kratownic, który w zależności od dźwigara wynosił od około 30 do 42 minut. Wyniki przeprowadzonych pomiarów odkształceń w wybranych prętach skratowania dźwigara kratowego nr PK-25 zestawiono na rys. 5.



Rys. 5. Odsztalcenia prętów Nr 1 (serie pomiarowe nr: 1 i 2) i 2 (serie pomiarowe nr: 3 i 4) płaskiego dźwigara kratowego PK-25

Fig. 5. Stress in members No. 1 (measurement series no.: 1 and 2) and 2 (measurement series no.: 3 and 4) and a flat lattice girder PK-25

Modelowanie i analizy numeryczne w *MES* prowadzono przy wykorzystaniu oprogramowania *Autodesk Robot Structural Analysis Professional*. W obliczeniach statycznych przyjęto schemat kratownicy podpartej przegubowo. Model numeryczny konstrukcji obciążono identycznie jak w przypadku badań eksperymentalnych – przykładając do pięciu górnych węzłów dźwigara siły o wartości 20 kN. Sumaryczne obciążenie konstrukcji wynosiło 100 kN.

Wyniki przeprowadzonych analiz numerycznych oraz badań eksperymentalnych zestawiono w tabeli 1.

Tabela. 1. Porównanie naprężeń w prętach nr 1 i 2

Table 1. Comparison of strain values in bars no. 1 and no. 2

Pręt nr	Naprężenia			Przyrost / spadek naprężeń w stosunku do modelu numerycznego	
	Model numeryczny	Badania doświadczalne			
		[MPa]		[%]	
1	-54,5 (1&2.p.p.)	-49,0 (1.p.p.)	-56,6 (2.p.p.)	-10,2 (1.p.p.)	3,8 (2.p.p.)
2	-45,5 (3&4.p.p.)	-40,2 (3.p.p.)	-44,7 (4.p.p.)	-11,7 (3.p.p.)	-1,8 (4.p.p.)

W przypadku badań eksperymentalnych wartości naprężeń w analizowanych prętach konstrukcji wyznaczono z zależności $\sigma = E \varepsilon$, przyjmując do obliczeń uśrednione wartości modułu Younga wyznaczone w trakcie badań materiałowych ($E = 208,7$ GPa). Wartości naprężeń uzyskane w wyniku przeprowadzonych analiz numerycznych i zestawione w drugiej kolumnie tabel odpowiadają uśrednionym wartościom naprężeń, które wyznaczono na początku i końcu analizowanych prętów. W ostatnich dwóch kolumnach zamieszczono dane, które wskazują na procentowe różnice pomiędzy wynikami z analiz numerycznych i wynikami badań doświadczalnych na rzeczywistej konstrukcji.

Jak wynika z zestawionych powyżej danych (tab. 1) różnice pomiędzy wynikami obliczeń numerycznych i wynikami odpowiadających im badań na rzeczywistym obiekcie wynoszą od +3,8% do -11,7% – co w przypadku tego typu badań, pomimo pewnej niesymetryczności pracy konstrukcji (wynikłej najprawdopodobniej z częściowo mimośrodowym przyłożeniem obciążenia – na co należy zwrócić szczególną uwagę przy kolejnych tego typu badaniach) wskazuje na zadowalającą zbieżność wyników i potwierdza przydatność zaproponowanego stanowiska do badań weryfikacyjnych wybranych dźwigarów kratowych przed ich wbudowaniem w konstrukcję.

4. Wnioski

Weryfikacja poprawności pracy konstrukcji prowadzona na terenie zakładu przemysłowego w przypadku stwierdzenia znacznych rozbieżności pomiędzy odkształceniami do jakich dochodzi w rzeczywistej konstrukcji w stosunku do odkształceń wyznaczonych dla przyjętego modelu numerycznego konstrukcji przy analogicznych warunkach obciążenia umożliwia wykrycie i niezwłoczne usunięcie ewentualnych wad produktu przed jego wbudowaniem w docelową konstrukcję, co znacząco zmniejsza ryzyko wystąpienia awarii lub nawet katastrofy budowlanej. Takie podejście wiąże się również ze znaczącym zmniejszeniem ryzyka finansowego jakie ponosi inwestor, w przypadku konieczności częściowego demontażu wadliwych fragmentów konstrukcji. Mając na uwadze powyższe należy stwierdzić, iż badania weryfikujące poprawność pracy rzeczywistej konstrukcji w stosunku do założonej i zamodelowanej w programie komputerowym do analiz statyczno-wytrzymałościowych konstrukcji, powinny być prowadzone przynajmniej dla pierwszych egzemplarzy nowo projektowanych konstrukcji lub ich głównych elementów.

Prezentowane w pracy wyniki badań wskazują na akceptowalne rozbieżności pomiędzy wartościami naprężeń wyznaczonymi dla przedmiotowej konstrukcji w wyniku przeprowadzonego modelowania numerycznego i obliczeń statycznych w *MES* oraz zrealizowanych badań eksperymentalnych konstrukcji w skali naturalnej, które w analizowanym przypadku nie przekraczają 12%. Uzyskane wyniki tym samym dowodzą, że tego typu badania z powodzeniem mogą być prowadzone przy wykorzystaniu proponowanego w niniejszym artykule niskonakładowego stanowiska do badania płaskich dźwigarów kratowych w skali naturalnej.

Z uwagi na nieznaczną tendencję do niesymetrycznej pracy rzeczywistej konstrukcji pod obciążeniem wskazane byłoby zastosowanie dodatkowych usztywnień w płaszczyźnie pasa górnego kratownicy oraz rozważenie bardziej precyzyjnego sposobu zadawania obciążeń.

Literatura

- [1] Boruszak A., Sykulski R., Wrześniowski K.: Wytrzymałość materiałów. Doświadczalne metody badań. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1977.
- [2] Dyląg Z., Orłóś Z.: Wytrzymałość zmęczeniowa materiałów. Warszawa, WNT 1962.
- [3] Hoffmann K.: An introduction to measurements using strain gages. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt, 1989.
- [4] Jastrzębski P., Muttermilch J., Orłóś W.: Wytrzymałość materiałów. Warszawa. Arkady 1985.
- [5] PN-EN 10002-1:2004. Metale - Próba rozciągania - Część 1: Metoda badania w temperaturze otoczenia.

NUMERICAL ANALYSIS OF THE DEFORMATION OF THE FLAT LATTICE GRIDERS AND THEIR VERIFICATION USING THE STAND FOR TESTING OF MECHANICAL PROPERTIES IN THE NATURAL SCALE

Summary

Main bearing elements of currently designed and executed steel structures, in the common engineering practice, usually fail to undergo the stage of verification of compliance of the real world structure's operation (as a whole, or with regard to its key elements) with the operation of the modelled and numerically loaded structure assumed by designers - most often with use of one of specialist software packages available on the market, enabling statistical and durability analyses with the Finite Element Method (FEM). This kind of experimental study, if it is conducted at all, usually concerns experimental and very non-typical structures, or ones significant from another viewpoint - e.g. a need for testing non-typical construction materials of a new generation or innovative methods of joining particular elements. While in the automotive industry this kind of study of real objects is conducted quite often (including verification of strain and stress in the plating of newly designed combustion engines' bodies, etc.), tests on real objects are carried out extremely seldom in the broadly understood building construction industry - mainly due to the usually considerable structure sizes. As a result of this, the investor receives a ready product - in this case a structural element or a component of a bigger structural part which in real world conditions may perform in a way different from what would transpire from the design and the numerical model.

This study sets out to present a concept of a simple test workstation for verification of strain of flat lattice girders, numerically modelled and physically executed in full scale, which may be successfully applied directly at the premises of an industrial facility where structures of this kind are produced.

Keywords: steel structures, experimental tests, verification of FEM model

Przesłano do redakcji: 13.10.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Michał BASZEŃ¹

BADANIA DOŚWIADCZALNE ODKSZTAŁCALNOŚCI WĘZŁÓW SZKIELETOWYCH BUDYNKÓW DREWNIANYCH

Większość obecnie znanych modeli obliczeniowych zawiera uproszczenia, które powodują, że otrzymane dzięki nim wyniki sił wewnętrznych, naprężeń czy przemieszczeń obarczone są pewnymi błędami. Aby uzyskać prawidłowe rozwiązanie analizowanego problemu konieczne jest poznanie rzeczywistego sposobu pracy konstrukcji. Uwzględnianie w obliczeniach węzłów podatnych, ze znanymi wartościami ich podatności, pozwala na otrzymanie rozwiązania dokładnego. Możliwe jest to dzięki badaniom eksperymentalnym. W pracy zostały przedstawione wyniki badań doświadczalnych węzłów w szkieletowych budynkach drewnianych. Badania te przeprowadzono celem wyznaczenia podatności translacyjnej oraz rotacyjnej węzłów. Eksperymenty zostały przeprowadzone na modelach węzłów o zmniejszonych wymiarach poprzecznych w stosunku do rzeczywistych wymiarów elementów drewnianych konstrukcji szkieletowych. Wyniki innych badań doświadczalnych, wykazały, że zarówno eksperymenty na próbkach pełnowymiarowych, jak i małowymiarowych w dobry sposób przedstawiają sposób pracy konstrukcji. Podczas badań rejestrowano wielkości przemieszczeń charakterystycznych punktów w węzłach. Badania podatności translacyjnej i rotacyjnej prowadzone były niezależnie od siebie, na próbkach przedstawiających różne rodzaje węzłów. Podatność translacyjną obliczana była jako stosunek przyrostu przemieszczenia węzła do przyrostu siły obciążającej węzeł. W przypadku węzła z zablokowanym podatność rotacyjną obliczano jako stosunek przyrostu kąta obrotu elementu obciążanego względem elementu podpierającego do przyrostu momentu zginającego. Podatność translacyjną określano dla dwóch rodzajów węzła, z zablokowanym oraz z możliwym przemieszczeniem w osi działającego obciążenia. Podatność rotacyjną określono natomiast dla różnych grubości obciążanego elementu. Otrzymane wyniki zaprezentowano w postaci wykresów zależności podatność-naprężenia. Powiązanie podatności z naprężeniami podyktowane zostało przeprowadzeniem eksperymentów na próbkach małowymiarowych.

Słowa kluczowe: węzły podatne, sztywność i podatność węzłów, badania w skali mikro

¹ Michał Baszeń, Politechnika Białostocka, Katedra Mechaniki Konstrukcji, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok; m.baszen@pb.edu.pl

1. Wprowadzenie

Podatność poszczególnych węzłów i połączeń wpływa na ogólną sztywność obiektu. Ponieważ węzły z reguły są mniej sztywne, niż poszczególne elementy powoduje to, że ogólna sztywność obiektu jest niższa, niż sztywność będąca sumą sztywności poszczególnych ścian, stropów oraz elementów dachowych.

Podatność węzłów jest powiązana ze sposobem ich konstruowania, a także ogólnym schematem pracy poszczególnych elementów konstrukcji w węźle. Sposób wykonania węzłów zależy od materiału konstrukcyjnego, czy jest to konstrukcja stalowa, żelbetowa czy drewniana, zatem sposób pracy węzłów oraz ich podatność jest inna dla każdego rodzaju obiektu.

Krzywe $M-\varphi$ opisują relację między momentem zginającym w węźle, występującym na analizowanym elemencie, a kątem obrotu elementu względem reszty węzła. Czy węzeł powinien być traktowany jako przegubowy, sztywny czy też podatny określa się na podstawie wyliczonej początkowej sztywności węzła [1].

Najlepiej rozpoznana jest kwestia podatności w konstrukcjach stalowych. Podatność takich węzłów opisują różne zależności $M-\varphi$, związane jest to ze sposobem wykonania węzłów [2], ale ze względu na dużą sztywność na ściskanie słupów stalowych uwzględniania jest tylko podatność rotacyjna.

W przypadku drewnianych konstrukcji szkieletowych praca węzła jest bardziej złożona. Oprócz podatności rotacyjnej wynikającej z obrotu elementu względem węzła, występuje także podatność translacyjna spowodowana dociskaniem poszczególnych elementów względem siebie (rys.1), co powoduje że węzły w drewnianych konstrukcjach szkieletowych i konstrukcjach stalowych będą pracowały w inny sposób.

Połączenia podatne w konstrukcjach stalowych zostały dobrze rozpoznane dzięki szerokiemu spektrum badań doświadczalnych m.in. [3], [4]. W przypadku konstrukcji drewnianych także prowadzone są badania nad węzłami podatnymi, jednak z reguły uwzględniana jest podatność rotacyjna w ramach portalowych m.in. [5], [6]. Podatność translacyjna węzłów z reguły jest pomijana, jakkolwiek uwzględniania jest w niektórych analizach węzłów kratownic drewnianych np. [7], jednak inne analizy np. [8] uwzględniają podatność kątową.

W badaniach doświadczalnych podatność węzłów jest określana jako funkcja podatności łączników stalowych [9] lub drewnianych [10], a nie jako funkcja sztywności elementów konstrukcyjnych w węźle.

2. Praca węzła

Węzeł kształtowany jest jako połączenie elementów konstrukcji ścian, stropów czy dachu. Każde takie połączenie charakteryzuje się dwoistą podatnością, zarówno rotacyjną, jak i translacyjną. Model pracy całego węzła zatem jest kompilacją modeli opisujących poszczególne połączenia.

Podobne węzły mogą pracować w zupełnie inny sposób. Przykładem takiego węzła jest węzeł strop-ściana. Rozpatrzono dwa warianty tego węzła: strop swobodnie oparty na ścianie niższej kondygnacji oraz strop oparty na ścianie niższej kondygnacji a na nim stojąca ściana wyższej kondygnacji.

W pierwszym przypadku, ze względu na brak ściany wyższej kondygnacji, występuje swoboda obrotu elementu stropu względem górnej krawędzi ściany, przez co węzeł ten charakteryzuje się dużą podatnością rotacyjną, czyli pracuje w sposób zbliżony do węzła przegubowego.

W węźle łączącym strop ze ścianami dwóch kondygnacji ograniczona jest swoboda obrotu elementu stropowego (belek stropowych). Podatność rotacyjna w tym przypadku jest mniejsza, przez co węzeł pracuje w sposób zbliżony do węzła sztywnego. Docisk ściany wyższej kondygnacji powoduje, że węzeł ten posiada też znaczną podatność translacyjną.

Uwzględnienie podatności połączenia będzie wpływać na stan graniczny nośności i użytkowania (węzeł ze ścianą wyższej kondygnacji) lub tylko na stan graniczny użytkowania (węzeł strop-ściana niższej kondygnacji).

Określenie sposobu pracy konstrukcji jest możliwe na dwa sposoby, tworząc model obliczeniowy opisujący zachowanie układu konstrukcyjnego lub też poprzez przeprowadzenie eksperymentów badawczych. Analiza doświadczalna może być przeprowadzona dla całej konstrukcji lub też dla jej części.

Ze względu na stopień skomplikowania konstrukcji, często lepszym rozwiązaniem jest przeprowadzenie eksperymentu dla części obiektu. Znając model pracy połączenia lub całego węzła możliwe jest zastosowanie tej wiedzy do stworzenia ogólnego modelu obliczeniowego całej konstrukcji, jeżeli znane są np. modele pracy elementów ściennych czy stropowych [11], [12].

Eksperymenty badawcze mogą być prowadzone na próbkach w skali naturalnej, ale także o zmniejszonych wymiarach poprzecznych. Wyniki badań [9], [13] pokazują zadowalającą dokładność takiego rodzaju eksperymentów.

Ze względu na skomplikowanie konstrukcji węzła możliwa jest uproszczona analiza dzięki badaniom pojedynczych połączeń występujących w analizowanym węźle. Rozpoznany sposób pracy pojedynczego połączenia umożliwia opracowanie modelu obliczeniowego całego węzła. Weryfikację modelu można uzyskać przeprowadzając badania doświadczalne całego węzła.

3. Metodologia badań doświadczalnych

Celem badań było określenie podatności węzłów wynikającej z podatności materiałowej elementów konstrukcji. Obserwowano podatności translacyjną i rotacyjną niezależnie od siebie. Aby uprościć badania założono, że analizowana będzie praca pojedynczych połączeń, a nie całego węzła. Dodatkowo pominięto w analizach wpływ poszycia oraz łączników. Analizy przeprowadzono w porównaniu do wielkości naprężeń ściskających dla podatności translacyjnej oraz naprężeń zginających dla podatności rotacyjnej.

Badania przeprowadzono dla trzech różnych węzłów. Podatność translacyjną określano dla węzła słupki-rygiel dolny ściany dla dwóch wariantów. W pierwszym zakładano brak możliwości przemieszczenia całego węzła w osi obciążenia. Występuje tylko docisk słupka do rygla poziomego, np. węzeł oparty na sztywnej podwalinie (rys. 1a). W drugim wariantcie węzeł miał możliwość przemieszczenia w osi obciążenia zewnętrznego, np. węzeł w nadprożu albo oparcie belki stropowej na ryglu ściany pomiędzy dwoma słupkami (rys. 1b).

Podatność rotacyjną określano dla przypadku oparcia belki na elemencie pionowym, np. belka stropowa umiejscowiona nad słupkiem ściany (rys. 1c).

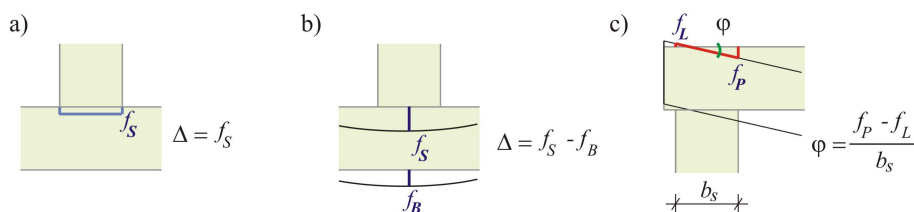


Rys. 1. Badanie doświadczalne podatności: a) translacyjnej - węzeł bez możliwości przemieszczenia, b) translacyjnej - węzeł z możliwością przemieszczenia, c) rotacyjnej

Fig. 1. Experimental tests of semi-rigidity (inverse of stiffness): a) axial - joint with restricted vertical displacement, b) axial - joint with permissible vertical displacement, c) rotational

Badania prowadzone były do utraty nośności przez któryś z elementów. Podatność translacyjną określano na próbkach o wymiarach poprzecznych 45x90mm, zaś podatność rotacyjną obliczano na podstawie wyników przemieszczeń belek poziomych o wymiarach poprzecznych 22x45mm oraz 30x45cm.

Podatność (translacyjną, rotacyjną) obliczano, jako stosunek przyrostu wartości przemieszczenia węzła (liniowego, kąтового) do przyrostu obciążenia w węźle (siła, moment) (rys. 2). W przypadku węzła bez możliwości, jako wartość przemieszczenia przyjmowano wielkość docisku słupka do rygla.



Rys. 2. Wyznaczanie przemieszczeń dla określenia podatności: a) translacyjnej - węzeł bez możliwości przemieszczenia, b) translacyjnej - węzeł z możliwością przemieszczenia, c) rotacyjnej

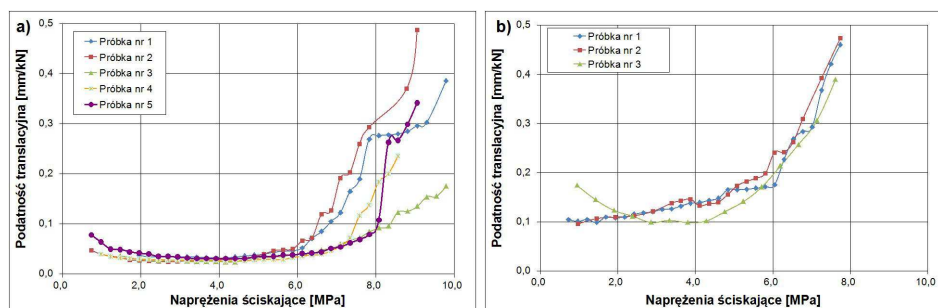
Fig. 2. Calculation of displacement to obtain semi-rigidity: a) axial - joint with restricted vertical displacement, b) axial - joint with permissible vertical displacement, c) rotational

Ze względu na brak łączników, belka oparta była swobodnie na elementach podparcia, dlatego też podatność określano jako zależną nie od momentu węzłowego, ale od maksymalnego momentu zginającego próbkę.

4. Wyniki badań

4.1. Podatność translacyjna

Na rysunkach poniżej pokazano zależność podatności od wartości naprężeń ściskających występujących w strefie kontaktu między elementem poziomym i pionowym węzła.



Rys. 3. Wykres zależności 'podatność translacyjna węzła' - 'naprężenia ściskające': a) węzeł bez możliwości przemieszczenia, b) węzeł z możliwością przemieszczenia

Fig. 3. 'Joint axial semi-rigidity'-to-'normal stress' relationship: a) joint with restricted vertical displacement, b) joint with permissible vertical displacement

Wartość podatności początkowej została obliczona dla naprężeń ściskających na poziomie ok. 1 MPa. We wcześniejszej fazie obciążania elementy w analizowanym węźle dopasowują się, co daje zawyżone wartości podatności.

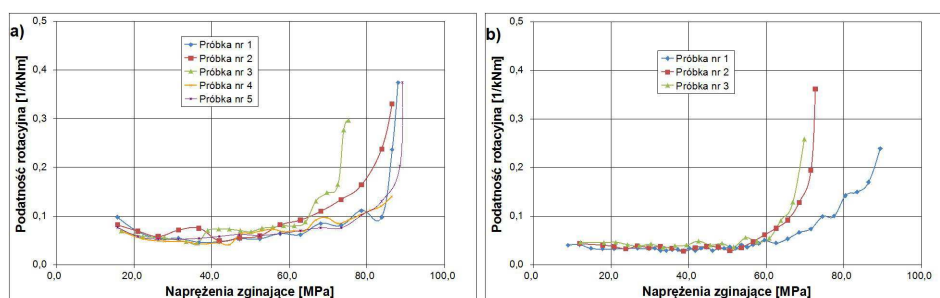
Wartość podatności początkowej dla węzła bez możliwości przemieszczenia kształtuje się na poziomie ok. 0,03 mm/kN, podczas gdy w węzłach z możliwym przemieszczeniem wartość ta jest większa i wynosi ok. 0,1 mm/kN.

Podatność węzłów pozostaje niezmienną do poziomu ok. 6 MPa dla naprężeń ściskających, gdy następuje jej gwałtowny wzrost. Zniszczenie węzłów z możliwością przemieszczenia zostało zaobserwowane dla naprężeń bliskich 8 MPa (rys. 3b), podczas gdy węzły bez możliwości przemieszczenia ulegały zniszczeniu przy większych obciążeniach (rys. 3a). Spowodowane jest to występowaniem naprężeń zginających w węzłach z możliwością przemieszczenia.

4.2. Podatność rotacyjna

Kolejne analizy pozwoliły na określenie zależności między podatnością rotacyjną, a naprężeniami zginającymi w obciążanej belce. Przeprowadzono bada-

nia dla dwóch grubości elementu poziomego. Podobnie, jak w przypadku podatności translacyjnej w początkowej fazie eksperymentu wystąpił efekt dopasowania elementów na ich styku, dlatego wartość podatności początkowej wyznaczono dla naprężeń zginających na poziomie ok. 20 MPa.



Rys. 4. Wykres zależności podatności rotacyjnej węzła - naprężenia zginające: a) belka o grubości 22mm, b) belka o grubości 30mm

Fig. 4. Joint rotational semi-rigidity to bending stress relationship: a) top plate 22mm thick, b) top plate 30mm thick

Początkowa podatność rotacyjna dla belki o grubości 22mm wynosiła ok. 0,05 1/kNm, podczas gdy podatność belki o grubości 30mm była mniejsza i wynosiła ok. 0,03 1/kNm.

Węzeł zachowuje początkową podatność rotacyjną do poziomu naprężeń zginających w belce równych ok. 60 MPa (belka o gr. 30mm, rys. 4b) lub ok. 80 MPa (gr. 22mm, rys. 4a). Po przekroczeniu tego poziomu naprężeń następuje gwałtowny wzrost podatności rotacyjnej węzła.

Podatność rotacyjna zależna jest od sztywności belek zginanych, większa sztywność belki - mniejsza podatność węzła. Równocześnie węzły belek o większej sztywności przy mniejszych wartościach naprężeń stają się bardziej podatne. Gdy naprężenia zginające w belkach obu rodzajów przekraczają poziom 60 MPa podatności węzłów osiągają podobną wartość. Przy zwiększeniu naprężeń zginających podatność węzła z belką o większej sztywności rośnie szybciej, niż podatność belki o mniejszej sztywności.

5. Wnioski

Przeprowadzone badania doświadczalne oraz analizy otrzymanych wyników pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- wszystkie węzły konstrukcji drewnianych charakteryzują się pewną podatnością początkową, która zależna jest od sposobu konstruowania węzłów, jak również od sztywności poszczególnych elementów,

- możliwe jest wyliczenie wartości podatności początkowej węzła, zarówno translacyjnej jak i rotacyjnej, gdy nastąpi pełne dopasowanie elementów w obciążonym węźle,
- krzywe zależności podatność - naprężenia pokazują, że węzeł charakteryzuje się stałą wartością podatności przez większość procesu obciążania, dopiero gdy obciążenie zbliża się do wartości obciążenia niszczącego, następuje gwałtowny wzrost podatności zarówno translacyjnej, jak i rotacyjnej,
- jeżeli w węźle nie występuje blokada przemieszczenia na kierunku przykładowego obciążenia zewnętrznego, to podatność translacyjna takiego węzła jest kilkukrotnie większa, niż podatność węzła z zablokowaną możliwością przemieszczenia,
- zastosowanie elementów zginanych o większej sztywności zmniejsza podatność rotacyjną węzła, ale równocześnie zmniejsza nośność węzła na zginanie.

Badania doświadczalne pozwalają na lepsze poznanie sposobu pracy obiektów wznoszonych w technologii lekkiego szkieletu drewnianego. Obserwacja odkształceń pojedynczych połączeń pod obciążeniem zewnętrznym, pozwoli w przyszłości na sformułowanie modelu obliczeniowego opisującego pracę całych węzłów.

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy nr S/WBiŚ/5/13 i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW.

Literatura

- [1] PN-EN 1993-1-8. Projektowanie konstrukcji stalowych: Projektowanie węzłów.
- [2] Kozłowski A.: Kształtowanie szkieletów stalowych i zespolonych o węzłach półsztywnych, Oficyna wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1999.
- [3] Broniewicz M.: Prognozowanie charakterystyk M-O [moment-obrót] węzłów typu "T" z rur prostokątnych na podstawie znajomości parametrów geometrycznych połączenia, Konstrukcje Stalowe, Nr 1, 1998, s. 36-38.
- [4] Klich R., Wojnar A., Kozłowski A.: Badania doświadczalne węzłów narożnych ram wykonanych z profili cienkościennych, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska, Z. 50 [256], 2008, s. 121-129.
- [5] Leijten A.J.M.: Requirements for moment connections in statically indeterminate timber structures, Engineering Structures, vol. 33, 2011, pp. 3027-3032.
- [6] Scheibmair F., Quenneville P.: The quick connect moment connection for portal frame buildings – an introduction and case study, World Conference on Timber Engineering, WCTE 2012, Auckland, 2012.
- [7] Fournely E., Moutou Pitti R., Bouchair A.: Behavior of Timber Lattice Beam with Semi-Rigid Joints: analytical and experimental study, PRO LIGNO, vol. 8, no 3, 2012, pp. 19-41.
- [8] Gupta R., Gebremedhin K.G., Cooke R.J.: Analysis of metal-plate-connected wood trusses with semi-rigid joints, Transactions of the ASAE, vol. 35, no 3, 1992, pp. 1011-1018.

- [9] Patton-Mallory M., Gutkowski R.M., Soltis L.A.: Research Paper FPL 448 – Racking Performance of Light-Frame Walls Sheathed on Two Sides. U.S. Department of Agriculture, Forest Product Laboratory, 1983.
- [10] Arciszewska-Kędzior A., Kunecky J., Hasníková H., Sebera V.: Lapped scarf joint with inclined faces and wooden dowels: Experimental and numerical analysis, *Engineering Structures*, vol. 94, 2015, pp. 1-8.
- [11] Malesza M., Miedziałowski Cz.: Discrete analytical models of the wood-framed with sheathing building structures and selected experimental test results, *Archive of Civil Engineering*, vol. 49, no 2, 2003, pp. 213-240.
- [12] Baszeń M., Miedziałowski Cz.: Experimental tests of light wood-framed construction, in: *Lightweight structures in civil engineering*, Wydawnictwo Naukowe Micro-Publisher Jan B. Obrębski, Warszawa 2004, pp. 29-32.
- [13] Morlier J., Bos F., Castéra P.: Diagnosis of a Portal Frame using Advanced Signal Processing of Laser Vibrometer Data, *Journal of Sound and Vibration*, vol. 297, no 1-2, 2006, pp. 420-431.

EXPERIMENTAL STUDIES OF JOINT DEFORMABILITY IN WOOD LIGHT-FRAME STRUCTURES

Summary

Most of currently known calculation models comprises simplicity. The values of internal forces, stresses or displacements obtained by these models are subjected to be inaccurate. To reach proper solution for analyzed problem it is necessary to recognize real behavior of the structure. The exact solution is possible by complying semi-rigid joints with its stiffness or semi-rigidity (inverse of stiffness) in the calculation model. The value of joint stiffness could be identified by experimental research. The paper presents results of experimental studies of joint behavior in wood light-framed structures. These studies were carried out to define axial and rotational stiffness (and semi-rigidity) of the joints. The experiments was processed on small-scale specimens. The results of other experimental studies showed that both the full-scale and small-scale experiments in a good way illustrate the behavior of the structure. During the tests displacements of specific point of the joints were recorded. The tests of axial and rotational semi-rigidity was carried out independently for different types of joints. The axial semi-rigidity of joint was calculated as the ratio of joint displacement increase to loading force increase, while rotational semi-rigidity as the ratio of joint rotation increase to bending moment increase. The axial semi-rigidity was determined for two types of joint with restricted and permissible displacement in the axis of external load. Rotational semi-rigidity was determined according to the thickness of rotated element. The obtained results were presented as graphs describing semi-rigidity-to-stress relationships. The semi-rigidity was linked with stress because the tests were not provided on normal dimension specimen.

Keywords: semi-rigid joint, joint stiffness and semi-rigidity, small scale experiments

Przesłano do redakcji: 20.12.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Szymon TOPOLIŃSKI¹
Aleksandra GORĄCZKO²
Jacek SZTUBECKI³
Adam BUJARKIEWICZ⁴

MONITORING PRZEMIESZCZEŃ PIONOWYCH SŁUPÓW OBIEKTU POSADOWIONEGO NA PODŁOŻU EKSPANSYWNYM

W artykule przedstawiono metodykę oraz wstępne wyniki pomiaru przemieszczeń pionowych obiektu budowlanego posadowionego na podłożu ekspansywnym. Wrażliwość podłoża ekspansywnego na środowiskowe zmiany wilgotności, aktywujące jego zmiany objętościowe, wymaga podjęcia starannego i kompleksowego monitoringu obiektów podatnych na odkształcenia. W trakcie pomiarów terenowych prowadzone są okresowe geodezyjne pomiary przemieszczeń obiektu, z wykorzystaniem klasycznej metody niwelacji precyzyjnej. Uzyskane dotychczas wyniki przemieszczeń pionowych pozwoliły na nie dając pełnego obrazu zmiany geometrii łącznika. Do kompleksowej oceny przemieszczeń łącznika przewiduje się zastabilizowanie dodatkowych punktów kontrolnych na posadzce wewnątrz łącznika oraz w budynkach z nim połączonych. Utworzona w ten sposób sieć punktów pozwoli na monitorowanie przestrzennej pracy konstrukcji. Do pomiaru tej sieci planuje się wykorzystać współrzędnościową stację laserową TDRA6000 firmy Leica. Równolegle wykonywane są badania geotechniczne podłoża określające stan gruntu, na którym posadowiony jest obiekt. Analiza uzyskanych wyników badań geotechnicznych pozwala na określenie istniejących warunków gruntowodnych, na podstawie której ustalono dalszy program monitorowania obiektu. Wyniki okresowych badań posłużą do sformułowania wniosków dotyczących mechanizmu przemieszczeń obiektu posadowionego na gruntach ekspansywnych. oraz współrzędnościowej stacji laserowej TDRA 6000 firmy Leica.

Słowa kluczowe: grunty ekspansywne, osiadanie obiektów, monitoring, niwelacja precyzyjna

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Szymon Topoliński, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy; Zakład Geotechniki, Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz; tel. 608097760; szymon.topolinski@utp.edu.pl

² Aleksandra Gorączko, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy; Zakład Geotechniki, Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz; agora@utp.edu.pl

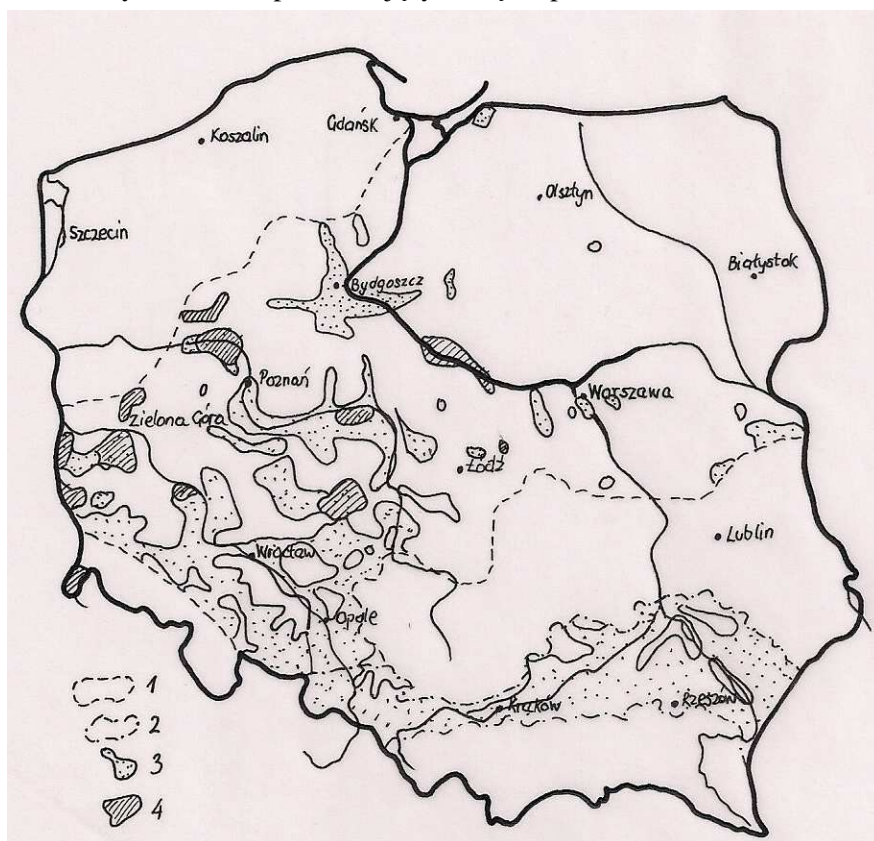
³ Jacek Sztubecki, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy; Zakład Geomatyki i Gospodarki Przestrzennej, Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz; jaceks@utp.edu.pl

⁴ Adam Bujarkiewicz, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy; Zakład Geomatyki i Gospodarki Przestrzennej, Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz; adamb@utp.edu.pl

1. Wprowadzenie

Płytko zalegające ility serii poznańskiej są przyczyną wielu awarii budowlanych [3, 4, 6, 8]. Na terenie Bydgoszczy i innych miast zalegają one bardzo często bezpośrednio w poziomie posadowienia obiektów budowlanych. Orientacyjny zasięg występowania iłłów na obszarze kraju przedstawiono na rysunku (Rys. 1.). Są to grunty silnie ekspansywne, czyli zmieniające swoją objętość wskutek zmian wilgotności. Zjawiska pęcznienia w polskich warunkach najczęściej są wywołane [5]:

- zmianą stosunków wodnych i wzrostem wilgotności podłoża,
- odciążeniem podłoża,
- zanieczyszczeniami przedostającymi się do podłoża.



Rys. 1 Mapa występowania gruntów ekspansywnych w Polsce [5]: 1- zasięg iłłów serii poznańskiej, 2- zasięg iłłów miocenu morskiego, 3- strefy płytkiego występowania iłłów (0-25m), 4- strefy intensywne zaburzeń glacictonicznych.

Fig. 1. Map of the occurrence of expansive soils in Poland [5]: 1- range of clays of the Poznan series, 2-range of marine myocene clays, 3-zone of shallow subsidence of clays (0-25m), 4-zone of intense glacial disturbances.

Znaczący skurcz gruntów ekspansywnych w podłożu może być wywołany przesuszeniem ładu przez korzenie drzew i krzewów lub nieodpowiednio izolowane ciepłociągi lub piece przemysłowe.

Fundamentowanie na tego typu podłożu wymaga szczególnej uwagi zarówno w fazie projektowania, wykonawstwa, jak i użytkowania obiektu. W przypadku zagrożenia wystąpieniem awarii bardzo ważny jest monitoring przemieszczeń i stanu technicznego obiektu, a także stanu podłoża ilastego. Pozwala on ocenić intensywność i zasięg zmian wilgotnościowych prowadzących do zmian objętości podłoża fundamentowego oraz ewentualną tendencję tych zmian. Prawdłowo zaplanowane i wykonane okresowe obserwacje geodezyjne i wizje lokalne umożliwiają ocenę stanu konstrukcji i determinują bezpieczne użytkowanie obiektów inżynierskich posadowionych na podłożu ekspansywnym.

W artykule przedstawiono wyniki wstępnych badań przemieszczeń obiektu posadowionego na gruntach ekspansywnych. Uzyskane rezultaty przemieszczeń wraz z oceną stanu podłoża ilastego zalegającego w poziomie posadowienia słupów, pozwoliły na określenie dalszego programu monitorowania obiektu. Monitoring prowadzony jest zgodnie z zaleceniem przeprowadzonej w 2016 roku ekspertyzy ustalającej przyczyny uszkodzeń budynku Auditorium Novum (wraz z łącznikiem) i osiadań terenu przyległego do budynków Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy [9].

2. Obiekt badań

Badany obiekt stanowi nadziemny łącznik komunikacyjny pomiędzy Auditorium Novum, wznoszonym w latach 2000-2001, a starszym budynkiem kompleksu dydaktycznego (budynek 2.1) (Rys. 2.). Do niedawna pod łącznikiem, wzdłuż



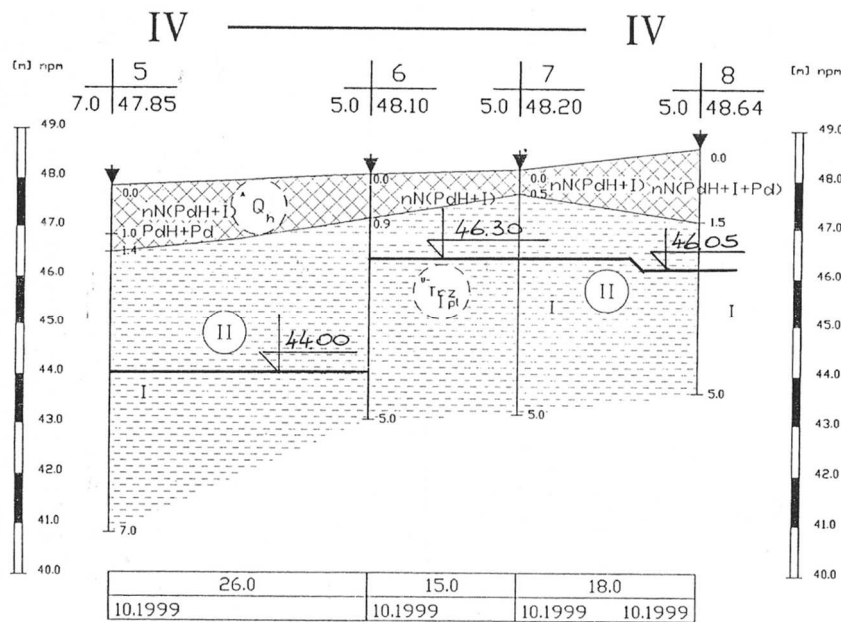
Rys. 2. Widok ogólny łącznika od strony Auditorium Novum

Fig. 2. General view of the skywalk from Auditorium Novum side

chodnika między budynkami, rosły kilkudziesięcioletnie topole. Cały rząd tych drzew został usunięty kilka lat temu. W podłożu pod łącznikiem przebiega sieć wodociągowa, kanalizacyjna, gazowa, elektryczna i telekomunikacyjna.

Konstrukcja łącznika jest żelbetowa. Podciągi z płytą dolną, słupy i podciągi stropodachowe tworzą przestrzenny szkielet. Jako wypełnienie szkieletu nośnego zastosowano cegłę kratówkę. Konstrukcja wsparta jest na 12 słupach. Stopy fundamentowe słupów są żelbetowe, monolityczne wspólne dla każdego dwóch sąsiednich słupów. Posadowione są na różnych głębokościach: około 4,0 m p.p.t. od strony południowej (bezpośrednio przy budynku Auditorium Novum) (rzędna 44,00 m n.p.m.); 1,95 m p.p.t. (rzędna 46,05 m n.p.m.) od strony północnej przy budynku 2.1 oraz 1,70 m p.p.t. (rzędna 46,30 m n.p.m.) dla czterech środkowych słupów [7, 9].

W poziomie posadowienia stóp fundamentowych występują grunty ekspansywne: ility lokalnie przewarstwione pyłami, zalegające od 0,5 do 1,5 m p.p.t. (Rys. 3). Charakteryzują się wysokimi wartościami granic płynności ($w_L = 101,8\div 136,4\%$) oraz wskaźnikiem plastyczności ($I_P = 70,0\div 99,1\%$) [10]. Według klasyfikacji ekspansywności gruntów [5] uzyskane wyniki badań świadczą, że grunty te zaliczają się do bardzo ekspansywnych, tzn. wykazujących zdolność do zmian objętościowych w zależności od wilgotności. W momencie ich badania na etapie



Rys. 3. Przekrój geotechniczny (na podstawie [10]) z zaznaczeniem poziomów posadowienia poszczególnych słupów (lokalizacja przekroju zaznaczona jest na Rys. 4)

Fig.3. Geotechnical cross-section (based on [10]), showing the level of foundation of individual columns (cross-sectional location is shown in Fig. 4)

poprzedzającym wznoszenie budynku Auditorium Novum wraz z łącznikiem w 1999 roku [10] były w stanie twardoplastycznym i półzwardym. Do projektowania zaproponowano przyjęcie stopnia plastyczności $I_L = 0,05$. Z badań wykonanych na potrzeby ekspertyzy [9] wynika, że nie uległ on istotnej zmianie. Świadczy to o tym, że podłoże pod obiektem zachowuje stabilność wilgotnościową i nie aktywizuje swych cech ekspansyjnych.

Konstrukcja łącznika od wewnątrz obudowana jest płytami gipsowo – kartonowymi, które od wielu lat wykazują duże spękania i rozwarstwienia. Według ekspertyzy z 2016 roku [9] w odsłonięciach, wykonanych w miejscach największych uszkodzeń płyt gipsowo-kartonowych, konstrukcja żelbetowa (słupy, podciąg i płyta w poziomie podłóg) nie wykazuje poważniejszych uszkodzeń. Na styku podciągu z mурowym wypełnieniem ścian występują rozwarstwienia poziome, natomiast spękania konstrukcji mурowej wzdłuż spoin jak również przez cegłę. Widoczne są także drobne, biegnące po stykach płyt prefabrykowanych, spękania stropu. Ponadto stwierdzono uszkodzenia w strefie dylatacji na styku z budynkami skomunikowanymi łącznikiem (Rys. 4).



Rys. 4. Strefa dylatacji łącznika (po lewej od strony wschodniej, po prawej od strony zachodniej)

Fig. 4. Dilatation zone of the skywalk on the east and west side (on the left from the east, on the right from the west)

W roku 2016 stan techniczny łącznika oceniono jako średni [9], nie stwarzający zagrożenia dla bezpieczeństwa użytkowania obiektu. Jednak zalecono działania zabezpieczająco-naprawcze.

W lipcu 2017 roku autorzy rozpoczęli systematyczny, kompleksowy monitoring geodezyjny i geotechniczny obiektu. Ma on na celu ustalenie przyczyn uszkodzeń konstrukcji i wprowadzenie działań zapobiegających ich dalszemu występowaniu w przyszłości.

3. Metodyka badań

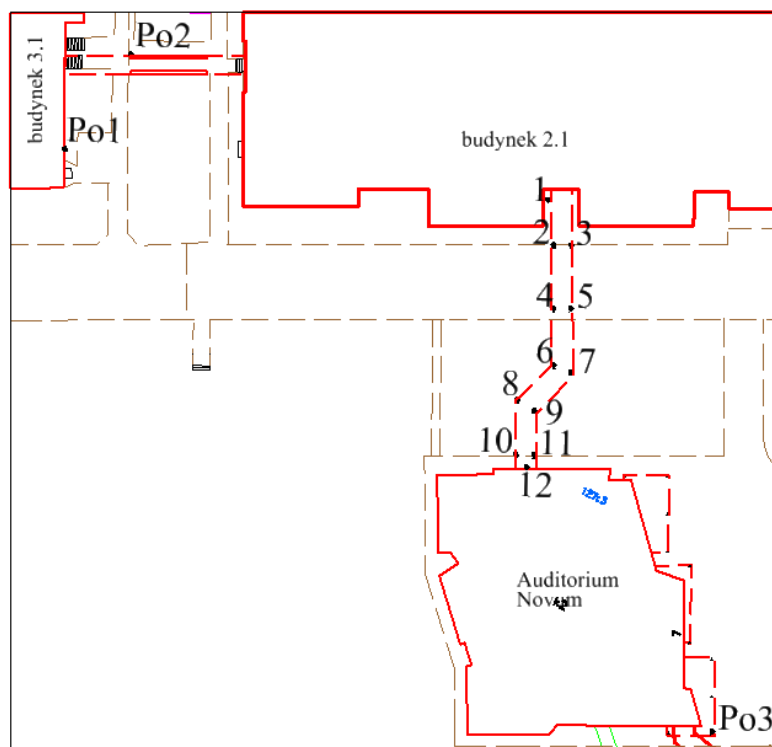
Okresowa kontrola przemieszczeń obiektu wykazującego już uszkodzenia i wymagającego podjęcia kroków naprawczych pozwala na racjonalną ocenę koniecznych prac remontowych. Dla obiektu badań przewidziano monitorowanie zarówno przemieszczeń pionowych podpór, a także w razie konieczności przemieszczeń pionowych i poziomych konstrukcji zasadniczej łącznika. Interwał obserwacji to okres 2-4 miesięcy, który uzależniony jest od temperatury i ilości opadów.

Wyznaczenie przemieszczeń pionowych słupów konstrukcji wykonywane jest metodą niwelacji precyzyjnej z zastosowaniem niwelatora Ni007. W celu realizacji badań założono sieć złożoną z 15 reperów. Jedenaście z nich (o numerach 1-11) umieszczono na słupach przedmiotowego łącznika, jeden (numer 12) w ścianie przyległego do łącznika budynku Auditorium Novum, a trzy, stanowiące zbiór punktów odniesienia, na stabilnych budynkach sąsiednich. Punkty kontrolne zamocowane w dolnej części słupów pokazano na Rys. 5. Schemat sieci pomiarowej przedstawiony został na Rys. 6.



Rys. 5. Repery posadowienie na badanych słupach (po lewej) oraz stabilizacja repera nr 10 (po prawej)

Fig. 5. Benchmarks placed on the tested columns (on the left) and stabilization of the benchmark No. 10 (on the right)

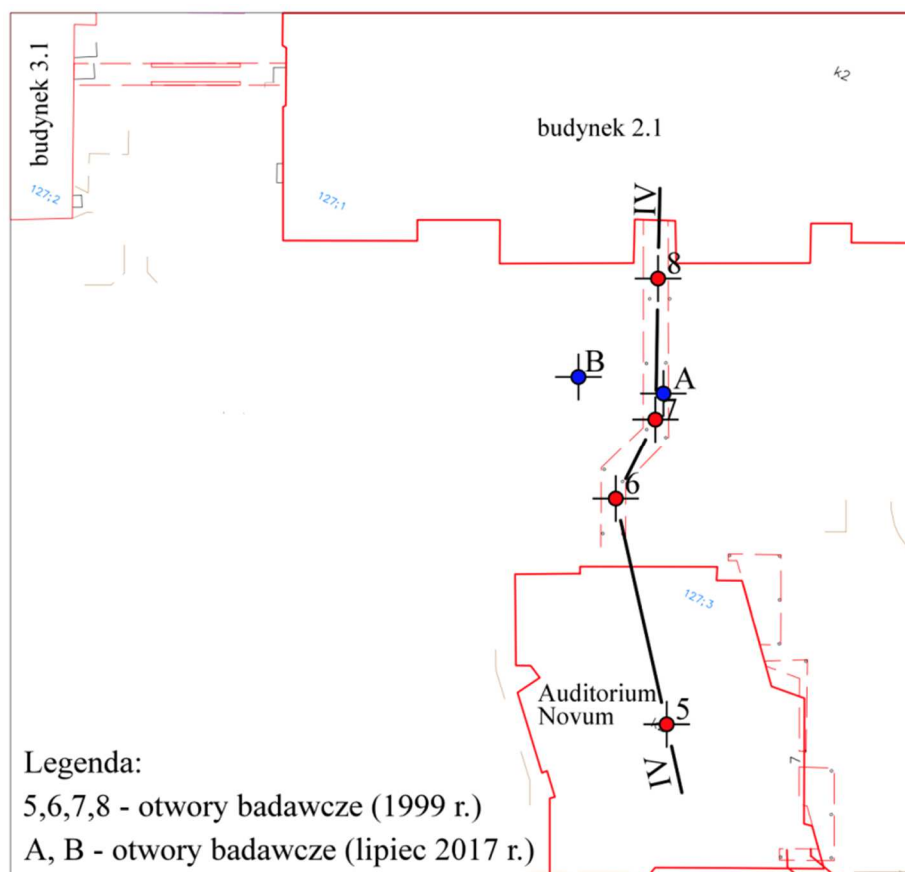


Rys. 6. Schemat rozmieszczenia reperów kontrolnych (1-12) oraz reperów odniesienia (Po1, Po2, Po3)

Fig. 6. Diagram of the location of the test benchmarks (1-12) and reference benchmarks (Po1, Po2, Po3)

Dotychczasowe badania pozwoliły stwierdzić, że wyznaczenie tylko przemieszczeń pionowych słupów zewnętrznych nie daje pełnego obrazu zmiany geometrii łącznika. Do kompleksowej oceny przemieszczeń łącznika przewiduje się zastabilizowanie dodatkowych punktów kontrolnych na posadzce wewnątrz łącznika oraz w budynkach z nim połączonych. Utworzona w ten sposób sieć punktów pozwoli na monitorowanie przestrzennej pracy konstrukcji. Punkty te stabilizowane będą w postaci podkładek o odpowiednich wymiarach. Mocowane będą do posadzki wewnątrz łącznika w miejscach jego połączenia z podporami. Dla punktów sieci wyznaczone będą przemieszczenia 3D. Do pomiaru tej sieci planuje się wykorzystać współrzędnościową stację laserową TDRA6000 firmy Leica, która wykorzystując precyzyjny tryb pomiaru na pryzmat 1.5" RRR daje możliwość wyznaczenia przemieszczeń statycznych i dynamicznych 3D z dokładnością rzędu 0,2mm. Proponowana technologia wraz z odpowiednim oprogramowaniem jest doskonałym narzędziem pozwalającym na monitorowanie obiektów inżynierskich [1, 2]. Wyznaczone przemieszczenia 3D pozwolą na określenie wartości kątów skręcenia górnej części łącznika, a ich składowe pionowe porównywane będą z przemieszczeniami reperów zewnętrznych.

Równoległe do geodezyjnych pomiarów przemieszczeń wiercone będą otwory geotechniczne, do których wykonania wykorzystywany będzie małosrednicowy, ręczny zestaw wierzący o średnicy 70 mm. Badania geotechniczne pozwolą na określenie stopnia wilgotności iłu podłoża w rejonie posadowienia podpór łącznika. Lokalizację otworów przedstawiono na Rys. 7.



Rys. 7. Lokalizacja otworów geotechnicznych.

Fig. 7. Location of geotechnical boreholes.

4. Wyniki badań

Na obecnym etapie badań zrealizowano dwa pomiary sieci: pomiar 0, w dniu 21 lipca 2017r. oraz pomiar kontrolny 1 w dniu 4 września 2017r. Pomiary wykonano w warunkach optymalnych, minimalizujących wpływ czynników pogodowych na dokładność realizowanych pomiarów. Na podstawie wykonanych pomiarów obliczono przemieszczenia pionowe reperów posadowionych

na podporach łącznika. Przed każdym pomiarem sieci przeprowadzono sprawdzenie i rektyfikację niwelatora. Wykonana analiza punktów odniesienia wykazała ich stałość pomiędzy seriami pomiarowymi. Wyniki tych przemieszczeń oraz wyznaczone w procesie wyrównania ich błędy przedstawiono w Tab. 1.

Tabela 1. Wartości wyznaczonych przemieszczeń reperów oraz ich błędy

Table 1. Values of determined displacement of the benchmarks and their errors

Reper	Przemieszczenie pomiar 0 – pomiar 1 dZ [mm]	m _{aZ} [mm]
1	-0,33	0,03
2	-0,30	0,02
3	-0,25	0,03
4	-0,64	0,03
5	-0,56	0,03
6	-0,35	0,04
7	-0,24	0,04
8	0,12	0,03
9	0,13	0,02
10	0,06	0,03
11	-0,08	0,03
12	0,08	0,02

Wyniki przemieszczeń pionowych pomiędzy pomiarami wyjściowym i pierwszym wykazały nierównomierne przemieszczenia pionowe podpór łącznika. Maksymalne zaobserwowane przemieszczenia wystąpiły dla reperów nr 4 oraz 5 i wyniosły odpowiednio -0,64mm i -0,56mm, które z uwagi na krótki okres między pomiarami należy ocenić jako znaczne. Dla reperów położonych bliżej budynku Auditorium Novum zauważyć można zmniejszanie się wartości przemieszczeń, natomiast repery posadowione najbliżej budynku nie wykazały przemieszczeń.

Badania geotechniczne przeprowadzone w miejscach pokazanych na Rys. 7 wykazały, że wilgotność iltu w strefie stropowej (do 1,0-2,0m p.p.t.) jest podwyższona, a stan gruntu określono jako twaroplastyczny. Poniżej poziomu 2,0m, w poziomie posadowienia fundamentów, stan gruntu zdefiniowano na granicy stanu plastycznego i półzwarłego o średnim stopniu plastyczności $I_L = 0,04$, co jest wartością porównywalną do wyników uzyskanych rok wcześniej według [9].

5. Podsumowanie i wnioski

Zinwentaryzowane w roku 2016 [9] uszkodzenia badanej konstrukcji obiektu budowlanego zostały jednoznacznie powiązane ze zróżnicowanym osiadaniami podpór, wynikającym z ruchów podłoża ekspansywnego w pierwszej fazie

jego eksploatacji. Zalegające w poziomie posadowienia obiektu iły przesuszane przez korzenie drzew ulegały skurczowi powodując potencjalnie nierównomierne osiadania fundamentów. W naszej strefie klimatycznej oddziaływanie korzeni drzew jest jedną z najczęstszych przyczyn nadmiernego skurczu iłów w strefie fundamentowej [4, 5, 8]. Po usunięciu drzew z bezpośredniego sąsiedztwa obiektu badań, co nastąpiło po kilku latach użytkowania i wystąpieniu pierwszych uszkodzeń łącznika, stan iłu w podłożu zaczął się stabilizować, a wilgotność ustabilizowała się na pierwotnym poziomie, co potwierdziły badania geotechniczne wykonane do ekspertyzy z 2016r. [9].

Przeprowadzona w lipcu bieżącego roku, podczas pomiaru 0, kontrola stanu podłoża w otworach, zlokalizowanych w obrębie strefy posadowienia łącznika, potwierdza fakt stabilizacji wilgotności iłu w strefie fundamentowej.

Jednocześnie wykonane w okresie od lipca do września pomiary przemieszczeń pionowych wykazały znaczne, jak na tak krótki okres badań, dochodzące do 0,64 mm, osiadania niektórych podpór łącznika. Dotyczy to środkowego fundamentu (reper 5 i 6), posadowionego na głębokości 1,7 m p.p.t i zlokalizowanego w pobliżu ciągów instalacyjnych. Wskazuje to na konieczność wykonywania kolejnych obserwacji geodezyjnych w celu ustalenia ich dalszego przebiegu i zastosowania ewentualnych kroków zaradczych. Podjęto również decyzję o niezależnym monitorowaniu przemieszczeń zarówno pionowych jak i poziomych części nadziemnej łącznika dla określenia przestrzennej pracy konstrukcji.

Literatura

- [1] Bujarkiewicz A., Sztubecki J., Sztubecka M.: Badania przemieszczeń konstrukcji mostowych. Materiały Budowlane, vol. 503, nr. 7, 2014, s. 50-51.
- [2] Bujarkiewicz A., Sztubecki J., Sztubecka M.: Współrzędnościowa stacja laserowa jako narzędzie wspomagające badanie przemieszczeń obiektów mostowych. Logistyka, nr 6, 2014, s. 10393-10399.
- [3] Gorączko A.: Badanie przemieszczeń pionowych podłoża ekspansywnego w Bydgoszczy na przykładzie wybranych obiektów (praca doktorska). Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy s.123, 2007.
- [4] Gorączko A.: Fundamenty na gruntach ekspansywnych. Inżynier Budownictwa, nr 1, 2017.
- [5] Instrukcja 296, Posadowienie budowli na gruntach ekspansywnych, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 1990.
- [6] Kumor M.K.: Iły ekspansywne podłoża budowlanego Bydgoszczy. Wydawnictwa Uczelniane UTP w Bydgoszczy. s. 235, 2016.
- [7] Projekt budowlano-wykonawczy. Budynek audytoryjny kompleksu obiektów ATR w Fordonie. Ul. prof. S. Kaliskiego 7 w Bydgoszczy. Biuro Projektowo-Badawcze Budownictwa Ogólnego Miastoprojekt-Bydgoszcz. Bydgoszcz, grudzień 1999.
- [8] Przysański J. [red.]: Posadowienie budowli na gruntach ekspansywnych. Rozprawy nr 244, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, s. 87, 1991.

- [9] Zawalski A.: Ekspertyza ustalająca przyczyny uszkodzeń budynku Auditorium Novum (wraz z łącznikiem) i osiadań terenu przy al. prof. S. Kaliskiego 7 w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2016.
- [10] Zawalski A., Woźniowski Z.: Geotechniczne warunki posadowienia budynku audytoryjnego ATR przy ul. Kaliskiego 7 w Bydgoszczy. Bydgoszcz, październik 1999.

MONITORING OF VERTICAL DISPLACEMENTS OF OBJECT COLUMNS FOUNDED ON EXPANSIVE SOILS

Summary

The article presents methodology and initial results of measurement of vertical displacements of a building object on an expansive soils. The sensitivity of the expansive soils to environmental changes of humidity, acting on its volumetric changes, requires careful and comprehensive monitoring of objects susceptible to deformation. During terrain measurements, periodic geodetic measurements of the object's displacement are carried out, using the classic method of precision leveling and the co-ordinate of the Leica TDRA 6000 Laser Station. In parallel geotechnical investigations of the subsoil determining the state of the soil on which the object is founded are performed. Analysis of the obtained results allows to determine the existing ground and water conditions, on the basis of which a further program of object monitoring has been established. The results of periodic surveys will be used to formulate conclusions about the mechanism of displacement of an object located on expansive soils.

Keywords: expansive soils, vertical displacements of objects, monitoring, precise leveling

Przesłano do redakcji: 13.09.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Krzysztof SORNEK¹
Mariusz FILIPOWICZ²

SYMULACJE DYNAMICZNE SYSTEMÓW OZE Z WYKORZYSTANIEM OPROGRAMOWANIA TRNSYS

Prawidłowe planowanie i projektowanie instalacji opartych na wykorzystaniu energii ze źródeł odnawialnych ma kluczowe znaczenie dla zapewnienia ich prawidłowej i efektywnej pracy. Aktualnie coraz większą popularność zyskują metody symulacji dynamicznych, które uzupełniają lub zastępują stosowane dotąd obliczenia statyczne. W niniejszym artykule przedstawione zostały wyniki symulacji dynamicznych przeprowadzonych z wykorzystaniem oprogramowania TRNSYS (Transient System Simulation Tool). Symulacje wykonane zostały dla dwóch przykładowych instalacji wykorzystujących energię promieniowania słonecznego: instalacji solarnej z kolektorami słonecznymi (fototermicznej) oraz instalacji fotowoltaicznej. Parametry obu systemów dostosowane zostały do typowych budynków jednorodzinnych. Przeprowadzone symulacje pozwoliły na określenie parametrów pracy badanych systemów, w tym ilości wytwarzanego ciepła, ilości generowanej energii elektrycznej, a także stopnia zmienności produkcji energii w rozważanym przedziale czasowym (365 dni) i wybranej lokalizacji (Kraków). Wyniki porównane zostały z wynikami obliczeń statycznych przeprowadzonymi z wykorzystaniem ogólnodostępnych narzędzi do projektowania instalacji solarnych i fotowoltaicznych. Analiza otrzymanych wyników pozwala wnioskować, że wykorzystanie symulacji dynamicznych na etapie projektowania instalacji OZE może istotnie pomóc w eliminacji wielu potencjalnych problemów eksploatacyjnych (w przypadku instalacji wykorzystujących energię promieniowania słonecznego jest to np. niska wydajność, przegrzewanie się elementów systemu itp.), a także zapewnić długotrwałą, bezpieczną eksploatację projektowanych instalacji.

Słowa kluczowe: komputerowe wspomaganie projektowania instalacji OZE, symulacje dynamiczne instalacji OZE, systemy fototermiczne, systemy fotowoltaiczne, TRNSYS

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Krzysztof Sornek, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie (AGH), Wydział Energetyki i Paliw, Katedra Zrównoważonego Rozwoju Energetycznego, Al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; tel. 126175094; krzysztof.sornek@agh.edu.pl

² Mariusz Filipowicz, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie (AGH)

1. Wprowadzenie

Komputerowe wspomaganie projektowania instalacji energetyki odnawialnej oraz symulacji ich działania stanowi istotny aspekt badań prowadzonych na całym świecie. Dostępne oprogramowanie można podzielić w zależności od przeznaczenia na trzy główne grupy:

- programy projektowe pozwalające na dobór typu i wielkości poszczególnych elementów instalacji,
- programy symulacyjne umożliwiające symulację parametrów funkcjonowania instalacji,
- programy narzędziowe oraz bazy danych.

Wśród zalet stosowania programów komputerowych przy projektowaniu i symulacji instalacji OZE wyróżnić można m.in. wyeliminowanie kosztów budowy prototypów, możliwość prowadzenia obliczeń charakteryzujących się dużą dokładnością, możliwość wykorzystania rzeczywistych danych pomiarowych oraz możliwość szybkiej zmiany poszczególnych elementów instalacji i optymalizacji ich parametrów [1].

W ramach prac opisanych w niniejszym artykule przeprowadzone zostały symulacje dynamiczne z wykorzystaniem oprogramowania TRNSYS (Transient System Simulation Tool). Symulacje przeprowadzone zostały dla przykładowych instalacji solarnej (fototermicznej) i fotowoltaicznej.

2. Metodyka badawcza

Prowadzone badania podzielone zostały na 3 etapy. W pierwszej części badań opracowano założenia projektowe instalacji solarnej i fotowoltaicznej oraz zdefiniowano parametry stosowanych urządzeń (z wykorzystaniem ogólnodostępnych narzędzi doborowych opartych na obliczeniach statycznych). W drugim etapie stworzone zostały modele rozważanych systemów w oprogramowaniu TRNSYS oraz przeprowadzone zostały symulacje dynamiczne ich działania. W trzecim etapie porównano wyniki otrzymane w symulacjach z wynikami doboru.

2.1. Symulacje systemów fototermicznych w TRNSYS

Oprogramowanie TRNSYS umożliwia prowadzenie symulacji dla różnych typów kolektorów słonecznych, w tym kolektorów płaskich i rurowo-próżniowych (reprezentowanych odpowiednio przez komponenty określone jako „Typ 1” i „Typ 71”). Komponenty te zawierają w sobie model obliczeniowy wydajności cieplnej oparty na równaniu kwadratowym, będącym uogólnieniem równania Hottel-Whilliera (1). Wydajność cieplna η pola kolektorów słonecznych określona jest z uwzględnieniem liczby modułów połączonych w szeregu i charakterystyki każdego modułu [2].

$$\eta = \frac{Q_u}{A \cdot I_T} = \frac{\dot{m} \cdot c_{pf} \cdot (T_o - T_i)}{A \cdot I_T} = F_R (\tau \alpha)_n - F_R \cdot U_{L,o} \frac{T_i - T_a}{I_T} \quad (1)$$

gdzie:

Q_u - ciepło generowane w kolektorach słonecznych, kJ/h;

A - powierzchnia apertury lub powierzchnia brutto pola kolektorów, m²;

I_T - promieniowanie słoneczne padające na powierzchnię kolektora, kJ/(h·m²);

\dot{m} - przepływ masowy w danych warunkach, kg/h;

c_{pf} - ciepło właściwe medium roboczego, kJ/(kg·K);

T_i - temperatura medium roboczego na wlocie do kolektora, K;

T_o - temperatura medium roboczego na wylocie z kolektora, K;

T_a - temperatura otoczenia, K;

F_R - współczynnik odprowadzania ciepła z kolektora, -;

τ - współczynnik przepuszczalności promieniowania słonecznego, -;

α - współczynnik absorpcji promieniowania słonecznego, -;

$U_{L,o}$ - ogólny współczynnik strat ciepłych kolektora na jedn. powierzchni, kJ/(h·m²·K).

Wartość współczynnika U_L nie jest stała. Biorąc pod uwagę zależność liniową pomiędzy U_L a różnicą ($T_i - T_a$), wydajność cieplna może być wyrażona w następującej postaci (2):

$$\eta = \frac{Q_u}{A \cdot I_T} = F_R (\tau \alpha)_n - F_R \cdot U_L \frac{T_i - T_a}{I_T} - F_R \cdot U_{L/T} \frac{(T_i - T_a)^2}{I_T} \quad (2)$$

gdzie:

U_L - współczynnik strat ciepłych kolektora na jedn. powierzchni, kJ/(h·m²·K);

$U_{L/T}$ - współczynnik strat ciepłych zależny od T, kJ/(h·m²·K²).

Równanie (2) może być przedstawione w postaci:

$$\eta = a_0 - a_1 \frac{T_i - T_a}{I_T} - a_2 \frac{(T_i - T_a)^2}{I_T} \quad (3)$$

gdzie:

a_0 - sprawność optyczna (maksymalna sprawność kolektora), -;

a_1 - współczynnik pierwszego rzędu w równaniu sprawności kolektora, -;

a_2 - współczynnika drugiego rzędu w równaniu sprawności kolektora, -.

Parametry a_0 , a_1 i a_2 podawane są przez producentów i dostępne są dla kolektorów testowanych zgodnie z obowiązującymi normami ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers). Ocena kolektorów dokonywana jest przez SRCC (Solar Rating and Certification Corporation).

2.2. Symulacje systemów fotowoltaicznych w TRNSYS

Moduły fotowoltaiczne reprezentowane są w TRNSYS przez komponent „Typ 194”. Komponent ten pozwala na symulowanie wydajności elektrycznej modułów fotowoltaicznych z wykorzystaniem modelu opartego na równoważnym obwodzie elektrycznym ogniwa, charakteryzowanym przez pięć parametrów: prąd powstający w wyniku promieniowania słonecznego I_L , prąd nasycenia diody w kierunku zaporowym I_0 , rezystancję szeregową R_s , rezystancję bocznikową R_{sh} oraz współczynnik a zdefiniowany zgodnie z równaniem (5) [3]. Model ten pozwala określić prąd oraz moc paneli przy danym napięciu, a także prąd i napięcie w punkcie maksymalnej mocy (MPP). Dodatkowo, możliwość jednoczesnej symulacji parametrów pracy zarówno modułów PV, jak i falownika, pozwala na bezpośrednie uwzględnienie wpływu falownika na wydajność systemu.

Prąd I określany w modelu dla równoważnego obwodu elektrycznego ogniwa fotowoltaicznego wyrażany jest wzorem:

$$I = I_L - I_0 \left[e^{\frac{V+IR_s}{a}} - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (4)$$

gdzie:

I_L - fotoprąd modułu, A;

I_0 - zaporowy prąd nasycenia, A;

V - napięcie diodowe, V;

I - prąd, A;

R_s - rezystancja szeregową modułów, Ω ;

R_{sh} - rezystancja bocznikowa modułów, Ω ;

a - parametr definiowany równaniem (5), -.

$$a \equiv \frac{N_s n_i k T_c}{q} \quad (5)$$

gdzie:

N_s - liczba modułów połączonych szeregowo, -;

n_i - współczynnik idealności diody, -;

k - stała Boltzmanna, J/K;

T_c - temperatura modułu, K;

q - ładunek elektronu, C.

3. Wyniki badań

3.1. Założenia budowy instalacji fototermicznej i fotowoltaicznej

Na potrzeby doboru i symulacji założona została podstawowa konfiguracja instalacji solarnej, jako systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej (bez funkcji dogrzewania medium w instalacji c.o.) [4]. W skład instalacji

wchodzą: zespół kolektorów słonecznych, zasobnik c.w.u., pompa solarna, sterownik oraz inne elementy, których obecności nie uwzględnia się w modelu. Przyjęto następujące założenia doboru poszczególnych elementów:

- lokalizacja: Kraków,
- dobowe zużycie ciepłej wody użytkowej: $60 \text{ dm}^3/(\text{os} \cdot \text{doba})$,
- liczba osób: 4,
- zakładany solarny stopień pokrycia potrzeb energetycznych: 60%,
- temperatura zimnej wody: 10°C ,
- temperatura ciepłej wody w zbiorniku: 60°C ,
- typ kolektora: kolektor płaski,
- orientacja kolektorów względem stron świata: 0° (południe),
- nachylenie kolektorów: 45° .

W oparciu o przedstawione założenia oraz obliczenia prowadzone tradycyjną metodą z wykorzystaniem przykładowego narzędzia do doboru elementów instalacji solarnej, dobrane zostały cztery kolektory słoneczne o parametrach podanych w tab. 1 (pracujące w połączeniu szeregowym) oraz jednowężownicowy zasobnik c.w.u. o pojemności 300 dm^3 .

Tabela 1. Podstawowe parametry wybranych kolektorów słonecznych

Table 1. The basic parameters of selected solar thermal collectors

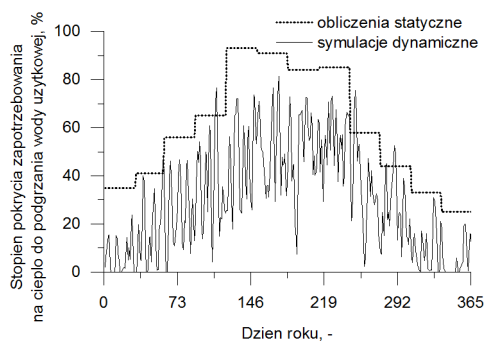
Parametr kolektora	Wartość	Jednostka
Powierzchnia brutto	2,03	m^2
Powierzchnia absorbera	1,84	m^2
Materiał absorbera	miedź	-
Sprawność optyczna	0,79	-
Medium robocze	glikol propylenowy + woda	
Zalecany przepływ medium	45-50	dm^3/h

Również w przypadku instalacji fotowoltaicznej założono standardową budowę systemu, dostosowaną do potrzeb budynku jednorodzinnego (jako pomocnicze źródło energii elektrycznej) [5]. W skład instalacji wchodzi cztery moduły fotowoltaiczne o mocy 250 W_p każdy (charakteryzujące się prądem nominalnym $I_{MPP} = 8,3 \text{ A}$ oraz napięciem nominalnym $U_{MPP} = 30,2 \text{ V}$), falownik, kontroler napięcia oraz zespół akumulatorów. Założono zastosowanie modułów polikryształicznych zorientowanych na południe i nachylonych pod kątem 45° (identycznie jak w przypadku kolektorów słonecznych). Jako lokalizację wybrano Kraków.

Omawiane instalacje zostały zdefiniowane w TRNSYS w postaci schematów funkcyjnych (odpowiadających rzeczywistym założeniom).

3.2. Porównanie wyników otrzymanych w toku obliczeń statycznych oraz symulacji dynamicznych

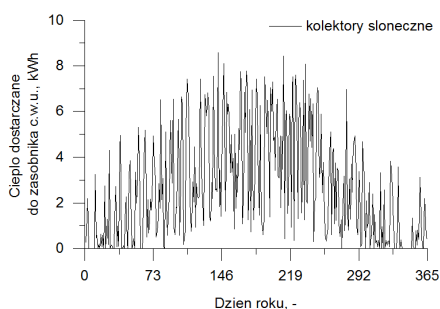
Porównanie wyników obliczeń statycznych oraz symulacji dynamicznych dla instalacji solarnej przedstawione zostało na rys. 1. Analizując dane z rys. 1 można zauważyć, iż wartości solarnego stopnia pokrycia zapotrzebowania na ciepło określone w toku symulacji są mocno fluktuujące i wyraźnie niższe niż w przypadku obliczeń statycznych.



Rys. 1. Wyniki obliczeń solarnego stopnia pokrycia zapotrzebowania na ciepło

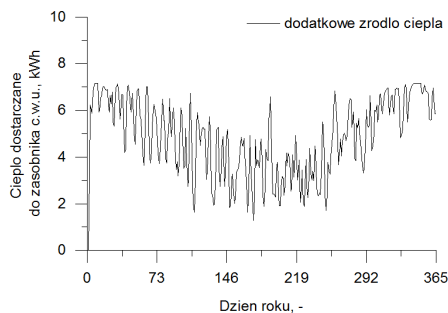
Fig. 1. Calculated fraction of domestic hot water requirement met by collectors

W efekcie wymagane jest dostarczenie dodatkowej energii do zasilenia pomocniczego źródła ciepła (rys. 2a, 2b). Jako pomocnicze źródło ciepła stosuje się najczęściej grzałki elektryczne lub kotły grzewcze (np. gazowe).



Rys. 2a. Ilość ciepła dostarczanego przez kolektory słoneczne

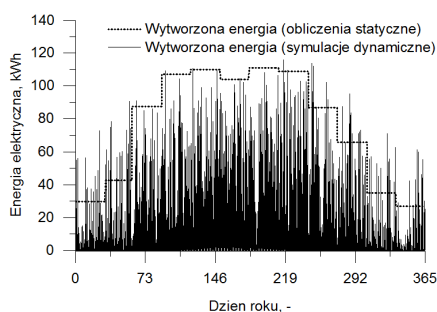
Fig. 2a. The amount of heat generated in collectors



Rys. 2b. Ilość ciepła dostarczanego przez dodatkowe źródło

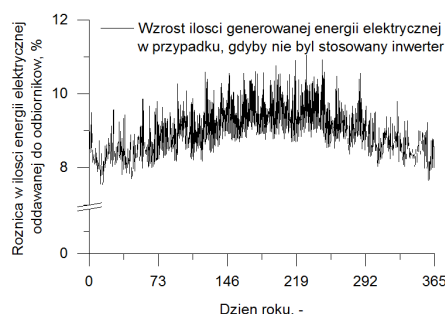
Fig. 2b. The amount of heat generated in auxiliary heater

Również symulacje dynamiczne przeprowadzone dla instalacji fotowoltaicznej pozwoliły na szczegółowe określenie parametrów jej pracy. Na rys. 3 przedstawiona została spodziewana produkcja energii elektrycznej w ciągu roku (także w tym przypadku różnica pomiędzy rezultatami uzyskanymi w drodze obliczeń statycznych a rezultatami symulacji dynamicznych są znaczące). Z kolei na rys. 4 pokazane zostało, o ile więcej energii elektrycznej byłoby teoretycznie możliwe do uzyskania z instalacji paneli fotowoltaicznych w przypadku, gdyby nie był stosowany inwerter (przedstawiona krzywa obejmuje wyłącznie godziny pracy instalacji oraz odnosi się do przypadku zastosowania inwertera o mocy maksymalnej 1 kW).



Rys. 3. Wyniki obliczeń ilości energii elektrycznej wytwarzanej w instalacji PV

Fig. 3. The amount of electricity generated in PV system



Rys. 4. Różnica w ilości wytwarzanej energii elektrycznej przy zastosowaniu inwertera

Fig. 4. The difference in electricity generation when inverter is used

4. Wnioski

Porównując wyniki otrzymane w drodze doboru opartego na obliczeniach statycznych oraz symulacji dynamicznych przeprowadzonych z wykorzystaniem TRNSYS, zauważyć można znaczącą różnicę w dokładności obliczeń.

Symulacje dynamiczne prowadzone z krokiem czasowym 1h oraz wykorzystujące dane z bazy pogodowej Meteonorm (uwzględniające nie tylko wartości natężenia promieniowania słonecznego, ale też inne parametry wpływające na pracę urządzeń) pokazują, że wielkość produkcji ciepła w instalacji solarnej oraz energii elektrycznej w instalacji fotowoltaicznej jest mniejsza od wielkości otrzymanej w narzędziu doborowym.

Biorąc pod uwagę fakt, iż symulacje dynamiczne w TRNSYS charakteryzują się wysokim stopniem odwzorowania rzeczywistości (w literaturze można znaleźć badania, gdzie stopień ten jest większy niż 90%), ich zastosowanie na etapie projektowania instalacji solarnych i fotowoltaicznych (a także innych systemów OZE) może istotnie pomóc w eliminacji wielu potencjalnych problemów (np. niska wydajność, przegrzewanie się elementów systemu itp.), a także zapewnić długotrwałą, bezpieczną eksploatację projektowanych instalacji.

Praca wykonana w ramach działalności statutowej WEiP, AGH w Krakowie „Badania uwarunkowań zrównoważonego rozwoju energetycznego” z wykorzystaniem infrastruktury badawczej Centrum Energetyki AGH.

Literatura

- [1] Kalogirou S., Papamarcou C., Modelling of a Thermosyphon Solar Water Heating System and Simple Model Validation, *Renewable Energy*, vol. 21, 2000, pp. 471-493.
- [2] Duffie J.A., William A.B., *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley & Sons, Inc., New York 1991.
- [3] DeSoto W., Klein S.A., Beckman W.A., Improvement and validation of a model for PV array performance, *Solar Energy Journal*, vol. 80, 2006, pp. 78-88.
- [4] Sornek K., Rzepka K., Mirowski T., Uwarunkowania środowiskowe projektowania budynków energooszczędnych i pasywnych: aktywne i pasywne systemy słoneczne, *Rynek Instalacyjny*, nr 3, 2015, s. 47-52.
- [5] Mirowski T., Sornek K., Potencjał energetyki prosumenckiej w Polsce na przykładzie mikroinstalacji fotowoltaicznych w budownictwie indywidualnym, *Polityka Energetyczna*, t. 18, z. 2, 2015, s. 73-84.

THE SIMULATION OF THE RENEWABLE ENERGY SYSTEMS OPERATION USING TRNSYS SOFTWARE

S u m m a r y

The proper design of renewable energy based systems is really important to provide their efficient and safe operation. Nowadays, more and more popular are dynamic simulations which are characterized by many advantages in comparison to typical, static calculations. During described study, the simulations of solar thermal and photovoltaic installations designed for a typical residential building were conducted in the TRNSYS software. Carried out calculations allowed to determine the heat and power generation in the discussed systems in each case as well as to estimate the efficiency of considered installations. Obtained results were compared with the results from other available tool based on the static calculations. It may be concluded, that using dynamic simulations at the designing stage of renewable energy based systems may help to avoid many exploitation problems (including low efficiency, overheating etc.) and allows to provide safe exploitation of such installations.

Keywords: renewable energy system design, photovoltaic system, solar water heating system, dynamic simulations, TRNSYS

Przesłano do redakcji: 23.12.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Paweł P. WŁODARCZYK¹
Barbara WŁODARCZYK²

WYKORZYSTANIE ZUŻYTEGO OLEJU RZEPAKOWEGO DO ZASILANIA OGNIWA PALIWOWEGO

Stały rozwój gospodarczy państw generuje znaczne ilości odpadów, przy jednoczesnym wysokim zapotrzebowaniu na energię elektryczną. Technologia, która potencjalnie mogłaby połączyć wykorzystanie odpadów wraz z produkcją energii jest technologia ogniw paliwowych. Ogniwa takie przetwarzają energię paliwa bezpośrednio w energię elektryczną z pominięciem procesu spalania paliwa. Niektóre substancje odpadowe mogłyby stanowić dla nich potencjalne paliwo. Oleje roślinne (również odpadowe) stanowią obecnie alternatywę dla oleju napędowego. Powinny więc również stanowić alternatywę dla paliw do zasilania ogniw paliwowych. Autorzy starają się w pracy przedstawić nowy kierunek zagospodarowania odpadowego oleju rzepakowego w sposób bezpośredni z pominięciem procesu spalania. Praca przedstawia elektrotlenianie oleju rzepakowego na gładkiej elektrodzie platynowej w wodnym roztworze H_2SO_4 . Jako pośrednik, pozwalający na uzyskanie emulsji dodawanej do elektrolitu, wykorzystano Syntanol DS-10. Pomiarów dokonano w reaktorze szklanym sprzężonym z potencjostatem. Uzyskana gęstość prądu wyniosła 10 mA/cm^2 . Wykazano, więc możliwość zasilania ogniwa paliwowego zużytym olejem rzepakowym. W prototypowym ogniwie zasilanym takim olejem uzyskano 53 mW mocy.

Słowa kluczowe: ogniwa paliwowe, olej rzepakowy, paliwo, inżynieria środowiska, odnawialne źródła energii

1. Wprowadzenie

Ogniwa paliwowe są urządzeniami pozwalającymi na wykorzystanie odnawialnych źródeł energii [1-4]. Główną zaletą tego typu ogniw jest wysoka sprawność [1, 2, 4-6], a najistotniejszym parametrem jest gęstość uzyskiwanego

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Paweł P. Włodarczyk, Uniwersytet Opolski, Wydział Przyrodniczo-Techniczny, Samodzielna Katedra Inżynierii Procesowej, ul. Dmowskiego 7-9, 45-365 Opole; tel. 77 4016706; pawel.wlodarczyk@uni.opole.pl

² Barbara Włodarczyk, Uniwersytet Opolski, Wydział Przyrodniczo-Techniczny, Samodzielna Katedra Inżynierii Procesowej, ul. Dmowskiego 7-9, 45-365 Opole; tel. 77 4016717; barbara.wlodarczyk@uni.opole.pl

prądu opisana funkcją wykładniczą Butlera-Volmera [7]. Jednak pomimo szerokiej wiedzy z dziedziny fizyki ciała stałego i kinetyki reakcji katalitycznych, zarówno dobór katalizatora, jak i dobór paliwa do konkretnego katalizatora przeprowadzany jest głównie metodami doświadczalnymi [8]. W przypadku katalizatorów konieczne jest poszukiwanie nowych, tańszych rozwiązań nie zawierających metali szlachetnych [9-11]. Natomiast w przypadku nowych paliw konieczne jest w pierwszej kolejności ustalenie możliwości ich utleniania i wyznaczenie gęstości prądu na katalizatorze wzorcowym (Pt) [7, 8].

Wpływ pracy ogniwa paliwowego na środowisko zależy w dużej mierze od stosowanego w nich paliwa. Najczystszy i najczęściej stosowanym paliwem jest wodór [2, 12-14]. Problem z jego przechowywaniem wymusza poszukiwanie nowych paliw, a w szczególności wskazane jest zwrócenie uwagi na biopaliwa [15-17]. Ponadto biopaliwa mogą być produktami ubocznymi z innych procesów. Jednym z takich produktów może być olej rzepakowy, który jest wykorzystywany najczęściej w celach spożywczych. Oleje odpadowe pochodzenia biologicznego mogą stanowić potencjalny surowiec do wytwarzania biopaliw obniżających emisję ditlenku węgla w cyklu życia biopaliwa [18-20]. Takie wykorzystanie olejów odpadowych wiąże się jednak z ich spalaniem. Z tego względu w pracy podjęto próbę analizy możliwości wykorzystania zużytego oleju rzepakowego jako substancji czynnej do produkcji energii elektrycznej w ogniwach paliwowych w sposób bezpośredni (z pominięciem procesu spalania).

2. Materiały i metodyka

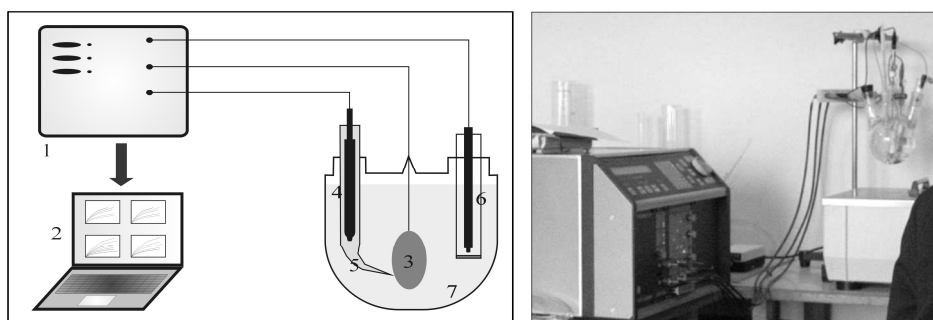
2.1. Materiał badawczy

Olejem wykorzystanym do badań był zużyty olej rzepakowy – wg katalogu odpadów kod 02 03 [21]. Pochodził on z kilku punktów gastronomicznych. Pozyskane oleje zmieszano w równych udziałach w celu uzyskania uśrednionej próbki. Olej rzepakowy charakteryzuje się niskim przewodnictwem elektrycznym, aby więc zapewnić wyższą przewodność zastosowano detergent – Syntanol DS-10 [22-23, 25-26]. Zastosowanie detergentu (uzyskanie emulsji) umożliwiło ponadto dodanie oleju do elektrolitu. Wybór Syntanolu DS-10 był podyktowany również jego pełną biodegradowalnością [24, 25].

W celu przygotowania zużytego oleju rzepakowego do elektrotleniania, przygotowano emulsję [26]. Olej rzepakowy wstępnie filtrowano przy pomocy filtra polipropylenowego (20 μ m), a następnie przy pomocy standardowego filtra motoryzacyjnego dla oleju napędowego (3 μ m).

2.2. Stanowisko pomiarowe

Pomiary przeprowadzono wykorzystując potencjostat Amel System 5000 (rys. 1) z reaktorem szklanym. Emulsję dodawano do elektrolitu (H_2SO_4). Elektrotlenianie przeprowadzono na gładkiej elektrodzie platynowej [7, 8]. Jako elektrodę porównawczą zastosowano półogniwo kalomelowe [27, 28].



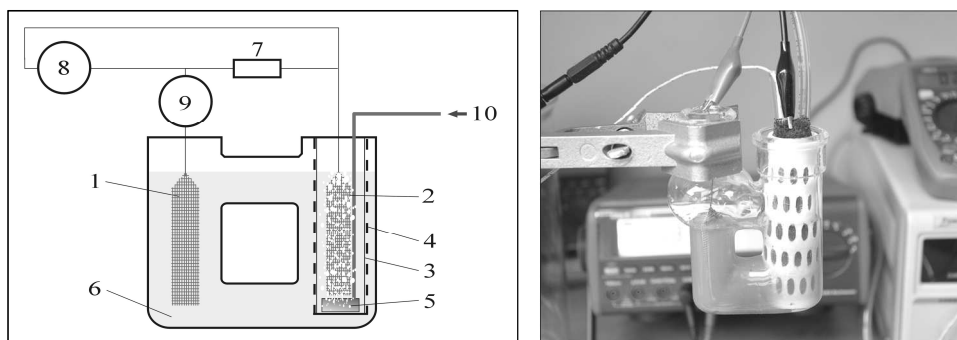
Rys. 1. Schemat i widok stanowiska pomiarowego elektrotleniania emulsji zużytego oleju rzepakowego [opracowanie własne]

1–potencjostat, 2–komputer, 3–elektroda robocza (Pt), 4–elektroda porównawcza (półogniwo kalomelowe), 5–kapilara Ługina, 6–elektroda pomocnicza, 7–elektrolit z emulsją zużytego oleju rzepakowego

Fig. 1. Scheme and view of research position for research of grape seed oil emulsion electrooxidation with Pt catalyst [own compilation]

1–potentiostat, 2–computer, 3–working electrode (Pt), 4–reference electrode (saturated calomel electrode), 5–Luggin capillary, 6–auxiliary electrode, 7–electrolyte with used canola oil emulsion

W następnej kolejności zbudowano prototypowe ogniwo paliwowe (rys. 2).



Rys. 2. Schemat i widok prototypowego ogniwa paliwowego zasilanego użytym olejem rzepakowym [opracowanie własne]

1–anoda platynowa, 2–katoda ze stopu Ni-Co, 3–membrana PEM (Nafion), 4–osłona PEM, 5–bełkotka, 6–elektrolit z emulsją zużytego oleju rzepakowego, 7–odbiornik prądu, 8–woltomierz, 9–amperomierz, 10–powietrze

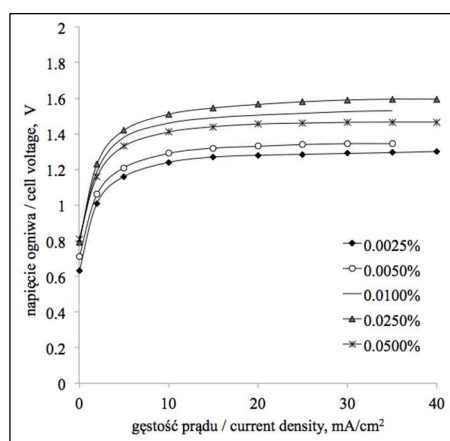
Fig. 2. Scheme and view of prototype fuel cell powering of used canola oil [own compilation]

1–Pt anode, 2–Ni-Co cathode, 3–PEM (Nafion), 4–PEM cover, 5–bubbler, 6–electrolyte with emulsion of used canola oil, 7–electricity receiver, 8–voltmeter, 9–amperemeter, 10–air

Anodę wykonano z siatki platynowej (4,0x1,5 cm). Natomiast jako katodę siatkę z katalizatorem Ni-Co (3,0x2,0 cm) [27, 29]. Katoda była stale napowietrzana. Jako membranę PEM wykorzystano Nafion 117 [30], który umieszczono w osłonie z tworzywa ABS. Osłona została wydrukowana w technologii druku 3D (grubość warstwy 140 μ m).

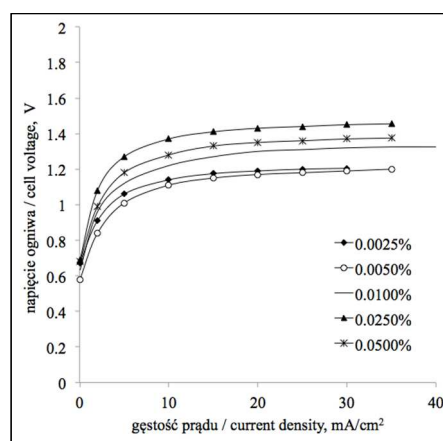
3. Wyniki badań

W pierwszej kolejności dokonano elektROUTLENIA tylko detergentu Syntanol DS-10 [26, 27]. ElektROUTLENIA samego detergentu pozwoliło na określenie czy uzyskiwana gęstość prądu nie jest generowana jedynie z elektROUTLENIA czystego detergentu. Drugim etapem było, więc elektROUTLENIA emulsji zużytego oleju rzepakowego w wodnym roztworze H₂SO₄ (0,1n). Stężenie analizowanego oleju wynosiło odpowiednio 0,0025%; 0,0050%; 0,0100%; 0,0250% i 0,0500% Rys. 3-5. przedstawiają krzywe polaryzacyjne elektROUTLENIA emulsji zużytego oleju rzepakowego w roztworze H₂SO₄ dla różnych stężeń oleju w zakresie temperatur 293÷333K.



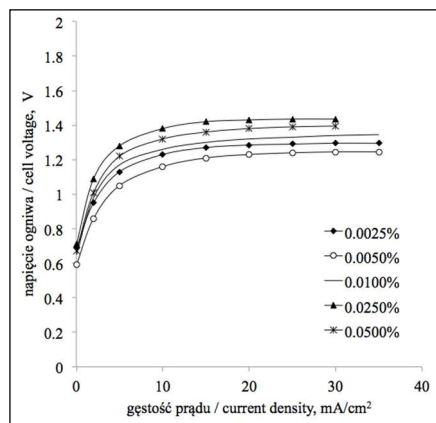
Rys. 3. Krzywe polaryzacyjne elektro-utleniania emulsji oleju napędowego w 0,1n roztworze H₂SO₄ (w temp. 293K). Stężenie oleju napędowego wynosiło 0,0025%; 0,0050%; 0,0100%; 0,0250% i 0,0500% [opracowanie własne]

Fig. 3. Polarization curves of used canola oil electrooxidation in 0.1n concentration of electrolyte H₂SO₄ at temperature 293K; Concentration of diesel fuel was equal 0.0025%; 0.0050%; 0.0100%; 0.0250% and 0.0500% [own compilation]



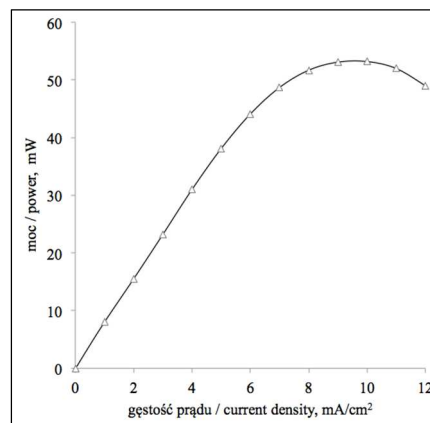
Rys. 4. Krzywe polaryzacyjne elektro-utleniania emulsji oleju napędowego w 0,1n roztworze H₂SO₄ (w temp. 313K). Stężenie oleju napędowego wynosiło 0,0025%; 0,0050%; 0,0100%; 0,0250% i 0,0500% [opracowanie własne]

Fig. 4. Polarization curves of used canola oil electrooxidation in 0.1n concentration of electrolyte H₂SO₄ at temperature 313K; Concentration of diesel fuel was equal 0.0025%; 0.0050%; 0.0100%; 0.0250% and 0.0500% [own compilation]



Rys. 5. Krzywe polaryzacyjne elektro-utleniania emulsji oleju napędowego w 0,1n roztworze H₂SO₄ (w temp. 333K). Stężenie oleju napędowego wynosiło 0,0025%; 0,0050%; 0,0100%; 0,0250% i 0,0500% [opracowanie własne]

Fig. 5. Polarization curves of used canola oil electrooxidation in 0.1n concentration of electrolyte H₂SO₄ at temperature 333K; Concentration of diesel fuel was equal 0.0025%; 0.0050%; 0.0100%; 0.0250% and 0.0500% [own compilation]



Rys. 6. Krzywa mocy prototypowego ogniwa paliwowego zasilanego zużytym olejem napędowym – Pomiary zostały dokonane dla temperatury 313K, dla 0,0025% stężenia oleju [opracowanie własne]

Fig. 6. Power curve of prototype fuel cell powering used canola oil (Fig. 2) - Measurement at the temperature of 313K, for 0.0025% of concentration of used canola oil [own compilation]

Na rys. 6 przedstawiono krzywą mocy prototypowego ogniwa paliwowego zasilanego zużytym olejem rzepakowym. Pomiary zostały wykonane dla temperatury 313 K, dla 0,0025% stężenia zużytego oleju.

4. Dyskusja wyników i wnioski

Bezprądowy potencjał elektrody ustalał się w czasie ok. 20 min i zawierał się w zakresie 0,61÷1,41 V. Z krzywych na rys. 3-5 wynika, że w zakresie temperatur 293÷333K na elektrodzie platynowej w wodnym roztworze H₂SO₄ zachodzi elektROUTLENIANIE zużytego oleju rzepakowego dla wszystkich koncentracji oleju w emulsji. Pomiary wykazały uzyskanie najwyższej gęstości prądu (10 mA/cm²) dla temperatury 313K (rys. 5). Wartość ta jest wyższa od elektROUTLENIANIA czystego oleju rzepakowego [16], a także od gęstości prądu elektROUTLENIANIA oleju z pestek winogron i oleju słonecznikowego [17, 27]. Przeprowadzone wcześniej pomiary wartości gęstości prądu elektROUTLENIANIA samego detergentu Syntanol DS-10 w wodnym roztworze H₂SO₄ były we wszystkich analizowanych przypadkach (293K, 313K, 333K) niższe niż elektROUTLENIANIE emulsji zużytego oleju rzepakowego. Powyżej temperatury 333K elektROUTLENIANIE Syntanolu DS-10 następowało jednak szybciej niż elektROUTLENIANIE emulsji analizowanego oleju. Budując, więc kwasowe ogniwo paliwowe zasilane zużyтым

olejem rzepakowym oraz wykorzystując Syntanol DS-10 jako detergent, należy nie przekraczać tej wartości temperatury. W zbudowanym prototypowym ogniwie (rys. 2) uzyskano niewielką moc wynoszącą 53 mW. Celem pracy było wykazanie nowego kierunku wykorzystania roślinnych olejów odpadowych. Wykazano, więc możliwość wykorzystanie potencjału w/w olejów (oleju rzepakowego) do celów wytwarzania energii elektrycznej z pominięciem procesu spalania. Należałoby jednak zwrócić uwagę, że wstępnych wyników badań w tym zakresie nie powinno się bezpośrednio porównywać z parametrami ogniwo paliwowych konstruowanych z definicji dla wysokoaktywnych paliw takich jak np. wodór czy hydrazyna. Wyniki badań wskazują jednak na konieczność dalszej kontynuacji badań w tym zakresie, szczególnie w doborze odpowiednich katalizatorów do konkretnego paliwa (w tym wypadku substancji odpadowej).

Literatura

- [1] Redey R.: Ogniwia paliwowe, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1973.
- [2] Stolten D.: Hydrogen and fuel cells. Fundamentals. Technologies and Applications, Wiley-VCH, Weinheim 2010.
- [3] Larminie J., Dicks A.: Fuel cell system explained, John Wiley & Sons, Hoboken 2003.
- [4] Hoogers G.: Fuel Cell Technology Handbook, CRC Press, Boca Raton 2004.
- [5] O'Hayre R., Cha S-W., Colella W., Prinz F.B.: Fuel Cell Fundamentals, John Wiley & Sons, Hoboken 2005.
- [6] Fuel cell handbook, Seventh edition, EG & G Technical Services Inc., U.S. Department of Energy, Washington 2004.
- [7] Bockris J. O'M., Reddy A.K.N.: Modern Electrochemistry, Kulwer Academic/Plenum Publishers, New York 2000.
- [8] Twigg M.V.: Catalyst Handbook, Wolfe Publishing Ltd., London 1989.
- [9] Wang Z.B., Yin G.P., Zhang J., Sun Y.C., Shi P.F.: Co-catalytic effect of Ni in the methanol electro-oxidation on Pt-Ru/C catalyst for direct methanol fuel cell, *Electrochimica Acta*, 51 (26), 2006, pp.5691-5697. DOI:10.1016/j.electacta.2006.03.002.
- [10] Włodarczyk P.P., Włodarczyk B.: Ni-Co alloy as catalyst for fuel electrode of hydrazine fuel cell, *China-USA Business Review*, 14 (5), 2015, pp. 269-279. DOI: 10.17265/1537-1514/2015.05.005
- [11] Włodarczyk B., Włodarczyk P.P.: Porównanie skuteczności elektrotleniania w mikrobiologicznym ogniwie paliwowym z katalizatorem stalowym i napowietrzania w oczyszczaniu ścieków, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 18 (2), 2015, pp. 189-198.
- [12] Rifkin J.: The Hydrogen Economy, Jeremy P. Tarcher Penguin, New York 2003.
- [13] Steele B., Heinzel A.: Materials for fuel-cell technologies, *Nature* 414, 2001, pp. 345-352.
- [14] Ross D.K.: Hydrogen storage: The major technological barrier to the development of hydrogen fuel cell cars, *Vacuum* 80 (10), 2006, pp. 1084-1089.
- [15] Milewski J., Lewandowski J.: Biofuels as fuels for high temperature fuel cells, *Journal of Power Technologies*, 93 (5), 2013, pp. 347-353.

- [16] Włodarczyk P.P., Włodarczyk B.: Electrooxidation of canola oil with Pt catalyst in acid electrolyte, *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska* 17(2), 2015, pp. 9-28.
- [17] Włodarczyk P.P., Włodarczyk B.: Electrooxidation of sunflower oil in acid electrolyte, *New Trends in Management and Production Engineering - Regional, Cross-border and Global Perspectives*, Shaker Verlag, 2016, pp. 188-198.
- [18] Jęczmionek Ł., Lubowicz J.: Nowe procesy rafineryjne w badaniach INiG, *Przemysł Chemiczny*, 88 (7), 2009, pp. 778-780.
- [19] Jęczmionek Ł.: Oleje roślinne i tłuszcze zwierzęce jako surowce do uzyskania biokomponentów paliwowych II generacji, *Nafta-Gaz*, 7, 2010, pp. 613-620.
- [20] Jungmeier G., Pucker J.: Life cycle assessment of transportation biofuels – greenhouse gas emission of 1st and 2nd generation biofuels in comparison to gasoline, diesel and natural gas, *TAE proceedings*, 2011, pp. 53-54.
- [21] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014r. w sprawie katalogu odpadów. *Dz. U.* 2014 poz. 1923.
- [22] Paraska O., Karvan S.: Mathematical modelling in scientific researches of chemical technology processes, *Technical Transactions. Mechanics*, Cracow University of Technology Press, 107(2M), 2010, pp. 203-210.
- [23] Sakharov Iu.I., Rastiannikov E.G., Verbitskaia G.M., Tarasova L.N.: Washability of Syntanol DS-10 from kitchen utensils (article in Russian), *Vopr Pitan.* Jul-Aug (4), 1975, pp. 75-77.
- [24] Kravchenko A.V., Rudnitskii A.G., Nesterenko A.F., Kublanovskii V.S.: Degradation of Syntanol DS-10 promoted by energy transfer reactions, *Ukrainian Chemistry Journal C/C of Ukrainskii Khimicheskii Zhurnal* 60 (11), 1994, pp. 11-13.
- [25] Ignatov O.V., Shalunova Iu.V., Panchenko L.V., Turkovskaia O.V., Ptichkina N.M.: Degradation of Syntanol DS-10 by bacteria immobilized in polysaccharide gels (article in Russian), *Prikl Biokhim Mikrobiol.*, 31 (2), 1995, pp. 220-223.
- [26] Włodarczyk P.P., Włodarczyk B.: Powering fuel cell with crude oil, *Journal of Power Technologies*, 93 (5), 2013, pp. 394-396.
- [27] Włodarczyk P.P., Włodarczyk B.: Possibility of fuel cell powering with grape seed oil, *QUAESTI-Virtual Multidisciplinary Conference*, 3 (1), 2015, pp. 300-304. DOI:10.18638/quaesti.2015.3.1.210.
- [28] Holtzer M., Staronka A.: *Chemia fizyczna, Wprowadzenie*, Wydawnictwa AGH, Kraków 2000.
- [29] Włodarczyk P.P., Włodarczyk B.: Possibility of using Ni-Co alloy as catalyst for oxygen electrode of fuel cell, *Chinese Business Review*, 14 (3), 2015, pp. 159-167. DOI:10.17265/1537-1506/2015.03.005.
- [30] Sumner J.J., Creager S.E., Ma J.J.: DesMarteau D.D, Proton Conductivity in Nafion 117 and in a Novel Bis[(perfluoroalkyl)sulfonyl]imide Ionomer Membrane, *J. Electrochem. Soc.*, 145 (1), 1998, pp. 107-110. DOI: 10.1149/1.1838220.

USE OF USED CANOLA OIL TO POWERING OF FUEL CELL

Summary

The constant economic development of countries generates significant amounts of waste, while at the same time high demand for electricity. The technology that could potentially combine waste utilization with energy production is fuel cell technology. Fuel cells convert fuel energy directly into electricity without intermediate stadium like fuel combustion process. Some waste substances could be a potential fuel for fuel cells. Vegetable oils (also waste) are now an alternative to diesel oil. These oils potentially can also be fuels for fuel cells. In paper the authors' try to present a new direction of using waste canola oil in a direct way, without combustion process. The paper presents measurements of electrooxidation of used canola oil emulsion prepared on the basis of a non-ionic surfactant on a smooth platinum electrode in an aqueous solution of H_2SO_4 . The resulting current density reached the level of 10 mA/cm^2 . So, the possibility of using used canola oil as fuel for fuel cells has been proved. Power was obtained in prototype fuel cell was obtained is equal 53 mW.

Keywords: fuel cell, canola oil, fuel, environmental engineering, renewable energy sources

Przesłano do redakcji: 30.12.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Tomasz DZIK¹
Renata DZIK²

EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA I EKONOMICZNA FUNKCJONOWANIA PRZEDSIĘBIORSTWA – DOŚWIADCZENIA Z WDROŻENIA SYSTEMU ZARZĄDZANIA ENERGIĄ

W artykule zostały przedstawione doświadczenia związane z wprowadzeniem, wdrożeniem i funkcjonowaniem systemu zarządzania energią (SZE) zgodnie z ISO 50001 w dużym przedsiębiorstwie. Opisano sposób przeprowadzenia przeglądu energetycznego, określenia energii bazowej oraz opracowania reprezentatywnych wskaźników pozwalających na monitorowanie wyników działań i przedsięwzięć inwestycyjnych służących poprawie efektywności energetycznej i ekonomicznej prowadzonych w ramach systemu. Przegląd energetyczny jest podstawą SZE i prawidłowe jego przeprowadzenie ma kluczowe znaczenie dla skuteczności tego systemu. Kolejnym ważnym elementem przeglądu są wskaźniki, które powinny być proste i zrozumiałe oraz uwzględniać specyfikę przedsiębiorstwa i sezonowość występowania zjawisk mających wpływ na wynik energetyczny.

Opisane doświadczenia dowodzą przydatności i skuteczności wdrożenia takiego systemu i pomimo biurokracji niezbędnej przy funkcjonowaniu systemu, to efekty warte są tego nakładu pracy. W czasie 3 lat funkcjonowania SZE (lata 2012-2015) uzyskano ponad 15% poprawę efektywności energetycznej oraz prawie 30% obniżenie kosztów ponoszonych na zakup energii. Cel główny przyjęty na lata 2012-2017 został zrealizowany na koniec 2015 roku co świadczy o poprawności wytypowanych do realizacji zadań i skuteczności podjętych działań. Analiza wskaźników wyniku energetycznego wykazuje słuszność ich stosowania, a wskaźniki cząstkowe monitorowane z interwałem miesięcznym obrazują konsumpcję energii w obiekcie i pozwalają na wychwytywanie nieprawidłowości pojawiających się podczas eksploatacji i wynikających z usterek oraz awarii urządzeń technicznych i technologicznych.

Słowa kluczowe: opłacalność, optymalizacja, oszczędność, przedsiębiorstwo

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Tomasz Dzik, Politechnika Warszawska, Zakład Mechatroniki i informatyki w transporcie, ul. Koszykowa 75, Warszawa; tel. 783833640; tdzik@op.pl

² Renata Dzik, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Ciechanowie, Zakład Ekonomii, ul. Narutowicza 9, 06-400 Ciechanów; rdzik@op.pl

1. Wprowadzenie

System zarządzania energią (SZE) jest narzędziem, które pomaga obniżyć koszty działalności i zmniejszyć emisję gazów cieplarnianych zapewniając przez to przewagę konkurencyjną organizacji przyjmującej taki model zarządzania.

SZE pozwala na systemowe stosowanie praktyk umożliwiających efektywne wykorzystywanie energii pierwotnej (zawartej w nośnikach energii pozyskiwanych bezpośrednio ze środowiska np. paliwa kopalne) jak i energii finalnej (zużywanej przez odbiorców końcowych).

Standard ISO 50001 jest skoncentrowany na zagadnieniu, jakim są aspekty energetyczne związane z prowadzeniem działalności oraz mierzalne wyniki zarządzania nimi. Staje się przez to skutecznym narzędziem do osiągnięcia korzyści ekonomicznych związanych z poprawą efektywności energetycznej swoich procesów i instalacji.

W dobie rosnących kosztów gospodarki energetycznej wszystkie te organizacje, które są zainteresowane zmniejszaniem kosztów działalności poprzez efektywne zarządzanie swoimi zasobami energetycznymi powinny zainteresować się możliwościami, jakie daje wdrożenie SZE.

Idea SZE zgodnie ze standardem ISO 50001 została przedstawiona na rysunku nr 1.



Rys. 1. Idea Systemu Zarządzania Energią zgodnie ze standardem ISO 50001 [1]

Fig. 1. Idea of Energy Control System according to ISO 50001 [1]

Czynności zgodnie z przedstawioną ideą wykonywane są cyklicznie tworząc zamknięty obieg. Obejmują one cztery etapy:

- etap 1 (zaplanuj) - polega na określaniu zamierzeń i celów oraz zobowiązań prawnych,

- etap 2 (wykonaj) - faza realizacji polegająca na przydzieleniu zasobów i odpowiedzialności, podniesieniu świadomości w organizacji, przeprowadzeniu szkoleń, utworzeniu dokumentacji, itp.,
- etap 3 (sprawdź) - sprawdzenie dokonane poprzez ustanowienie monitoringu programu, zarządzania energią, przeprowadzanie wewnętrznych audytów systemów zarządzania energią,
- etap 4 (zastosuj) – polega na wprowadzeniu zmian ustalonych w poprzednim etapie.

Efektywność energetyczna to stosunek uzyskanej wielkości efektu użytkowego (uzyskanego w wyniku dostarczenia energii w szczególności: wykonanie pracy mechanicznej, zapewnienie komfortu cieplnego, oświetlenie), danego obiektu urządzenia technicznego lub instalacji, w typowych warunkach ich użytkowania lub eksploatacji, do ilości zużycia energii przez ten obiekt, urządzenie techniczne lub instalację, niezbędnej do uzyskania tego efektu [1].

Przedsięwzięcia służące poprawie efektywności ekonomicznej to działania, których celem jest osiągnięcie danego efektu przy wykorzystaniu jak najmniejszej ilości dostępnych zasobów lub też osiągnięcie najlepszego rezultatu przy wykorzystaniu określonej ilości zasobów [1].

Ważnym elementem poprawy wyniku energetycznego jest audyt energetyczny definiowany, jako systematyczna procedura pozwalająca na zdobycie odpowiedniej wiedzy o profilu istniejącego zużycia energii danego budynku lub zespołu budynków, operacji lub instalacji przemysłowej oraz usług prywatnych lub publicznych, która określa i kwantyfikuje możliwości opłacalnych ekonomicznie oszczędności energetycznych oraz informuje o wynikach [2-4].

2. Charakterystyka obiektu

W artykule dokonano analizy obiektu technologiczno – biurowego o wysokim standardzie budowlanym. Budynek ten oddano do użytkowania w 2007 roku. Profil obciążenia energetycznego obiektu przedstawia się następująco:

- wentylacja i klimatyzacja bytowa - 35%,
- klimatyzacja precyzyjna - 30%,
- zasilanie bezprzerwowe (UPS) – 20%,
- oświetlenie - 10%,
- inne – 5%.

W obiekcie znajdują się pomieszczenia serwerowni z klimatyzacją precyzyjną tworzące centrum gromadzenia i przetwarzania danych. Zasilanie podstawowe realizowane jest przez cztery linie średniego napięcia (15kV) i posiada rozbudowaną infrastrukturę elektryczną. Zasilanie gwarantowane oparte jest na zespole prądotwórczym z silnikiem Diesla. Pomieszczenia serwerowni z urządzeniami teleinformatycznymi oraz sieć komputerowa zasilana jest poprzez urządzenia zasilania bezprzerwowego (UPS).

W budynku przedsiębiorstwa mimo zastosowania nowoczesnych i energooszczędnych technologii można wyszukać obszary do doskonalenia efektywnościowego. Poniżej zostały przedstawione przykładowe działania służące poprawie efektywności energetycznej.

3. Skuteczne działania służące poprawie efektywności energetycznej

Działania proefektywnościowe poprzedzone zostały audytem energetycznym, który określił wartość bazową zużycia energii elektrycznej, do której odnoszone są skutki przeprowadzonych działań. W audycie zostały również określone obszary doskonalenia oraz harmonogram sukcesywnej realizacji założonych zadań. Główne zagadnienia na które zwrócono uwagę to moc zamówiona, zakup energii elektrycznej zgodnie z zasadą TPA (Third Party Access), kampania informacyjno – promocyjna oraz niskonakładowe działania operacyjne w obiekcie.

3.1. Ograniczenie mocy zamówionej

Na etapie projektu wykonawczego moc maksymalna obiektu została oszacowana na poziomie 5 000 kW z następującym podziałem:

- 1 600 kW z przyłącza 1 i 2,
- 900 kW z przyłącza 3 i 4.

Podczas eksploatacji siedziby gromadzone były informacje na temat rzeczywistego profilu obciążenia obiektu. Na bazie tych danych zostały podjęte decyzje bezpiecznego ograniczania mocy zamówionej. W kolejnych latach ograniczano moc zamówioną i w roku 2016 roku wynosi ona 2 400 kW z następującym podziałem:

- 900 kW z przyłącza 1,
- 650 kW z przyłącza 2,
- 440 kW z przyłącza 3,
- 410 kW z przyłącza 4.

Monitorowanie i analizowanie profili obciążenia obiektu umożliwiło bezpieczne ograniczenie mocy zamówionych o 52%.

3.2. Zakup energii elektrycznej zgodnie z zasadą TPA

W 2012 roku poprzez przejście na zakup energii zgodnie z zasadą TPA została obniżona cena energii elektrycznej o 72 zł/MWh z 280 zł/MWh do 208 zł/MWh, która zaczęła obowiązywać od stycznia 2013 roku. Kolejne postępowanie przetargowe na zakup energii elektrycznej na wolnym rynku pozwoliło na kolejne ograniczenia ceny i w roku 2016 wynosi ona 190 zł/MWh. Szczegółowe dane zostały przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie cen energii elektrycznej dla przedsiębiorstwa

Table 1. Comparison of electric energy prices for logistic enterprise

Lp.	Rok/miesiąc realizacji	Dystrybucja 1 [zł/MWh]	Dystrybucja 2 [zł/MWh]	Dostawca energii [zł/MWh]
1.	Do 2012/03	270	290	-
		Średnia: 280		
2.	2013/01	-	-	208,23
3.	2014/01	-	-	184,87
4.	2015/01			203,67
5.	2016/01			190,13

Zakup energii elektrycznej zgodnie z zasadą TPA na przestrzeni 4 lat pozwolił na obniżenie ceny energii elektrycznej o ok. 90 zł/MWh z 280 zł/MWh do 190 zł/MWh.

3.3. Kampania informacyjno - promocyjna

Ważnym elementem poprawy efektywności energetycznej w PSE S.A. było przeprowadzenie kampanii informacyjno – promocyjnej. Celem kampanii było spopularyzowanie dobrych praktyk pozwalających oszczędzać i efektywnie korzystać z energii. Kampania polegała na edukacji i komunikacji skupiającej się na:

- uświadamianiu o rodzajach i źródłach energii,
- informowaniu o kosztach i wpływie wytwarzania energii na środowisko naturalne,
- informowaniu konsumenta o ekonomicznych i środowiskowych skutkach nieracjonalnego zużycia energii,
- uświadamianiu o indywidualnej odpowiedzialności i prowokowaniu do małych, pozytywnych zmian w codziennym stylu życia.

Przykładem kampanii była inicjatywa zachęcająca pracowników do bardziej energooszczędnej postawy w miejscu pracy. W ramach tej inicjatywy pracownicy otrzymywali podstawowe wskazówki dotyczące racjonalnego zużycia energii poprzez akcję reklamową (plakaty, postery, ulotki) oraz stronę intranetową.

3.4. Inicjatywy oszczędnościowe w ramach działań operacyjnych służb technicznych obiektu

W ramach działań operacyjnych wytypowano i zrealizowano szereg przedsięwzięć cechujących się brakiem lub niskimi nakładami inwestycyjnymi oraz krótkim okresem zwrotu. Zostały przeprowadzone następujące działania:

- a) likwidacja mocy biernej na przyłączach zasilających,
- b) montaż czujników ruchu w węzłach sanitarnych, kuchenkach oraz w garażu z optymalizacją ich pracy,

- d) montaż dodatkowego wyłącznika zegarowego w szafie automatyki fontann z ustawieniem optymalnych czasów ich działania,
- e) racjonalizacja liczby źródeł światła w korytarzach budynku,
- f) wymiana świecących powyżej 10 godzin/dobę opraw oświetleniowych na oprawy LED,
- g) wymiana podzespołów opraw oświetlenia zewnętrznego (standardowych dławików do źródeł metalohalogenkowych) na inteligentne i programowalne moduły elektroniczne na parkingach zewnętrznych,
- h) zmiana nastaw w układzie regulacji kotłów (nachylenie i przesunięcie wykresu regulacyjnego, praca na niższych parametrach obiegowych przy niskich temperaturach zewnętrznych),
- i) implementacja programów czasowych central wentylacyjno-klimatyzacyjnych (niższe wydajności w okresach nocnych i weekendowych),
- j) wyłączanie nawilżaczy parowych w godzinach popołudniowych, nocnych i weekendowych,
- k) brak przepływu medium grzewczego i chłodniczego przez belki grzewczo-chłodzące i klimakonwektory w okresach weekendowych – urządzenia nie pracują ani w funkcji grzania, ani chłodzenia.

4. Wyniki działań proefektywnościowych

Wskaźnik globalnego zużycia energii elektrycznej w siedzibie przedsiębiorstwa oraz wskaźnik globalnych opłat za energię elektryczną (koszty zużytej energii elektrycznej i dystrybucji) w latach 2010-2016 mają stałą tendencję w kierunku ograniczania ilości zużywanej energii oraz zmniejszania kosztów eksploatacyjnych przeznaczanych na zakup energii elektrycznej. Zestawienie tych wskaźników zostało przedstawione w tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie wskaźników globalnych dotyczących energii elektrycznej wraz z dynamiką

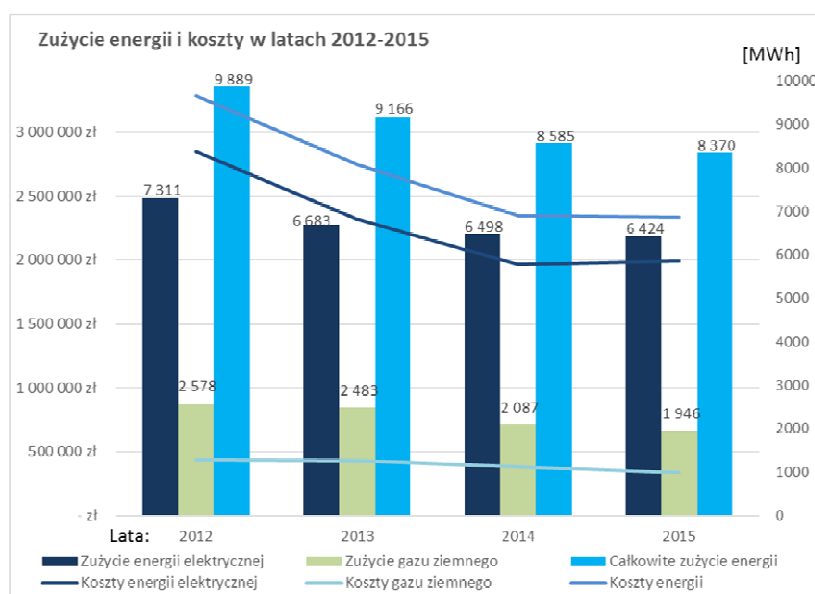
Table 2. Comparison of global indicators concerning electric energy along with a dynamic

Rok	Zużycie energii elektrycznej	Oszczędności w skali danego roku	Dynamika ((rok bieżący - rok poprzedni) / rok poprzedni) * 100%	Kwota netto opłat za energię elektryczną	Oszczędności	Dynamika ((rok bieżący - rok poprzedni) / rok poprzedni) * 100%
	[MWh]	[MWh]	[%]	[tys. zł]	[tys. zł]	[%]
2010	7 803,2			3 046,20		
2011	7 569,1	234,10	-3,00	3 058,90	-12,70	0,42
2012	7 232,4	336,70	-4,45	2 815,80	243,10	-7,95
2013	6 621,5	610,90	-8,45	2 285,40	530,40	-18,84
2014	6 498,2	123,3	-1,86	1 966,90	318,5	-13,94
2015	6 497,6	0,6	-0,01	1 992,50	-25,6	1,3

* strata związana ze wzrostem cen energii elektrycznej

Na przedstawione wyniki składają się głównie działania opisane powyżej polegające na ograniczeniu mocy zamówionej, przejściu na zakup energii elektrycznej zgodnie z zasadą TPA, aktywne uczestnictwo w kampanii promocyjno - informacyjnej oraz szereg innych inicjatyw związanych z eksploatacją obiektów.

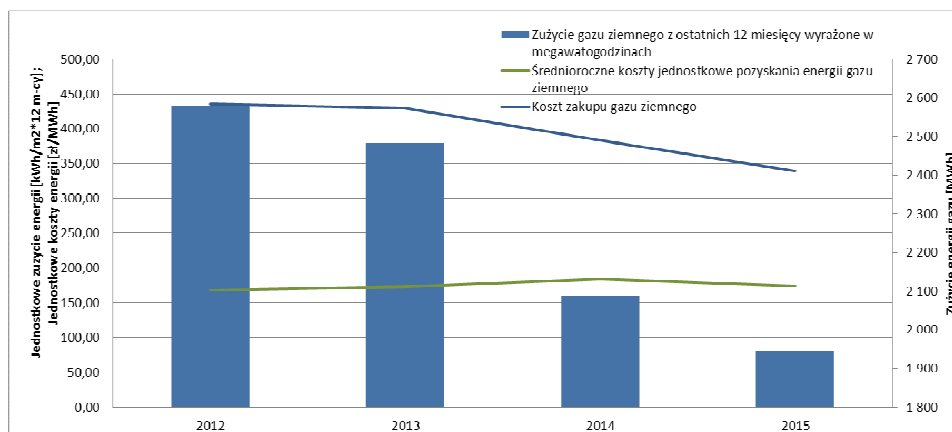
Kształtowanie się kosztów zakupu oraz zużycia energii z podziałem na energię elektryczną, paliwo gazowe i sumaryczne zużycie energii zostało przedstawione na rysunku nr 2.



Rys. 2. Koszty zakupu oraz zużycie energii

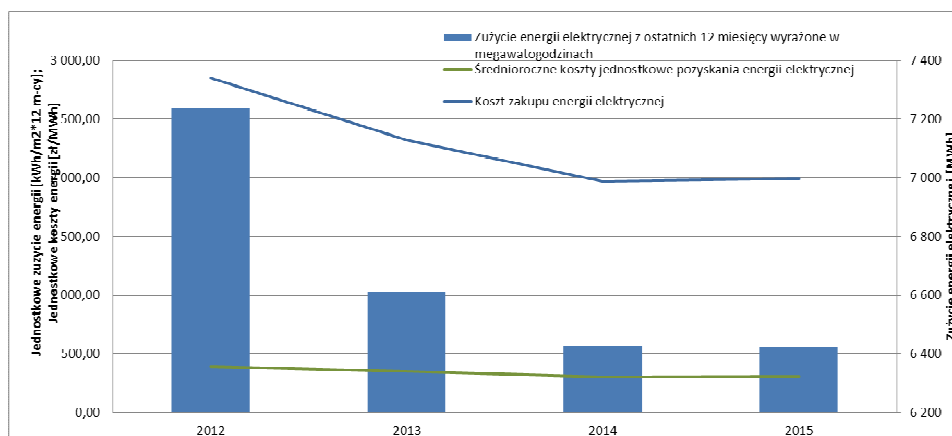
Fig. 2. Costs of purchase and use of energy

Zweryfikowano wynik energetyczny [2] w odniesieniu do energii bazowej ustalonej w roku 2012. Kształtowanie się wskaźników wyniku energetycznego zostało przedstawione na rysunku nr 3 dla paliwa gazowego oraz rysunku nr 4 dla energii elektrycznej.



Rys. 3. Koszty zakupu oraz zużycie paliwa gazowego

Fig. 3. Costs of purchase and use of gas fuel



Rys. 4. Koszty zakupu oraz zużycie energii elektrycznej

Fig. 4. Costs of purchase and use of electric energy

Dane liczbowe dotyczące wskaźników wyniku energetycznego zostało przedstawione w tabeli nr 3.

Tabela 3. Wskaźniki wyniku energetycznego w latach 2012-2015

Table 3. Indicators of energy result years 2012-2015

Wskaźnik	Jednostka	Wartość w roku			
		2012	2013	2014	2015
E_g	[MWh]	2 578	2 483	2 087	1 946
E_e	[MWh]	7 311	6 683	6 498	6 424
ΔE_j	[-]	-	27,2	49,1	54,4
K_{eg}	[zł/MWh]	169	173	184	174
K_{ee}	[zł/MWh]	390	347	303	306
K_e	[zł/MWh]	332	300	274	276

Wskaźnik zużycia gazu ziemnego E_g w latach 2012-2015 wykazuje tendencję spadkową. W roku 2015 nastąpiło obniżenie zużycia gazu ziemnego o 632 MWh co stanowi 24% w stosunku do energii bazowej (2012 r.).

Wskaźnik zużycia energii elektrycznej E_e w latach 2012-2015 również wykazuje tendencję spadkową. W roku 2015 nastąpiło obniżenie zużycia energii elektrycznej o 887 MWh co stanowi 12% w stosunku do energii bazowej (2012 r.).

W 2015 r. nastąpiło obniżenie całkowitego zużycia energii o 1519 MWh co stanowi 15,4% w stosunku do energii bazowej. **Zaplanowany cel określony dla końca roku 2017 na poziomie 15% został osiągnięty.**

Wskaźnik różnicy sumarycznego zużycia energii na m^2 powierzchni budynku i energii bazowej ΔE_j w latach 2012-2015 wykazuje tendencję wzrostową.

Wskaźnik średniorocznych kosztów jednostkowych pozyskania energii gazu ziemnego K_{eg} wykazuje tendencję spadkową w stosunku do 2014 r. i zbliżył się wartości z 2013r. Koszt jednostkowy pozyskania energii gazu w 2015r. jest o 5 zł/MWh wyższy od kosztu jednostkowego w roku bazowym (2012r.) co stanowi 2,9%, jednocześnie niższy o 10 zł/MWh w stosunku do 2014r. co stanowi 5,7%. Jest to związane ze zmianami ceny jednostkowej za paliwo gazowe oraz wartości opłat sieciowych wynikających z działań optymalizacji mocy umownej.

Wskaźniki średniorocznych kosztów jednostkowych pozyskania energii elektrycznej K_{ee} oraz średniorocznych kosztów jednostkowych pozyskania energii K_e wykazują tendencję spadkową. W 2015r. nastąpił spadek o 84 zł/MWh dla energii elektrycznej w stosunku do 2012r. co stanowi 21,5% oraz o 56 zł/MWh sumarycznie dla energii w stosunku do 2014r. co stanowi 16,8%. Spadki te wynikają z podjętych działań w zakresie obniżenia mocy zamówionej.

5. Podsumowanie

Z przedstawionych powyżej analiz wynika, iż przedstawione inicjatywy przynoszą wymierne efekty. W 2016 roku zmniejszono globalne zużycie energii elektrycznej o ponad 600 MWh w stosunku do poprzedniego roku. Koszty poniesione na zakup energii elektrycznej w 2013 roku zostały zmniejszone o ponad 530 tys. zł porównując z 2012 rokiem. Dynamika zmian podstawowych wskaź-

ników wykazuje prawidłowe tendencje (ujemne wartości wskaźników). Na szczególną uwagę zasługuje dynamika zmiany wskaźnika opłat za energię elektryczną (koszty zużytej energii elektrycznej i dystrybucji) w 2013r. w stosunku do 2012r., która wynosi ponad 18%.

Literatura

- [1] Ustawa o efektywności energetycznej z dnia 15 kwietnia 2011 r., Dziennik Ustaw Nr 94, Poz. 551.
- [2] PN-EN ISO 50001:2012 „Systemy zarządzania energią - Wymagania i zalecenia użytkownika”, 2012.
- [3] Dyrektywa 2012/27/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25 października 2012 roku w sprawie efektywności energetycznej.
- [4] M. Trojnacki, K. Szołtys „Zarządzanie energią źródłem przewagi konkurencyjnej” Harvard Business Review, 2012.

ENERGY AND ECONOMIC EFFICIENCY OF COMPANY OPERATIONS – EXPERIENCE OF IMPLEMENTING THE ENERGY CONTROL SYSTEM

S u m m a r y

The article presents experiences with implementation and operations of energy control system (ECS) according to ISO 50001 in big company. Described is a way of conducting of energy check, defining basic energy and designing representative indicators allowing for the control over results of investing enterprises serving increase of energy and economic efficiency conducted within the system. Energy check is essential for ECS and carrying it on correctly has a key meaning for efficiency of the system. Another key elements of the check are indicators, which should be simple and understandable and include the specificity of enterprise and seasonality of certain occurrences that influence energy results. Described experiences prove helpfulness and efficiency of implementation of such a system and despite bureaucracy necessary with operation of the system, the effects are worth the effort. In 3 years time of ECS operation (years 2012-2015) obtained were 15% of energy efficiency growth and almost 30% decrease of energy purchase costs. The main goal for years 2012-2017 was obtained by the end of 2015 which proves the correctness of selected tasks and efficiency of measures taken. The analysis of indicators of energy result shows validity of their usage and partial indicators monitored with a monthly interval picture energy consumption in the object and allow to catch irregularities showing up during operation and resulting from accidents and flaws of technical and technological devices.

Keywords: profitability, optimization, saving, company

Przesłano do redakcji: 29.11.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Marek ZYGMUNT¹
Józef SANECKI²
Andrzej KLEWSKI³

OKREŚLANIE PRZYCZYN POWSTAWANIA OSUWISK W POLSKICH KARPATACH FLISZOWYCH W OPARCIU O OBRAZY LOTNICZE Z BSL

W artykule przedstawiono problematykę pomiarów geodezyjnych na terenach osuwiskowych w polskich Karpatach fliszowych. Wykorzystano metody fotogrametrii bliskiego zasięgu do cyfrowego obrazowania oraz określania wymiarów obszaru osuwiskowego za pomocą Bezzałogowych Systemów Latających (BSL). Badania wykonano na osuwisku położonym w miejscowości Węgierka, w gminie Roźwienica, w powiecie jarosławskim oraz na osuwisku położonym w miejscowości Rogi-Folwark w powiecie krośnieńskim. Wyznaczono środki rzutów poszczególnych zdjęć oraz elementy kątovej i wewnętrznej orientacji kamery. Umożliwiło to utworzenie modelu wysokościowego (TIN) osuwiska. Finalnym efektem było otrzymanie Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu (NMPT) osuwiska z miejscowości Węgierka i ortofotomapy. Numeryczny Model Pokrycia Terenu osuwiska z oczkiem siatki 0,10 m pozwolił precyzyjnie określić położenie i wymiary budynków na obszarze osuwiska z miejscowości Węgierka. Nalot z kamerą wychyloną o 80° na osuwisku w miejscowości Rogi-Folwark ukazał ponadto miejsca o niskiej wartości kohezji i kąta tarcia wewnętrznego gruntu. Te obszary są najbardziej narażone na powstawanie w przyszłości dalszych ruchów masowych, powstawanie pęknięć i przesunięcia mas ziemnych. Obliczono dla nich Wskaźnik Bezpieczeństwa FS. Pozwolił on ustalić, w której części osuwiska prawdopodobieństwo wystąpienia kolejnych ruchów masowych ziemi w przyszłości jest większe. Współczynnik bezpieczeństwa oszacowany dla obszarów o niskiej wartości spójności gruntów wyniósł 2,52, a o niskiej wartości kąta tarcia wewnętrznego 6,83. Najbardziej niebezpieczne są strome skarpy dodatkowo podcinane przez potoki – dolna aktywna część osuwiska o współczynniku 2,52. Bezpieczniejsze są środkowe części stoku, które są łagodnie nachylone – górna część osuwiska, Współczynnik bezpieczeństwa tej części wynosi 6,83.

Słowa kluczowe: aerotriangulacja, NMPT, budowa geologiczna, kąt tarcia wewnętrznego, kohezja, TIN

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Marek Zygmunt, Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Nawigacyjny, Instytut Geoinformatyki, ul. Żołnierska 46, 71-250 Szczecin; tel. 506 567 596; marek.zygmunt@op.pl

² Józef Sanecki, Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Nawigacyjny, Instytut Geoinformatyki, ul. Żołnierska 46, 71-250 Szczecin

³ Andrzej Klewski, Akademia Morska w Szczecinie

1. Wprowadzenie

W Polskich Karpatach osuwiska są zjawiskiem powszechnie znanym, gdyż duża liczba z nich powstała podczas ustępowania zlodowacenia południowopolskiego ok. 440 tys. lat temu. Duża część osuwisk powstała w lejach źródłowych potoków [1]. Jednak w obecnych czasach dopiero po okresach gwałtownych powodzi, jakie miały miejsce w latach 1997-2016 dochodziło do ponownego uaktywnienia się znacznej części, z powstałych pod koniec plejstocenu osuwisk. Odpowiedzią na masowe zniszczenia infrastruktury, jakie uaktywnienie tych osuwisk wywołało był Projekt System Osłony Przeciwosuwiskowej (SOPO). Okres jego trwania, to lata 2006 – 2023. Podczas trwania tego Projektu do roku 2016 wyznaczono granice i stopień aktywności większości osuwisk karpaccich [2]. Do wyznaczania granic obszarów osuwiskowych użyty został GPS marki Garmin 2000. Pozwolił on określić przebieg skarpy głównej i skarp bocznych z dokładnością do 5 m. Obszary większości osuwisk z wyjątkiem tych, które wywołały ogromne zniszczenia [3] nie były później monitorowane a charakter ich powierzchni nie był w żaden sposób obrazowany. W czerwcu i we wrześniu 2016 roku wykonano naloty fotogrametryczne nad obszarami dwóch, wytypowanych wcześniej osuwisk przy użyciu Bezzałogowego Systemu Latającego Phantom 3 firmy DJI. Poniżej przedstawiono geograficzno-geologiczną charakterystykę obszarów badań oraz wyniki obserwacji z nalogów.

1.1. Obszary badań

Obszary badawcze stanowiły dwa, w odmienny sposób wykształcone osuwiska. Pierwsze z nich, które położone jest na wschodnim stoku wzniesienia w obrębie Pogórza Dynowskiego jest duże (20 ha) osuwisko strukturalne [4] obejmujące swym zasięgiem większą część zbocza. Dolna część osuwiska jest aktywna, co uwidacznia się w pęknięciu drogi gminnej, przesunięciu kręgów w studni oraz spękań występujących na ścianach budynków. Słupy elektryczne jednej z trakcji zostały przesunięte. Drugie osuwisko położone na terenie Wzgórz Targowisk w obrębie Pogórza Jasielskiego. Osuwisko zajmuje dolną część zbocza i prawobrzeżną skarpe potoku uchodzącego do rzeki Lubatówka. Jego powierzchnia została oszacowana na 1,19 ha [5]. W lipcu 2010 roku po gwałtownych opadach doszło do uaktywnienia jego środkowej i dolnej części. Zwały ziemne zagroziły jednemu z budynków mieszkalnych położonym w obrębie uaktywnionej, środkowej części osuwiska. Również aktywna, dolna część osuwiska spowodowała uszkodzenia lokalnej drogi asfaltowej. Wykonana została Ekspertyza Geotechniczna [6].

1.2. Budowa geologiczna badanych osuwisk

Teren osuwiska z miejscowości Węgierka położony jest w obrębie płaszczowiny skolskiej Karpat zewnętrznych, którą reprezentują utwory kredy górnej i paleocenu – warstwy inoceramowe, eocenu - warstwy hieroglifyowe, oligocenu – warstwy menilitowe i miocenu – warstwy krośnieńskie. Utwory skalne wykształ-

cone są w facji piaskowcowo-łupkowej [8]. Warstwy inoceramowe i hieroglifowe budują tzw. fałdy brzeżne. Dokonano charakterystyki podłoża gruntowego do głębokości 4,5 m p.p.t. Obliczono parametry charakterystyczne gruntów.

Obszar drugiego osuwiska położony jest w obrębie jednostki śląskiej Karpat Zewnętrznych [9]. Budują go warstwy przejściowe i warstwy menilitowe. Utwory skalne wykształcone są w facji piaskowcowo-łupkowej [10]. Warstwy przejściowe i menilitowe stanowią południowe skrzydło antykliny Bóbrki. Nachylenie zbocza jest zmienne i mieści się w zakresach: 21%, 40% i 13% licząc od potoku. Nadkład budują grunty zróżnicowane: deluwia zboczowe w postaci glin pylastych i glin pylastych zwięzłych, ilów z grudkami łupka, pyłów piaszczystych, piasków pylastych oraz aluwia potokowe w postaci żwiru zaglinionego z rumoszem piaskowca. Miąższość pokrywy osadowo-zwietrzelinowej wynosi od 2,0-4,5 m.

2. Opis procedury badawczej

2.1. Metoda wykonania nalotów fotogrametrycznych

Numeryczny Model Pokrycia Terenu (NMPT) oraz ortofotomapę cyfrową wykonano na podstawie nalotu fotogrametrycznego z kamerą ustawioną horyzontalnie [11] nad obszarem osuwiska w miejscowości Węgierka. Do tego celu wykorzystano Bezzałogowy System Latający (BSL) Phantom 3 Professional firmy DJI. Średnia wysokość względna nalotu wynosiła 70 m, co w połączeniu z parametrami stałooogniskowej kamery (3,61 mm) oraz fizyczną wielkością piksela w matrycy (1,56 μm) pozwoliło w efekcie uzyskać rozdzielczość terenową (średnią) 0,027 m. Nalot wykonano w słoneczny dzień przy słabym wietrze (porzywy poniżej 5 m/s). Pokrycie podłużne i poprzeczne zdjęć wyniosło około 80%, a kamera znajdowała się w nadirze (zdjęcia prawie pionowe). W ten sposób wykonano 262 zdjęcia i poddano je dalszym przetworzeniom. Jeśli chodzi o badanie wpływu nachylenia stoku na powstawanie ruchów masowych lepszy okazuje się nalot fotogrametryczny z kamerą wychyloną pod kątem 80°. Nad osuwiskiem w miejscowości Rogi-Folwark, wykonano taki właśnie nalot. Średnia wysokość względna (ponad terenem) z jakiej zostały wykonane zdjęcia wynosiła 89 m. Pokrycie podłużne i poprzeczne zdjęć wyniosło około 90%. W ten sposób wykonano 385 zdjęć i poddano je dalszym przetworzeniom [7].

2.2. Metoda przetwarzania zdjęć

Proces opracowania NMPT oraz ortofotomapę wykonany został w oprogramowaniu Agisoft PhotoScan. Na opracowanie to złożyły się następujące etapy:

1. Wczytanie zdjęć i utworzenie projektu;
2. Aerotriangulacja przestrzenna;
3. Wygenerowanie i klasyfikacja gęstej chmury punktów;
4. Utworzenie modelu TIN (Triangular Irregular Network);
5. Teksturowanie modelu TIN;
6. Utworzenie modelu kafelowego (tiled model);

7. Wygenerowanie NMPT;
8. Ortorektyfikacja zdjęć;
9. Eksport NMPT oraz ortofotomapy cyfrowej;
10. Wygenerowanie raportu.

3. Metodyka i wyniki badań

Po wczytaniu zdjęć, założono projekt i ustawiono układ odniesienia EPSG 2179 (Układ współrzędnych PUWG 2000 strefa 8). Następnie w procesie Align Photos wykonano autokorelację obrazów (matching) oraz aerotriangulację przestrzenną. W trakcie tego procesu wyznaczone zostały, poprawione i wyrównane środki rzutów poszczególnych zdjęć, elementy kątowej orientacji kamery oraz elementy orientacji wewnętrznej kamery. W ten sposób wykonano aerotriangulację przestrzenną, gdzie analityczne związki pomiędzy elementami orientacji zewnętrznej oraz wyznaczanymi współrzędnymi terenowymi dla każdego z punktów, można opisać zgodnie z zależnością [12, 14]:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} + \lambda \begin{pmatrix} 100 \\ 0 \cos \omega \sin \omega \\ 0 - \sin \omega \cos \omega \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \varphi & 0 - \sin \varphi \\ 0 & 10 \\ -\sin \varphi & 0 \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \kappa - \sin \kappa 0 \\ \sin \kappa \cos \kappa 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (1)$$

gdzie:

ω – obrót wokół osi x,

φ – obrót wokół osi y,

κ – obrót wokół osi z,

X, Y, Z – współrzędne w układzie wtórnym (terenowe),

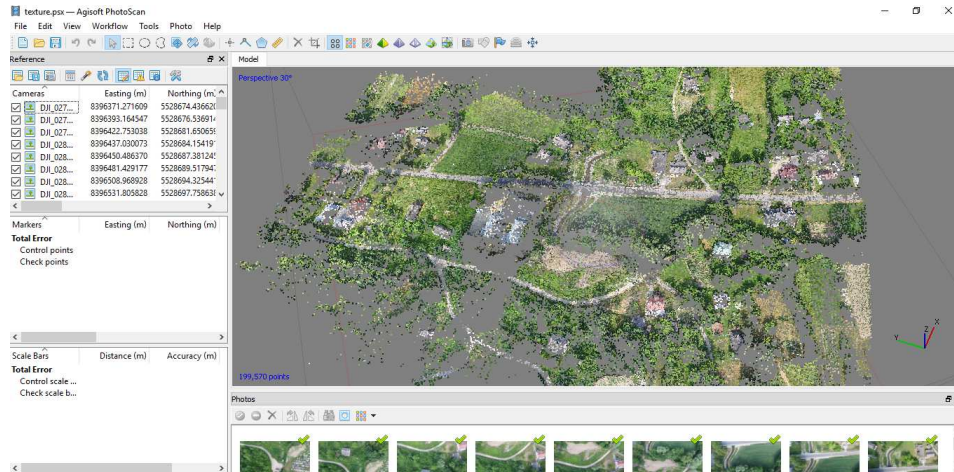
x, y, z – współrzędne w układzie pierwotnym (sensora),

X, Y, Z – wektor translacji (przesunięcia układów),

0 0 0

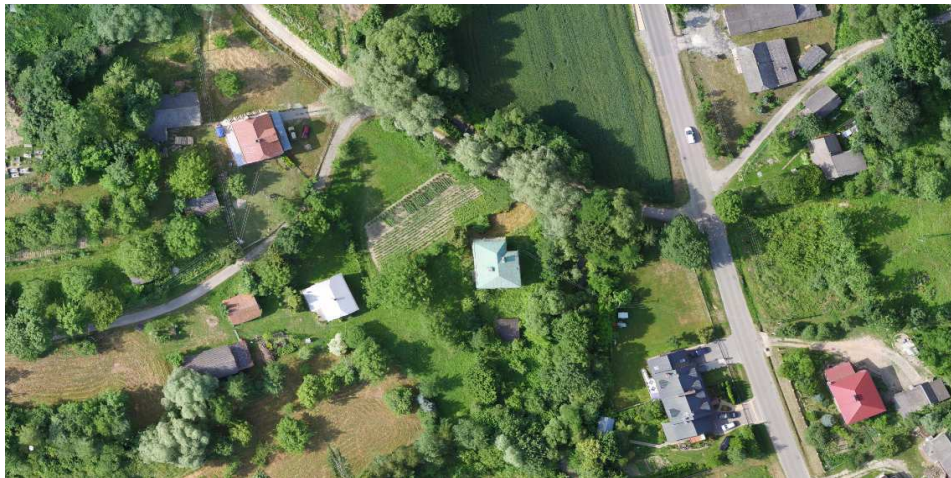
λ – współczynnik zmiany skali (w przekształceniu izometrycznym).

W wyniku aerotriangulacji możliwe było utworzenie gęstej chmury punktów, jej klasyfikacja, a także utworzenie modelu TIN i jego wytekstutowanie (rys. 1.). Następnie utworzono model kafelkowy gęstej chmury punktów i przystąpiono do generowania opracowań końcowych. Najpierw utworzono NMPT z oczkiem siatki 0,10 m a następnie wykonano ortorektyfikację zdjęć. NMPT wyeksportowano do formatu XYZ a ortofotomapę cyfrową do formatu GeoTiff (rys. 2.). Końcowym etapem prac było wygenerowanie raportu. W trakcie przetworzeń osiągnięto średni błąd położenia punktu X, Y na ortofotomapie – na poziomie 40 pikseli, co w efekcie dało dokładność bezwzględną lokalizacji punktów na poziomie około 1,1 m. Dla wysokości (NMPT), współrzędna Z – uzyskano odpowiednio: 165 pikseli oraz, 1,5 m dokładności bezwzględnej. Jednocześnie dokładność względna wyniosła w granicach 3 pikseli (0,08 m) dla współrzędnych X, Y oraz 5 pikseli (0,11 m) dla współrzędnej Z (wysokości –



Rys. 1. Aerotriangulacja przestrzenna z autokorelacją obrazów (widoczne dopasowane punkty na zdjęciach)

Fig. 1. Aerotriangulation with autocorrelation of images (matched points on the images). Source: Own study



Rys. 2. Ortofotomapa cyfrowa osuwiska z Węgierki (fragment). Wielkość piksela (GSD – Ground Sampling Distance) – 0,027 m

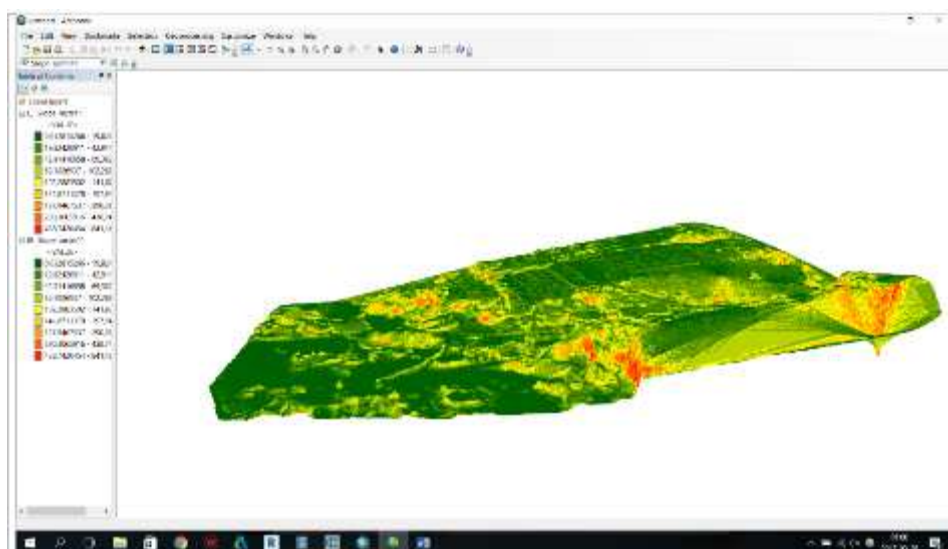
Fig. 2. Digital orthophotomosaic of landslide. Pixel size (GSD – Ground Sampling Distance) – 0.027 m. Source: Own study

NMPT). Ortofotomapa cyfrowa ukazuje bardzo dokładne położenie elementów przestrzennych w dolnej części osuwiska z miejscowości Węgierka. Numeryczny Model Pokrycia Terenu (NMPT) pozwala zaobserwować dodatkowo wymiar wysokościowy – np. wysokość pojedynczego budynku. Umożliwia to oszacowanie

wanie masy budynku, co w połączeniu z danymi dotyczącymi budowy geologicznej może stanowić podstawę do zbadania wpływu masy zabudowy na powstawanie ruchów osuwiskowych [15].

Proces opracowania Numerycznego Modelu Terenu NMT osuwiska z miejscowości Rogi-Folwark wykonany został również w oprogramowaniu Agisoft PhotoScan. Przed wygenerowaniem NMT utworzono Model Wysokościowy (TIN), który dodatkowo ukazywał nachylenie terenu osuwiska (rys. 3).

Spadki terenu odczytane z Rys.3 zestawiono z parametrami geotechnicznymi (kąt tarcia wewnętrznego, kohezja) pyłów piaszczystych otrzymanych przez [16].



Rys. 3. Model wysokościowy (TIN) osuwiska z miejscowości Rogi-Folwark ukazujący spadki terenu utworzony w programie AgiSoft Photoscan

Fig. 3. Digital Terrain Model (TIN) created in AgiSoft Photoscan Software. Source: Own study

4. Analiza wyników

By sprawdzić, na których obszarach występuje większe prawdopodobieństwo wystąpienia kolejnych ruchów osuwiskowych został oszacowany tzw. Współczynnik (Wskaźnik) Bezpieczeństwa [13].

$$FS = c_T + c_S + \cos^2 \alpha [\rho_S g (D - D_W) + (\rho_S g - \rho_W g) D_W] \tan \phi / D \rho_S g \sin \alpha \cos \alpha \quad (2)$$

gdzie:

c_T – pierwotna kohezja,

c_S – kohezja gleby,

α – kąt nachylenia stoku,

D – pionowa głębokość gruntu,

D_w – pionowa wysokość poziomu wód gruntowych w warstwie gleby,

g – przyspieszenie ziemskie,

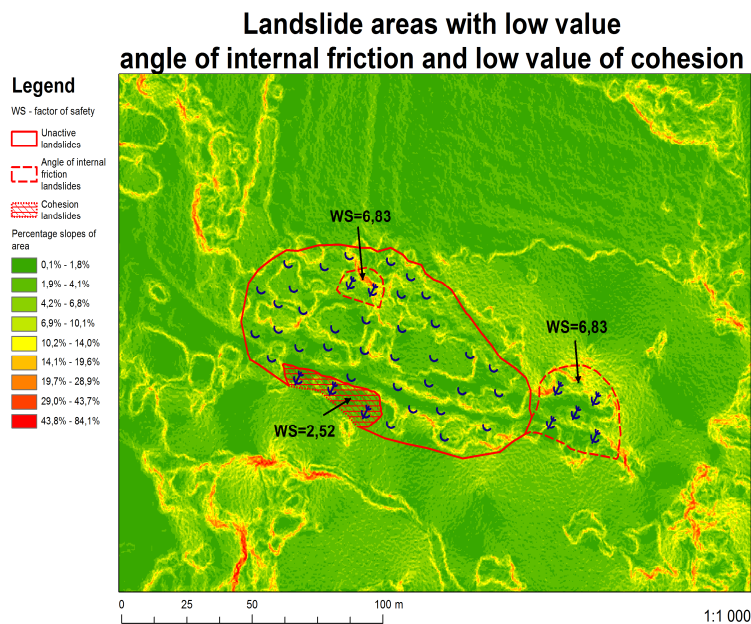
ρ_s – gęstość mokrej gleby,

ρ_w – gęstość wody,

ϕ – efektywny kąt tarcia wewnętrznej gleby,

r – stosunek gęstości wody do gęstości gleby.

Do obliczenia wyżej wymienionych wartości przyjęto wartości poszczególnych zmiennych wg. [17]. Dla osuwiska powstałego w łagodnej części stoku, do zainicjowania, którego przyczyniła się niska wartość kąta tarcia wewnętrznej ϕ wartość współczynnika bezpieczeństwa wyniosła – 6,83. Natomiast dla osuwiska powstałego w stromej części stoku $>40^\circ$, do zainicjowania, którego przyczyniła się niska wartość kohezji, wartość współczynnika bezpieczeństwa to 2,52. Nim wartość Wskaźnika Bezpieczeństwa jest niższa, tym prawdopodobieństwo powstania osuwiska jest większe. Obszary o łagodnym nachyleniu stoku są znacznie bardziej stabilne w porównaniu z terenami o stromym nachyleniu. Najbardziej niebezpieczne są strome skarpy dodatkowo podcinane przez potoki – dolna aktywna część osuwiska o współczynniku 2,52. Bezpieczniejsze są środkowe części stoku, które są łagodnie nachylone – górna część osuwiska, której współczynnik wynosi 6,83 (rys. 4.).



Rys. 4. Obszary w obrębie osuwiska z niską wartością kąta tarcia wewnętrznej i niską kohezją

Fig. 4. Landslide areas with low value angle of internal friction and low value of cohesion.

Source: Own study

Połączenie mapy spadków w powiązaniu z kohezją i kątem tarcia wewnętrznego pozwala na wyznaczenie współczynnika bezpieczeństwa obszaru (Rys. 4). Umożliwiła to zaklasyfikowanie opisanych we wprowadzeniu, dwóch aktywnych obszarów osuwiska do odpowiedniej kategorii. Dokonano również przyporządkowania obszaru, który wcześniej nie był opisywany. Stanowi go najbardziej wschodnia część osuwiska. Widoczne są również skarpy stanowiące granice obszaru osuwiskowego i przesunięte pakiety skalne.

5. Wnioski

Na podstawie badań można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Numeryczny Model Pokrycia Terenu (NMPT) osuwiska z Węgierki z oczkiem siatki 0,10 m pozwolił precyzyjnie określić położenie i wymiary budynku, co umożliwiło szczegółowe zobrazowanie relacji przestrzennych między obiektami znajdującymi się na osuwisku.
2. Ortofotomapa cyfrowa osuwiska z Węgierki o rozdzielczości terenowej 0,027 m utworzona w wyniku ortorektifikacji zdjęć wykonanych za pomocą BSL umożliwia szczegółowe zaobserwowanie położenia obiektów w obrębie osuwiska i relacji przestrzennych występujących między nimi.
3. W celu osiągnięcia wysokich dokładności, przy obrazowaniu kamerą niemetryczną, należy wykonać aerotriangulację z parametrami dodatkowymi (samokalibracja) do czego niezbędna jest dokładnie wyznaczona osnowa fotogrametryczna.
4. Wysoka dokładność względna i bezwzględna położenia punktów pozwala na szerokie wykorzystywanie metod fotogrametrii bliskiego zasięgu ze szczególnym uwzględnieniem Bezzałogowych Systemów Latających (BSL) do dokumentowania szkód powstałych w obrębie obszarów osuwiskowych.
5. W celu osiągnięcia wysokich dokładności obrazowania obszarów osuwiskowych wychylono kamerę niemetryczną o 80° oraz wykonano dwa wzajemnie prostopadłe naloty z pokryciem podłużnym i poprzecznym 90%.
6. Umożliwiło to lepszy wgląd teren i pozwoliło na podniesienie dokładności wysokościowej. Po wygenerowaniu Numerycznego Modelu Terenu (NMT) błąd pionowy względny wyniósł $m_h \leq 0,14$ m.
7. Precyzyjnie określono kąty nachylenia stoku w obrębie osuwiska z miejscowości Rogi-Folwark, a następnie znaleziono korelację pomiędzy kątem nachylenia stoku, a kątem tarcia wewnętrznego i spójnością (kohezją) gruntów.
8. Wytypowano miejsca w obrębie osuwiska w miejscowości Rogi-Folwark, którym najszybciej zagrożą kolejne ruchy masowe w wyniku niskiej wartości kąta tarcia wewnętrznego lub niskiej wartości spójności gruntów.
9. Współczynnik bezpieczeństwa oszacowany dla obszarów o niskiej wartości spójności gruntów wyniósł 2,52, a o niskiej wartości kąta tarcia wewnętrznego 6,83.

10. Najbardziej niebezpieczne są strome skarpy dodatkowo podcinane przez potoki – dolna aktywna część osuwiska o współczynniku 2,52. Bezpieczniejsze są środkowe części stoku, które są łagodnie nachylone – górna część osuwiska, której współczynnik wynosi 6,83.
11. Opracowania fotogrametryczne z pokryciem poprzecznym i podłużnym zdjęć rzędu 80% na terenach osuwiskowych mogą być dobrym materiałem pomiarowym i informacyjnym w procesie realizacji kolejnych etapów państwowego projektu System Osłony Przeciwosuwiskowej (SOPO).
12. Dane te mogą stanowić ważne uzupełnienie metod badawczych stosowanych w Interferometrii Satelitarnej PSI.
13. Zaprojektowany i wykorzystany w trakcie nalotów nad osuwiskiem system pomiarowy sprawdził się.

Literatura

- [1] Bajgier-Kowalska M. (2004-2005). Rola gospodarczej działalności człowieka w powstawaniu i odmładzaniu osuwisk w Karpatach fliszowych. Kraków. Folia Geographica Series Geographica-Physica, vol. XXXV-XXXVI, s. 11-30.
- [2] Grabowski D., Marciniec P., Mrozek T., Nescieruk P., Rączkowski W., Wójcik A., Zimnal Z. (2008). Instrukcja opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10000. Warszawa. CAG Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy.
- [3] Szafarczyk A. (2011). Geodezyjne metody monitoringu osuwisk. Kraków. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 2/2011, s. 293-300.
- [4] Kurkowski S., Zygmunt M. (2012). Objasnienia do Mapy Osuwisk i Terenów Zagrożonych Ruchami Masowymi w skali 1:10000 dla gminy Roźwienica. Warszawa. CAG Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy.
- [5] Popielski W., Zygmunt M. (2014). Objasnienia do Mapy Osuwisk i Terenów Zagrożonych Ruchami Masowymi w skali 1:10000 dla gminy Miejsce Piastowe. Warszawa. CAG Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy.
- [6] Piskadło R. (2010). Ekspertyza Geotechniczna dla ustalenia geotechnicznych warunków posadowienia drogi gminnej i budynku mieszkalnego nr 151 po naruszeniu stateczności zbocza osuwiskami w miejscowości Rogi, gmina – Miejsce Piastowe. Zespół Usług Geologiczno-Technicznych „HGS-EKO”. Krosno, ul. Czajkowskiego 55.
- [7] Greive A. i in. (2013): Aspects of DEM generation from UAS imagery. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W2, UAV-g2013, 4-6 September 2013, Rostock, Germany.
- [8] Gucik S., Kucharska M., Piotrowska K. (2003). Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000 ark. Rokietnica (1007) wraz z objaśnieniami. Warszawa. CAG Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy.
- [9] Oszczytko N., Ślącza A., Żytko K. (2008). Regionalizacja tektoniczna Polski. Karpaty zewnętrzne i zapadlisko przedkarpackie. Przegląd Geologiczny, 10: 927-935.
- [10] Frysztak-Woźkowska A., Zubrzycki A. (1991). Objasnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50000 ark. Rymanów (1040). Warszawa. CAG Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy.

- [11] Hałaburda R., Borczyk K., Zygmunt M., Stępień G., (2017). Analiza tworzenia Numerycznego Modelu Terenu metodami fotogrametrycznymi z kamerą ustawioną pod kątem 90° i 80°, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Artykuł w przygotowaniu do redakcji.
- [12] Kurczyński Z. (2014). Fotogrametria. Warszawa. Wydawnictwo PWN.
- [13] Skempton A.W., Delory, F.A.: Stability of Natural Slopes in London clay. Proc. 4th Int. Conf. Soil Mech 1957. 2. p. 378-389.
- [14] Stępień G., Sanecki J., Klewski A., Beczkowski K. (2016). Wyznaczanie granic użytków rolnych wykorzystaniem bezzałogowych systemów latających. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, ISSN 1732-5587, Nr III/2-2016 str. 1011-1024, Polska Akademia Nauk, Kraków.
- [15] Zygmunt M., Stępień G., Sanecki J., Klewski A. (2017). Określanie wpływu masy zabudowy na powstawanie osuwisk przy wykorzystaniu Bezzałogowych Systemów Latających. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, artykuł w przygotowaniu do redakcji.
- [16] Zydroń T., Dąbrowska J. (2012). The influence of moisture content on shear strength of cohesive soils from the landslide area around Gorlice. AGH Journal of Mining and Geoengineering. Vol 36, No 2, 2012.
- [17] Polska Norma PN-81-B-03020. Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie. UKD 624.131.5:624.15. Grupa katalogowa 0702. <http://geoportal.pgi.gov.pl> - dostęp na dzień 20.07.2017 r.

DETERMINATION CAUSES OF LANDSLIDES CREATION IN POLISH FLYSCH CARPATHIANS USING (UAV) IMAGES DATA

S u m m a r y

The article presents the problem of surveying on landslide areas in Polish Flysch Carpathians. We used close photogrammetry methods to digital imaging and determining area landslide dimensions using Unmanned Aerial Systems (UAS). Research was done on landslide located in Węgierka village, in Roźwienica commune, in Jarosław district and on landslide located in Rogi-Folwark village in Krosno district.

Described the method of processing images obtained measuring non-metric camera mounted on UAS. Designed projections centres of individual images and elements of angular orientation and interior camera. This enabled the creation and texturing of Triangular Irregular Network (TIN) models of landslides. The final result was to receive the Digital Surface Model (DSM) and orthophotomap landslide from Węgierka village. Digital Surface Model (DSM) landslide with eyelet mesh 0.10 m with big precision defined localisation and dimensions buildings on landslide from Węgierka village. Flight mission with inclined camera (80°) showed places with low cohesion and angle of internal friction value on landslide from Rogi-Folwark village. These places are the most exposed for further mass movements, fissure formation and ground displacements. For these areas Factor of Safety (FS) was calculated. It allowed to check in which area of landslide probability of new mass movements in the future is bigger.

Keywords: aerotriangulation, DSM, geological structure, angle of internal friction, cohesion, TIN

Przesłano do redakcji: 27.08.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Antonina ŻABA¹
Michał MARCHACZ²

WPROWADZENIE DO PROBLEMATYKI EKSPLOATACJI ZABYTKOWYCH KOŚCIOŁÓW W PĘTLI GLIWICKIEJ SZLAKU ARCHITEKTURY DREWNIANEJ W WOJEWÓDZTWIE ŚLĄSKIM

Przedmiotem niniejszego opracowania jest opis grupy zabytkowych, drewnianych kościołów, zlokalizowanych na drogowej trasie turystycznej, zwanej Pętlą Gliwicką Szlaku Architektury Drewnianej w województwie śląskim. w aspekcie ich eksploatacji. Pętla dzieli się na dwie mniejsze – północną i południową. W części północnej znalazły się obiekty, które w tym miejscu stały od stuleci i to ich dotyczy artykuł (wyjątek stanowi kościół w Gliwicach). Część północna Pętli Gliwickiej obejmuje tereny historycznie przynależne do ziemi toszecko-gliwickiej.

Celem opracowania jest przedstawienie wyników wstępnych badań procesu eksploatacji wyżej wymienionych kościołów prowadzonych w roku akademickim 2014-15 przez pracowników i studentów specjalności Budowlano-Architektonicznej Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

Zakres niniejszego opracowania obejmuje jedynie wybrane fragmenty badań dotyczących historii eksploatacji i nielicznych elementów jej planowania.

Eksploatacja rozumiana jako złożony proces obejmujący: użytkowanie, zasilanie, utrzymanie i zarządzanie jest jedną z faz istnienia obiektu budowlanego. Powszechnie uważa się, że inżyniera budowlanego bezpośrednio dotyczą wyłącznie zagadnienia związane z utrzymaniem, czyli zachowywaniem obiektów budowlanych w dobrym stanie technicznym i estetycznym. Zdaniem autorów artykułu tak nie jest. Zrozumienie złożoności procesu eksploatacji, a przede wszystkim potrzeb przeszłego użytkownika obiektu budowlanego oraz sposobów ich zaspakajania, jest kluczem do poprawnego zaprojektowania obiektu budowlanego. To z kolei przekłada się na większą satysfakcję użytkownika, niższe koszty zasilania i utrzymania oraz łatwiejsze gospodarowanie obiektem w ramach zarządzania nim.

Słowa kluczowe: użytkowanie budynku, zasilanie budynku, utrzymywanie budynku, kościół drewniany, Śląsk

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Antonina Żaba, Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice; tel. 322371567; antonina.zaba@polsl.pl

² Michał Marchacz, Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice; tel. 322371567; michal.marchacz@polsl.pl

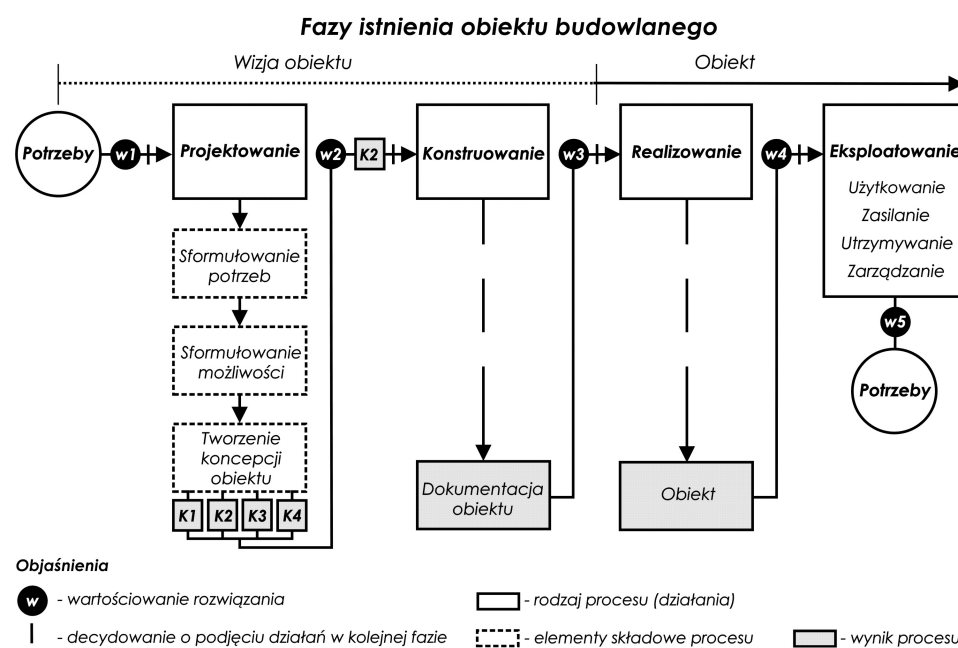
1. Wprowadzenie

Eksploatacja, w rozumieniu gwałtownie rozwijającej się dyscypliny naukowej, eksploatyki, jest złożonym procesem techniczno-ekonomicznym, który składa się z procesów: użytkowania, zasilania, obsługiwanie i zarządzania przedmiotem eksploatacji. Teoria eksploatacji zakłada, że powinniśmy myśleć o eksploatacji w kontekście środowiska, w którym żyjemy. Dokonując uogólnienia teorii eksploatyki możemy powiedzieć, że wszystko co istnieje (przedmiot, pojęcie) posiada potencjał eksploatacyjny, czyli możliwość wykorzystania dla zaspokojenia potrzeb użytkownika i pozyskania dóbr (niekoniecznie materialnych, np. satysfakcji). Podjęcie działań dla wykorzystania tego potencjału to jego eksploatacja. Sprawność eksploatacji jest różna dla różnych przedmiotów eksploatacji.

Prekursor polskiej eksploatyki Janusz Dietrych (1907-2001) w swoich pracach, pisał o specyfice budownictwa jako dyscypliny nauki i techniki, którą charakteryzuje odmienne od pozostałych dyscyplin technicznych nazewnictwo. Uwaga ta dotyczyła nazw stosowanych dla określenia podstawowych procesów identyfikowanych z fazami istnienia, czy też życia środka technicznego, jakim jest m.in. obiekt budowlany. Być może to jedna z przyczyn, dla których „budowlańcy” nie zaakceptowali powszechnie przyjętych, w innych dyscyplinach, nazw faz istnienia obiektów (środków technicznych) podzielonych na: projektowanie, konstruowanie, wytwarzanie i eksploatację. Zdaniem autorów artykułu, przyjęcie schematu zaproponowanego przez Dietrycha [1], a później wielokrotnie cytowanego i uzupełnianego [2; 3], może być pomocne w zakresie opisu obiektów istniejących i projektowanych, czyli eksploatowanych i projektowanych z myślą o przyszłej eksploatacji.

Niżej zaproponowano schemat, opisujący fazy istnienia obiektu budowlanego. Niektóre terminy stosowane w literaturze związanej z eksploatacją zastąpiono stosowanymi powszechnie w budownictwie: „wytwarzanie” zastąpiono „realizowaniem”, a „obsługiwanie” „utrzymaniem” (w części dotyczącej substancji budowlanej). Zamiany te wynikają z tradycji i nazewnictwa przyjętego w aktach prawnych związanych z budownictwem. W schemacie rozszerzono opis fazy „projektowanie”. Według teorii eksploatacji wynikiem projektowania są koncepcje rozwiązania problemu, jakim jest zaspokojenie potrzeb, które inicjują powstanie obiektu lub przekształcenia istniejącego. Po przeprowadzeniu wartościowania do kolejnego etapu wybierana jest jedna z koncepcji. Koncepcja ta jest opracowywana w postaci dokumentacji technicznej, w procesie konstruowania. Dokumentacja po przeprowadzonym wartościowaniu staje się podstawą do realizacji obiektu. Idea powiązania kolejnych faz istnienia obiektu z systemem wartościowania została zaproponowana przez Stanisława Legutko [3]. Ten sam autor proponuje rozszerzenie faz istnienia obiektu o likwidację. Autorzy artykułu proponują uznanie likwidacji za jedną z typowych potrzeb, która jest realizowana w procesie eksploatacji. W przypadku obiektów budowlanych,

zwłaszcza tych, które istnieją przez wiele lat, a czasem i stuleci, likwidacja części składowych jest przeprowadzana wielokrotnie. Całkowita likwidacja obiektu budowlanego jest procesem organizowanym przez zarządcę i to on ponosi jej koszty.



Rys. 1. Fazy istnienia obiektu budowlanego z rozszerzonym opisem fazy „Projektowanie” oraz wymienionymi elementami składowymi fazy „Ekspluataowanie”, opr. A. Żaba

Fig. 1. Phases of architectural object's existence with wider description of the “Design” phase and with pointed out elements of “Use” phase, A. Żaba

Autorzy chcą również zwrócić uwagę na to, że częściowe wyłączenie elementu składowego nie kończy procesu eksploatacji. Jeżeli częściowo wyłączymy obiekt z użytkowania, ograniczymy jego zasilanie, nie będziemy prowadzić remontów, obiekt nadal jest eksploatowany. Będzie eksploatowany niewłaściwie, a jego właściciel będzie ponosił konsekwencje takiego stanu.

2. O użytkowaniu kościołów PG SAD Śl (część północna)

Wykorzystując wyżej przedstawiony schemat w roku akad. 2014/15 gromadzono informacje na temat kościołów położonych na trasie Pętli Gliwickiej Szlaku Architektury Drewnianej w województwie śląskim, dalej określanej jako PG SAD Śl.

Tabela 1. Ogólna charakterystyka kościołów PG SAD Śl północ, opracowano na podstawie [4; 5]

Table 1. General characteristics of PG SAD Śl North, prepared according to [4; 5]

Lp.	Miejscowość	Pełniona funkcja / Wezwanie	Datowanie	
			Nawa i prezbiteria	Wieża
1.	Bojszów	k. cmentarny / Wszystkich Świętych	1506 r.	1545 r.
2.	Gliwice	k. parafialny / Wniebowzięcia NMP	1493 r.	1777 r.
3.	Gliwice Ostropa	k. filialny / św. Jerzego	lata 1667-68 pre- zbiterium murow.	1544 r.
4.	Księży Las	k. filialny / św. Michała Archanioła	koniec XV w.	---
5.	Paczyna	---	---	wolnostojąca XVI w.
6.	Poniszowice	k. parafialny / Narodzenia św. Jana Chrzciciela i Matki Boskiej Częstochowskiej	1499 r.	wolnostojąca 1520 r.
7.	Rachowice	k. parafialny / Trójcy Świętej	1668 r. prezbite- rium murow.	koniec XVIII w.
8.	Rudziniec	k. parafialny / św. Michał Archanioła	1657 r.	1853 r.
9.	Sierakowice	k. parafialny / św. Katarzyny Aleksandryjskiej	1675 r.	1675 r.
10.	Sieroty	k. parafialny / Wszystkich Świętych.	ok. 1700 r. prezb. mur. 1457 r.	ok. 1700 r.
11.	Smolnica	k. cmentarny / św. Bartłomieja	lata 1776-77	1776-77
12.	Szałsza	k. filialny / Narodzenia NMP	XVII w.	XVII w.
13.	Zacharzowice	k. cmentarny / św. Wawrzyńca	ok.1570 r.	1570 r.

Wśród trzynastu zabytkowych, drewnianych obiektów sakralnych ziemi to-szecko-gliwickiej (północnej części PG) dwanaście to kościoły. Jedenaście z nich wybudowano jako katolickie. Tylko jeden, w Smolnicy, zbudowano jako protestancki. Wszystkie na przełomie XVI i XVII wieku były użytkowane przez protestantów. Obecnie wszystkie kościoły użytkowane są jako katolickie.

Jeden kościół jest wyłączony z użytkowania. Jest to kościół zlokalizowany w Gliwicach Ostropie [7]. Użytkowania zaniechano w roku 1927, gdy oddano do użytku nowy kościół parafialny pw. Ducha Świętego. Na początku XXI wieku rozpoczęto proces rewaloryzacji obiektu. Forma przyszłego użytkowania obiektu nie została określona.

Wielokrotnie wyłączony z użytkowania był kościół pw. Wniebowzięcia NMP, który obecnie stoi w Gliwicach na terenie cmentarza nazywanego Francu-

skim i Starochozielskim. Kościół pochodzi z Zębówic koło Olesna. W roku 1925 wystawiono go na sprzedaż. Być może parafia, w której oddano do użytku nowy, monumentalny kościół w roku 1911, nie mogła czy też nie chciała ponosić kosztów eksploatacji starego obiektu. Gliwice zakupiły obiekt. W roku 1926 został on ustawiony na nowopowstającym cmentarzu Centralnym. Pełnił funkcje kościoła cmentarnego lub jak podają niektóre źródła kaplicy przedpogrzebowej i miejsca modlitwy przez około 50 lat. W latach 60. XX wieku władze kościelne planowały przekazanie obiektu jednej z nowo powstających parafii w Gliwicach. Nie doszło jednak do realizacji tych planów. Pod koniec lat 70. XX wieku, w związku ze złym stanem technicznym obiektu, podjęto decyzję o rozebraniu go i składowaniu. W roku 1989 kościół ustawiono w miejscu, w którym stoi obecnie. Dokładnie należałoby powiedzieć, że ustawiono obiekt o takich samych cechach geometrycznych (kształt i wielkość), gdyż oryginalne drewno zachowało się jedynie w zakrystii.

Wszystkim kościołom pierwotnie towarzyszyły cmentarze i tak jest do dzisiaj. Tylko cmentarz przy kościele w Ostropie wyłączono z użytkowania już na początku XX wieku. Na terenie cmentarza zaznaczona kopcem ziemnym i krzyżem jest jedna mogiła.

Prawdopodobnie wszystkie kościoły były pierwotnie ogrodzone. Obecnie w Ostropie ogrodzenie zachowało się w formie szczątkowej, a kilka kościołów ma ogrodzenia zrealizowane metodami gospodarczymi, bez uwzględnienia zabytkowego charakteru kościoła (np. w Księżym Lesie, Sierakowicach i Rudzińcu).

3. O zasilaniu kościołów PG SAD Śl (część północna)

Z historycznego punktu widzenia, kościoły były zasilane w wodę, powietrze wentylacyjne oraz oświetlenie dzienne i sztuczne (świece). Woda była przynoszona do lawaterzy, kropielnic (aspersorium), chrzcielnic oraz w celu utrzymania czystości. Zasilanie w powietrze wentylacyjne odbywało się przez nie szczelności w konstrukcjach obiektów oraz otwory drzwiowe i niewielkie otwory okienne. W okresie gwałtownego rozwoju Górnego Śląska, wiele wsi sąsiadujących z dużymi ośrodkami miejskimi stawało się miejscami zamieszkania ludności napływowej. Żeby pomieścić nowych parafian trzeba było kościoły rozbudować lub przebudować. W przypadku przebudowy, polegającej na budowie lub rozbudowie empory muzycznej konieczne było zwielokrotnienie wymiany powietrza w obiekcie. W takiej sytuacji wykonywano otwory okienne w ścianach, nie respektując obecności na nich malowideł. Przykładem takiej ingerencji jest kościół w Ostropie, gdzie otwór okienny usytuowano powyżej chóru na pokrytej siedemnastowiecznymi polichromiami ścianie północnej. Być może podobnego zabiegu dokonano na przełomie XVIII i XIX w. w nawie kościoła w Rudzińcu. Trudno to jednak stwierdzić, gdyż stolarka okienna została wymieniona na nowocześniejszą w 2 poł. XX w.

Światło świec zastąpiono światłem elektrycznym. Nie udało się ustalić, kiedy doszło do wprowadzenia takiego zasilania. Można szacować, że nie mogło to się wydarzyć przed rokiem 1898, ponieważ w tym roku elektryzowano linie tramwajową między Gliwicami i Zabrzem.

Zasilanie w energię elektryczną pozwoliło na wyposażenie kościołów w systemy alarmowe, przeciwpożarowe i ciepłne. Jednak dokumentację w zakresie dwóch pierwszych objęte są klauzurą poufności.

4. O utrzymaniu kościołów PG SAD Śl (część północna)

Działania związane z utrzymaniem obiektów budowlanych są tą częścią eksploatacji, która osoby związane z budownictwem interesuje najbardziej. Obiekty istniejące są poddawane naprawom i remontom, to jeden z typowych obszarów ich działalności. Zwykle w obiektach zabytkowych, zwłaszcza wpisanych do Rejestru Zabytków, udział ten prowadzony jest pod okiem urzędów konserwatorskich. Jeżeli dosłownie rozumieć, że utrzymanie jest to zachowanie, tego co jest, w dobrym stanie technicznym i estetycznym, to powstaje pytanie o klasyfikację tych działań w obiekcie, które mają na celu zaspokojenie nowych potrzeb powstałych w czasie prowadzonej już eksploatacji obiektu, a wynikających, zdaniem autorów, z wartościowania tego procesu przez użytkowników i zarządców. Być może w sytuacji przebudów, rozbudów, nadbudów, różnych form i zakresów adaptacji, ale również prac polegających na usuwaniu z zabytków nawarstwień, należy podzielić eksploatację na etapy.

Wśród omawianych kościołów jeden został zrekonstruowany po pożarze. Jest to kościół w Szalszy. Stanowi on wyjątek. Inne kościoły ziemi toszeckogliwickiej po pożarach nie zostały odbudowane, mimo tego, że spora część substancji zabytkowej zachowała jak to miało miejsce w Łączy.

Kroniki parafialne i protokoły wizytacyjne, które są często jedynym źródłem informacji o prowadzonych w przeszłości działaniach z zakresu utrzymania, pisane są najczęściej językiem potocznym. Dlatego czasem interpretacje tych zapisów okazują się nietrafione. Na przykład do niedawna uważano, że kościół w Sierotach uległ całkowitemu spaleni i po nim został odbudowany w nowej formie i z nowego materiału. Ostatnie badania dendrochronologiczne wykazały, jednak nieprawdziwość tej tezy [6].

Skąpe informacje o remontach prowadzonych w omawianych w artykule kościołach podano w [4; 5]. Informacje te dotyczą przede wszystkim działań prowadzonych w kościołach po katastrofach, takich np. jak pożary. W wyżej wymienionej literaturze systematycznie zarejestrowane zostały działania konserwatorskie i remontowe przeprowadzone na przełomie XIX i XX w. Informacje o pracach prowadzonych po II wojnie światowej znajdujemy przede wszystkim w kartach ewidencyjnych obiektów, w tzw. białych kartach.

5. O zarządzaniu kościołów PG SAD Śl (część północna)

W literaturze przedmiotu informacja o zarządzaniu, czyli kierowaniu gospodarowaniem kościołami ograniczona jest do informacji, kto i kiedy był zarządcą. Czasem znajdujemy informację o źródłach finansowania procesu eksploatacji. Zwłaszcza w przypadku prac prowadzonych w zabytkach w czasie, gdy uruchomione zostały fundusze europejskie. W przypadku tych funduszy wymóg informowania o źródłach finansowania jest wymogiem formalnym i skutecznie egzekwowanym. Zagadnienie finansowania procesu eksploatacji nie było szczegółowo badane, gdyż dane te są postrzegane przez zarządców jako poufne. Status taki posiadają również wszystkie dokumenty związane z wyposażeniem kościołów w zabezpieczenia przeciwwłamaniowe i przeciwpożarowe.

W roku 2014 z inicjatywy Muzeum „Górnośląski Park Etnograficzny” w Chorzowie, któremu Marszałek województwa śląskiego powierzył pełnienie funkcji operatora SAD, przeprowadzona została wśród zarządców (proboszczów) ankieta. Jej celem była próba zasięgnięcia informacji o potrzebie wsparcia działań zarządców w zakresie udostępnienia kościołów jako zabytków do zwiedzania. Zarządcy w większości przypadków wyrazili opinie o braku potrzeby takiego wsparcia.

6. Podsumowanie

Jak wynika z wywiadów przeprowadzonych przez studentów w ramach projektu [7] zagadnienia dotyczące eksploatacji nie są przez zarządców rozważane jako zespół działań o pewnym potencjale i poziomie sprawności, który można by podwyższyć. Większość zarządców zakłada, że dalsza eksploatacja kościołów, powszechnie, niewłaściwie utożsamiana z użytkowaniem, będzie prowadzona w takiej formie jak obecnie. Zdaniem autorów, rozszerzenie form użytkowania opisanych obiektów pozwoliłoby na sfinansowanie, zarówno badań dotyczących m.in. klimatu wewnętrznego jak i realizacji działań na rzecz jego poprawy. Obecnie badania takie prowadzone są jedynie w kościele w Gliwicach Ostropie.

Próby analiz procesu eksploatacji utrudnia brak kompletnych dokumentacji, zarówno architektoniczno-budowlanych, jak i elementów wystroju i wyposażenia.

Literatura

- [1] Dietrych J.: System i konstrukcja. WNT, Warszawa 1978.
- [2] Kaźmierczak J.: Eksploatacja systemów technicznych dla studentów kierunku Zarządzanie. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000.
- [3] Legutko S.: Podstawy eksploatacji maszyn i urządzeń. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 2004.

- [4] Kloss E., Rode H., Stepf W.: Die Bau- und Kunstdenkmäler des Kreises Tost-Gleitwitz, w serii: Die Bau- und Kunstdenkmäler Schlesiens, t. 5. Regierungsbezirk Kattowitz, W. G. Korn Verlag, Breslau 1943.
- [5] Dwornik-Gutowska E., Gutowski M., Kutrzebianka K.: Katalog zabytków sztuki w Polsce, tom VI: województwo katowickie, z. 5, powiat gliwicki, Rejduch-Samkowa I. i Samek j. (red.) Instytut Sztuki PAN, Warszawa 1966.
- [6] Konieczny A.: Sprawozdanie z badań dendrochronologicznych zabytkowych kościołów w województwie śląskim przeprowadzonych w 2008 roku, [w:] Wiadomości konserwatorskie województwa śląskiego. T. 1: Odkrycia. Badania. Konserwacje. Katowice: Śląski WKZ, 2009, s. 95-126 .
- [7] Żaba A. (red.): Projekt Ostropa_2015: Kościół pw. św. Jerzego w Ostropie. Opracowanie studentów specjalności S1_R_CKI_BA, Gliwice: Wydział Budownictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach 2015, (opracowanie niepublikowane).

USAGE OF ANTIQUE CHURCHES IN GLIWICE'S LOOP OF WOODEN ARCHITECTURE ROUTE IN SILESIAN VOIVODESHIP

Summary

The subject of this article is the usage of historic, wooden churches located on a sightseeing course called Gliwice's Loop of Wooden Architecture Route in Silesian Voivodeship (Pętla Gliwicka Szlaku Architektury Drewnianej w województwie śląskim).

The Loop is divided into two smaller ones – the northern and southern one. In northern part are situated objects, which are there since centuries. The northern part is historically situated in toszecko-gliwicki region. The southern part consists of following objects: one relocated, two built in the beginning of 20th century and two originating from 17th and 18th century. One of the last two churches is located in a town of toszecko-gliwicki region, like all the churches of the northern part of the Loop. The aim of this work is to present the results of a research of the usage of mentioned objects, conducted during academic year 2014/2015 by employees and students of Engineering-Architectural Specialization of Civil Engineering Faculty of Silesian University of Technology in Gliwice. The range of this article consists only of chosen parts of the research on the history of the use and a few parts of its planning.

The usage understood as complex process consisting of the use, supply, maintenance and management is one of phases of an architectural object's existence. It is common to think, that an engineer deals only with problems connected with maintenance, so keeping architectural objects in good condition, both in technical and aesthetical way. According to the authors of this article this statement is not true. To understand the complexion of the usage process and most of all needs of future architectural object's user and the ways to satisfy them is the key to proper design of architectural object. This will lead to higher satisfaction of the user, lower costs of supply and maintenance and easier management.

Keywords: building usage, building supplying, building maintenance, wooden church, Silesia

Przesłano do redakcji: 20.12.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Rafał ŻUCHOWSKI¹
Leszek DULAK²

ANALIZA ODDZIAŁYWAŃ AKUSTYCZNYCH Z ETAPU BUDOWY I EKSPLOATACJI PROJEKTOWANEGO OSIEDLA DOMÓW JEDNORODZINNYCH W SANOKU

Zgodnie z obecnie obowiązującym prawem nowe inwestycje budowlane w zależności od ich skali, zastosowanych rozwiązań projektowych oraz przyjętych technologii realizacji obiektów mogą podlegać ocenie środowiskowej. W niniejszym artykule przedstawiono odniesienie się do obecnych wymagań akustycznych dotyczących środowiska, tj. standardów akustycznych na terenach podlegających ochronie przed hałasem. Wymagania rozporządzenia w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu odnoszą się nie tylko do inwestycji na etapie jej eksploatacji ale również na poszczególnych etapach jej realizacji. Standardy akustyczne środowiska odnoszą się do warunków odpowiedniego klimatu akustycznego na każdym etapie inwestycji tj. realizacji, eksploatacji i likwidacji. Artykuł przedstawia analizę akustyczną prognozowanego oddziaływania jakie może się pojawić w trakcie wykonywania poszczególnych etapów budowy oraz po jej zakończeniu kiedy nastąpi codzienna eksploatacja budynków mieszkalnych na obszarze całego osiedla. Część badawcza pracy obejmuje analizę wpływu hałasu na sąsiadujące z inwestycją tereny chronione w odniesieniu do zakresu i sposobu prowadzenia prac budowlanych wynikających z harmonogramu robót. W tym celu w programie Soundplan opracowano modelowe warianty realizacji prac budowlanych oraz odzwierciedlono sytuację docelową a następnie wykonywano symulację rozkładu pola akustycznego w sąsiedztwie przedmiotowej inwestycji.

Słowa kluczowe: akustyka środowiska, poziom dźwięku, dopuszczalne poziomy hałasu, mapa akustyczna

1. Wprowadzenie

Opracowanie w 2008 roku ustawy [1] sprawiło, że inwestycje polegające na budowie kompleksów mieszkaniowych mogą podlegać ocenie środowiskowej na podstawie art. 84, art. 71 ust. 2 pkt. 2, art. 74 ust. 3, art. 75 ust. 3, art. 85 ust. 1 i ust. 2 pkt. 2. Ocenę taką przeprowadza stosowany organ administracji samo-

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Rafał Żuchowski, Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice; tel. 322372878; rafal.zuchowski@polsl.pl

² Leszek Dulak, Politechnika Śląska

rządowej na wniosek inwestora stosując procedurę w sprawie wydania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach zgody na realizację przedsięwzięcia mogącego znacząco oddziaływać na środowisko [2]. Oddziaływanie takiego przedsięwzięcia związane jest z emisją hałasu i zanieczyszczeń powietrza powstających od pracującego na budowie sprzętu budowlanego, transportu materiałów budowlanych oraz z emisji dróg pojazdów samochodowych mieszkańców dojeżdżających do własnych posesji. Wobec czego na etapie projektowania należy tak zaplanować działania aby wpłynęły one na ograniczenie oddziaływania inwestycji, sprowadzając je do oddziaływań lokalnych, mało znaczących i krótkotrwałych związanych tylko z czasem budowy.

2. Wymagania prawne

Ustawa o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym [9] nakłada na jednostki samorządu terytorialnego obowiązek sporządzenia planów zagospodarowania przestrzennego uchwalonych na podstawie aktualnego studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego. Zgodnie z nią miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego powinien składać się z tekstu i rysunku planu, wzajemnie się uzupełniających, zawierających m.in. takie informacje jak:

- warunki i zasady podziału terenu na działki budowlane,
- granice terenów chronionych, linie zabudowy,
- linie rozgraniczające ulice, drogi publiczne,
- przeznaczenie każdego z terenów objętego miejscowym planem zagospodarowania przestrzennego.

Na podstawie miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego określa się, czy dany teren należy do takich, które należy chronić przed hałasem co określa w ustawa [3]. Należą do nich tereny przeznaczone:

- pod zabudowę mieszkaniową,
- pod szpitale i domy opieki społecznej,
- pod budynki związane ze stałym lub czasowym pobytem dzieci i młodzieży,
- na cele uzdrowiskowe,
- na cele rekreacyjno-wypoczynkowe,
- na cele mieszkaniowo-usługowe.

W przypadku braku planu zagospodarowania przestrzennego ustawa [3] określa inny sposób kwalifikacji terenów podlegających ochronie akustycznej poprzez zastosowanie art. 115. Analizowany teren inwestycji oraz sąsiadujące z nim obszary nie posiadają planu wobec czego zgodnie z rozporządzeniem [4] standardy akustyczne zostały ustalone w oparciu o faktyczne zagospodarowanie, jak dla terenów zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej, dla których dopuszczalne poziomy hałasu przyjmują następujące wielkości:

- a) pora dzienna (600 - 2200) - 50 dB,
- b) pora nocna (2200 - 600) - 40 dB.

Lokalizację ww. terenów w stosunku do rozpatrywanej inwestycji przedstawiono na rysunku 2.

3. Metodologia

Analizowane przedsięwzięcie to inwestycja polegająca na budowie 100 budynków mieszkalnych zaplanowanych do zrealizowania przez 10 lat, zatem największe oddziaływania na etapie budowy będą potencjalnie najniekorzystniejsze przy budowie ostatnich 10 budynków, gdy równocześnie będą eksploatowane zrealizowane i zamieszkałe już pozostałe 90 budynków. Ponieważ etap budowy obejmuje kilka różnych procesów (prace ziemne, fundamentowanie, budowa ścian i stropów, budowa dachu), o różnych wymaganiach sprzętowych i czasowych, obliczenia i analizy oddziaływania hałasu przeprowadzono na podstawie opracowanego harmonogramu robót budowlanych. W wyniku analizy harmonogramu wytypowano, z uwagi na kumulowanie się hałasu różnych procesów budowlanych przy poszczególnych budynkach, czterech najbardziej niekorzystne sytuacje realizacji budowy, które wypadają w 40, 57, 75 i 101 dniu budowy ostatnich dziesięć budynków. Po zrealizowaniu wszystkich stu obiektów wykonano ponowne obliczenia aby przedstawić oddziaływania dla etapu eksploatacji całego osiedla mieszkaniowego.

3.1. Modele obliczeniowe

Obliczenia emisji hałasu ze źródeł drogowych przeprowadzono w oparciu o model francuskiej metody obliczeniowej NMPB [7] a emisji hałasu ze źródeł przemysłowych o model oparty na normie [6]. Metoda NMPB – zgodna z Załącznikiem II do Dyrektywy [2], jako dane wejściowe wykorzystuje wartości emisji z opracowania [7]. Emisje te uwzględniają różne stany ruchu zarówno przy jeździe swobodnej, jak i w trakcie przyspieszania czy wyhamowania ruchu pojazdów samochodowych. Podstawę obliczeń stanowiły czynniki, które mają wpływ na powstanie i rozprzestrzeniania się w terenie hałasu z eksploatacji dróg: parametry geometryczne dróg, natężenie ruchu, podział na kategorie pojazdów samochodowych tj. lekkie i ciężkie, średnia prędkość poruszających się pojazdów, rodzaj podłoża i zieleni występującej w otoczeniu oraz istniejąca zabudowa. Metodyka oparta na normie [6] zgodnej z dyrektywą [2] odnoszącą się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku, określona została w rozporządzeniu [5]. Algorytm poszukiwania tras propagacji fali akustycznej pomiędzy źródłem drogowym i przemysłowym a odbiorcą oparty jest na założeniu emisji z punktowych źródeł hałasu. Podstawę obliczeń stanowiły czynniki, które mają wpływ na powstanie i rozprzestrzeniania się w terenie hałasu z eksploatacji źródeł przemysłowych: moce akustyczne źródeł, miejsca ich lokalizacji oraz czasy pracy. Ochrona przed hałasem wymaga spełnienia, przez producentów i użytkowników, wymagań w zakresie emisji hałasu do środowiska, określonych w stosunku do

urządzeń przeznaczonych do użytkowania na zewnątrz pomieszczeń. Zgodnie z literaturą urządzenia te dzielą się na dwie grupy: urządzenia podlegające ograniczeniu emisji hałasu (oznacza to, że gwarantowany poziom mocy akustycznej nie powinien być przekroczony) i urządzenia podlegające tylko oznaczeniu gwarantowanego poziomu mocy akustycznej. Charakterystyka akustyczna maszyn i urządzeń stosowanych w pracach budowlanych jest oparta na mocy akustycznej, która jest miarą ilości energii wypromieniowanej przez źródło w jednostce czasu. W tabeli 1 podano wartości dopuszczalne poziomów mocy akustycznej przykładowych urządzeń, w zależności od zainstalowanej mocy netto P w [kW].

Tabela 1. Wartości dopuszczalnych poziomów mocy akustycznej urządzeń stosowanych w robotach budowlanych [8]

Table 1. Limit values of sound power levels of the equipment used in construction works [8]

Typ urządzenia	Zainstalowana moc netto P (w kW)	Dopuszczalny poziom mocy akustycznej w dB/1pW
Maszyny do zagęszczania (walce wibracyjne, płyty wibracyjne, ubijaki wibracyjne)	$P \leq 8$	105
	$8 < P \leq 70$	106
	$P > 70$	$86 + 11 \lg P$
Spycharki gąsienicowe, ładowarki gąsienicowe, koparko-ładowarki gąsienicowe	$P \leq 55$	103
	$P > 55$	$84 + 11 \lg P$
Spycharki kołowe, ładowarki kołowe, koparko-ładowarki kołowe, wywrotki, równiarki, walce niewibracyjne, maszyny do wykańczania nawierzchni	$P \leq 55$	101
	$P > 55$	$82 + 11 \lg P$
Koparki	$P \leq 15$	93
	$P > 15$	$80 + 11 \lg P$

Podobnie, jak w przypadku ciśnienia akustycznego, ze względu na szeroki przedział zmienności wartości mocy akustycznej, stosuje się skalę logarytmiczną oraz pojęcie poziomu mocy akustycznej L_w , wyrażanego w [dB]. Poziom mocy akustycznej jest podstawową wielkością charakteryzującą emisję hałasu z jego źródła i stąd jest stosowany do oceny hałasu maszyn. Obliczenia symulacyjne rozkładu pola akustycznego zgodnie z metodyką zawartą w normie [6] przeprowadzono w regularnej siatce receptorowej o boku 10 x 10 m na wysokości 4 m nad poziomem terenu, wykorzystując model 3D istniejącego terenu. Wzór (1) opisuje sposób uzyskania równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego w punkcie odbioru.

$$L_{JT}(DW) = L_w + D_c - A \text{ [dB]} \quad (1)$$

gdzie: L_{JT} – równoważny poziom ciśnienia akustycznego, dB

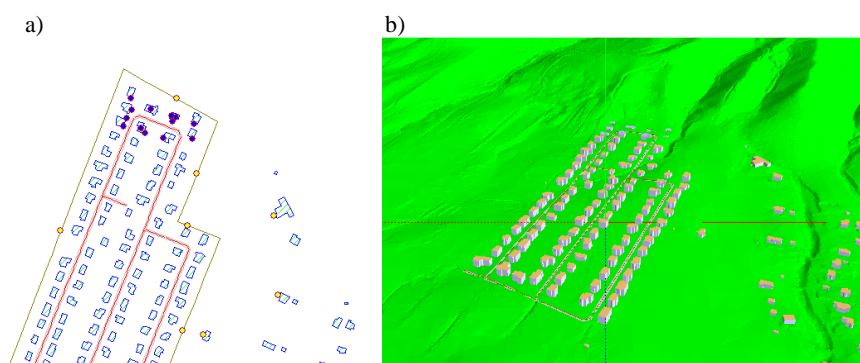
L_w – poziom mocy akustycznej punktowego źródła dźwięku, dB

D_c – poprawka wynikająca z kierunkowości źródła dźwięku, dB

A – tłumienie dźwięku, występujące podczas propagacji od źródła dźwięku do punktu odbioru, dB.

3.2. Symulacje komputerowe

Obliczenia numeryczne na potrzeby analizy akustycznej wykonano wykorzystując pakiet SoundPlan wersja 7.4, posiadający moduły służące do wprowadzania danych, ich kontroli oraz modyfikacji, modelowania parametrów źródeł hałasu, jak również generowania numerycznej mapy terenu, rys 1. Zastosowane do obliczeń oprogramowanie poza standardowym modelem obliczeniowym posiada również moduł przystosowany do prezentacji rozkładu pola akustycznego w postaci map hałasu. W czasie realizacji do budowy budynków i infrastruktury wykorzystano maszyny i urządzenia emitujące hałas oraz pojazdy służące do transportu materiałów budowlanych, budowlano – instalacyjnych i przewozu pracowników a czasie eksploatacji pojazdy użytkowników zamieszkujących oddane do użytkowania budynki. Całość tych procesów zamodelowano przypisując im odpowiednie parametry akustyczne i czasowe uzależnione od długości realizowanego procesu budowlanego.



Rys. 1. Trójwymiarowy akustyczno geometryczny model terenu analizowanej inwestycji oraz jego sąsiedztwa, a) mapa sytuacyjna projektowanego osiedla, b) model 3D projektowanego osiedla

Fig. 1. Acoustic and geometric 3D model of the investigated project and its neighborhood, a) situational map of the planned housing estate, b) 3D model of the planned housing estate

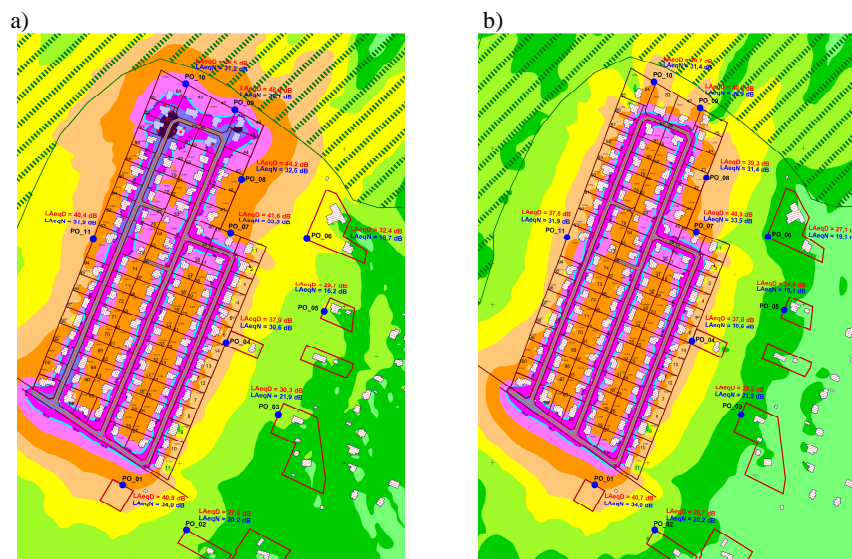
Obliczenia wykonano w wytypowanych punktach na granicy działki oraz sąsiadujących terenów podlegających ochronie przed hałasem (PO_01 ÷ PO_11). Wyniki obliczeń równoważnego poziomu dźwięku dla pory dziennej i nocnej na granicy własności inwestora dla ostatniego etapu budowy (dzień 101) oraz dla etapu eksploatacji zestawiono w tabeli 2.

Wyniki w pozostałych punktach zostały zobrazowane graficznie w odniesieniu do granic terenów podlegających ochronie przed hałasem na mapach hałasu, rysunku 2 w sąsiedztwie.

Tabela 2. Obliczenia hałasu w punktach na granicy realizowanej inwestycji

Table 2. Calculation of noise at the points along the border of the carried out project

Nr punktu	PO_04		PO_07		PO_08		PO_09		PO_10		PO_11	
	ETAP BUDOWY - DZIEŃ 101											
Przedział czasu	PD	PN	PD	PN	PD	PN	PD	PN	PD	PN	PD	PN
Poziom dźwięku [dB]	37,8	30,6	41,9	33,5	49,5	32,1	49,9	32,9	43,2	31,4	40,4	31,4
Wymagany standard [dB]	50	40	50	40	50	40	50	40	50	40	50	40
Przekroczenia poziomu dop. [dB]	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	ETAP EKSPLOATACJI											
Przedział czasu	PD	PN	PD	PN	PD	PN	PD	PN	PD	PN	PD	PN
Poziom dźwięku [dB]	37,8	30,6	41,0	33,5	39,3	31,3	40,8	32,9	39,7	31,5	37,8	31,3
Wymagany standard [dB]	50	40	50	40	50	40	50	40	50	40	50	40
Przekroczenia poziomu dop. [dB]	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–



Rys. 2. Mapy hałasu: a) w 101 dniu prowadzenia robót budowlanych, b) z etapu eksploatacji

Fig. 2. Noise map: a) of on the 101st day of construction works and during the exploitation, b) from the operation stage

4. Analiza wyników

Analiza wyników obliczeń dla poszczególnych okresów realizacji budowy pozwala na stwierdzenie, że z uwagi na prowadzenie robót budowlanych i dojazdy do poszczególnych posesji w porze daytime następuje zmiana klimatu akustycznego w zależności od czasu wykonywania poszczególnych prac budowlanych na dziesięciu realizowanych obiektach. Wartości równowaznego poziomu dźwięku w najniekorzystniejszych etapach budowy w porze daytime są następujące: na granicy inwestycji poziom dźwięku w czterdziestym dniu budowy wynosi: $L_{AeqD} = 37,9 \div 48,0$ dB, w 57 dniu budowy wynosi: $L_{AeqD} = 37,8 \div 49,4$ dB a w 75 i 101 dniu budowy wynosi: $L_{AeqD} = 37,8 \div 47,0$ dB, a na granicy terenów chronionych poziom dźwięku w 40 i 57 dniu budowy wynosi: $L_{AeqD} = 27,6 \div 40,8$ dB w 75 i 101 dniu budowy wynosi: $L_{AeqD} = 27,7 \div 40,7$ dB.

W porze nocnej oddziaływanie hałasu związane jest tylko z dojazdami do zamieszkałych w 90% posesji mieszkalnych i wynosi w całym okresie budowy na granicy inwestycji $L_{AeqN} = 30,6 \div 33,5$ dB a na granicy sąsiadujących terenów mieszkaniowych $L_{AeqN} = 16,2 \div 34,0$ dB. Etap eksploatacji to oddziaływanie związane z dojazdami do posesji mieszkańców oraz przejazdu pojazdów komunalnych, po uwzględnieniu których oddziaływanie będą na następującym poziomie: na granicy inwestycji w porze daytime: $L_{AeqD} = 37,8 \div 40,9$ dB, a w porze nocnej: $L_{AeqN} = 30,6 \div 33,5$ dB. Natomiast na granicy terenów podlegających ochronie akustycznej poziom dźwięku w porze daytime wyniósł: $L_{AeqD} = 24,0 \div 40,7$ dB, a w porze nocnej: $L_{AeqN} = 16,1 \div 34,0$ dB.

5. Wnioski

Uwzględniając uwarunkowania związane z oddziaływaniem hałasu oraz lokalizację terenów wymagających ochrony przed hałasem, planowana realizacja osiedla mieszkaniowego Olchowce w Sanoku nie wymaga stosowania urządzeń ochrony przed hałasem. Występujące oddziaływanie nie przekroczy ustalonych poziomów dopuszczalnych na granicy terenu własności Inwestora i nie będą powodowały ponadnormatywnego wpływu na klimat akustyczny terenów chronionych w jego sąsiedztwie. Zwiększone emisje hałasu w czasie wykonywania prac budowlanych nie będą powodować przekroczeń poziomów dopuszczalnych. Będą to oddziaływanie okresowe, krótkotrwałe i odwracalne, które ustąpią po zakończeniu realizacji inwestycji.

Literatura

- [1] Ustawa o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko, Dz. U. z 2008 r nr 199, poz. 1227 z późniejszymi zmianami.

- [2] Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25 czerwca 2002 r. odnosząca się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku, Dz. U. L. nr 189 z dnia 18 lipca 2002 r.
- [3] Ustawa Prawo ochrony środowiska z dnia 27 kwietnia 2001, Dz. U. 2001 nr 62, poz. 627 z późniejszymi zmianami.
- [4] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14.06.2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku, Dz. U. nr 120, poz. 826.
- [5] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4 listopada 2008 w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji oraz pomiarów ilości pobieranej wody, Dz. U. nr 206, poz. 1291.
- [6] ISO 9613-2: „Akustyka – zmniejszanie propagacji dźwięku na otwartej przestrzeni: Część 2: Ogólne metody obliczeń”.
- [7] Francuska krajowa metoda obliczeń „NMPB-Routes - 96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)”, określona w „Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal Officiel du 10 mai 1995, art. 6” i francuskiej normie „XPS 31-133”.
- [8] Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń używanych na zewnątrz pomieszczeń w zakresie emisji hałasu do środowiska, Dz. U. 2005 nr 263, poz. 2202.
- [9] Ustawa o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym, Dz. U. 2003 nr 80, poz. 717 z późniejszymi zmianami.

ACOUSTIC ANALYSIS OF THE IMPACTS INVOLVING THE CONSTRUCTION AND EXPLOITATION STAGE OF THE PLANNED ESTATE OF SINGLE-FAMILY HOUSES IN SANOK

Summary

Under current law, when entering a construction project to the environment, its scale and the applied design solutions and technology implementation shall be subject to peer review. This article presents a reference to the applicable acoustic requirements concerning the environment, i.e. permissible noise levels in the areas protected against the noise of industrial nature. The applicable requirements of the Regulation on permissible noise levels refer not only to the project itself in its exploitation stage but also to particular stages of its implementation. The said requirements involve ensuring proper acoustic climate at every stage of the project, i.e. implementation, operation and decommissioning. The paper presents the acoustic analysis of the forecasted impact that may arise during the particular phases of construction works and after the completion of the project, during everyday exploitation of the buildings in the whole housing estate. The research part of the paper comprises the analysis of noise impact on the protected areas neighboring with the project in view of the scope and methods of the construction works carried out under the schedule. For this purpose, in the program Soundplan, model variants of the construction works were worked out as well as the target situation, where after the simulations of the distribution of the acoustic field in the vicinity of the project were carried out.

Keywords: acoustics environment, sound level, permissible noise levels, acoustic maps

Przesłano do redakcji: 23.12.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Arkadiusz KAMPCZYK¹

PRZYKŁADNICA MAGNETYCZNO-POMIAROWA W POMIARACH STRZAŁEK EKSPLOATACYJNYCH ROZJAZDU ZWYCZAJNEGO

W pracy omówiono zagadnienia dotyczące pomiarów strzałek eksploatacyjnych toru zwrotnego w rozjeździe zwyczajnym z uwzględnieniem pomiarów autorskich. Położenie toru zwrotnego w płaszczyźnie poziomej ocenia się na podstawie wyników pomiarów strzałek na stałej cięciwie. Wartości dopuszczalne strzałek krzywizny w rozjazdach zwyczajnych zależą od promienia toru zwrotnego rozjazdu. Długości cięciwy, wartości dopuszczalne strzałek krzywizny i krok (odcinka x_i) pomiaru strzałek jest zależna od promienia kierunku zwrotnego rozjazdu. W artykule opisano wyniki pomiarów strzałek eksploatacyjnych, które zostały uzyskane z zastosowaniem przykładnicy magnetyczno-pomiarowej (ang. magnetic-measuring square – MMS). Publikacja skupia się na zastosowaniu autorskiego przyrządu pomiarowego MMS w pomiarach strzałek eksploatacyjnych w dwóch trybach:

- z trzpieniem z prowadnicą, płytką krawędziową oraz z linką pomiarową i smyczkiem pomiarowym (pozwala na pomiar strzałek dla różnych długości cięciw w zależności od rodzaju i typu rozjazdu),
- z trzpieniem 2M, płytką krawędziową, minipryzmatem GMP111.

Uzyskane wyniki badań, potwierdzają przydatność zastosowania przyrządu MMS w pomiarach strzałek eksploatacyjnych. Autorskie rozwiązanie wpisuje się w tematykę prac geodezyjnych i prac diagnostycznych, stanowiąc ich optymalizację. Badania udzieliły również odpowiedzi na pytanie, w jakim stanie znajduje się położenie toru zwrotnego w płaszczyźnie poziomej. Instrukcja o oględzinach, badaniach technicznych i utrzymaniu rozjazdów Id-4 wymaga prowadzenia dokumentacji technicznej w postaci Arkusza Uzupełniającego Badania Technicznego pomiarów strzałek. MMS zapewnia pozyskiwanie danych do dokumentacji technicznej. W pracy przedstawiono autorskie spostrzeżenia i wnioski. Artykuł powstał w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.150.005.

Słowa kluczowe: MMS, tor zwrotny, strzałki łuku toru, krzywizna w rozjazdach, strzałkomierz

¹ Arkadiusz Kampczyk, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Katedra Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: kampczyk@agh.edu.pl lub arkadiusz.kampczyk@gmail.com

1. Wprowadzenie

Strzałki f_i krzywej toru kolejowego, pomierzone na jednej i kolejnych cięciwach, charakteryzują kształt krzywizny określonej krzywej toru (obejmującej: łuk, krzywe przejściowe). Pomiar jest prowadzony od środka cięciwy do środka krzywej. Z kolei strzałki f_i krzywej toru zwrotnego rozjazdu zwyczajnego, jako strzałki eksploatacyjne podlegają pomiarowi metodą strzałek przy nieruchomej – jednej cięciwie (zwaną też metodą stałej cięciwy). Poszczególne typy rozjazdów zwyczajnych, charakteryzują się różnymi promieniami łuku toru zwrotnego, a tym samym różnymi długościami cięciw. Inne są również punkty odciętej x_i na cięciwie, w których przeprowadza się pomiar z bazy pomiarowej stanowiącej jedną nieruchomą i stałą cięciwę. Pomiar strzałek eksploatacyjnych jest wykonywany indywidualnie dla każdego typu rozjazdu zwyczajnego. Każdy typ rozjazdu zwyczajnego charakteryzuje się indywidualną długością nieruchomej cięciwy, w stosunku do której prowadzi się pomiar strzałek eksploatacyjnych w odległościach Δl odległych w przedziale 2,5÷3,5 m. W pracy [1] wykazano dwie grupy strzałek w rozjazdach zwyczajnych toru zwrotnego:

- strzałki montażowe,
- strzałki eksploatacyjne.

Instrukcja o oględzinach, badaniach technicznych i utrzymaniu rozjazdów Id-4 (D-6) [2] określa zasady pomiaru strzałek eksploatacyjnych wraz z podaniem wartości dopuszczalnych odchyłek strzałek eksploatacyjnych f_{min} i f_{max} w punktach o odciętej x_i dla cięciw ściśle określonych do danego typu rozjazdu zwyczajnego. Wartości dopuszczalne strzałek krzywizny w rozjazdach zwyczajnych zależą od promienia toru zwrotnego rozjazdu. Instrukcja ta wymaga też prowadzenia dokumentacji technicznej w postaci Arkusza Uzupełniającego Badania Technicznego pomiarów strzałek.

W pracy [1] przedstawiono wyniki pomiarów strzałek montażowych toru zwrotnego w rozjazdach zwyczajnych, stosując metodę strzałek odmierzanych od stałej cięciwy. Zadaniem przeprowadzonych badań w [1], było sprawdzenie możliwości zastosowania przykładnicy magnetyczno-pomiarowej [3] w pomiarach strzałek montażowych w torze zwrotnym rozjazdu w wersji z linką pomiarową. Dodatkowo wykonano pomiary z zastosowaniem teodolitu ET-10 SOUTH z zastosowaniem metody stałej prostej. Uzyskane wyniki badań w [1] wykazały, że zastosowanie przyrządu MMS w wersji z linką pomiarową i jego elementów składowych (modułów) ma pozytywny wpływ na podwyższenie jakości kształtowania prac pomiarowych wykonywanych w transporcie szynowym.

Z kolei w pracy [4] zawarto wyniki prac nad geometrią połączenia torów dwoma rozjazdami zwyczajnymi o jednakowych skosach, które zostały uzyskane z zastosowaniem MMS z minipryzmatem GMP111 i tachymetrem Leica TC407. Zastosowanie odpowiedniego trybu pracy, umożliwiło uzyskanie poprawnych danych, celem ich dalszego użycia w podejmowaniu decyzji o stanie

utrzymania infrastruktury kolejowej. W pracy tej wykazano wyniki pomiarów uzyskanych z przykładnicy magnetyczno-pomiarowej z adapterem do montażu sygnałów referencyjnych do skanerów. Stosując naziemny skaning laserowy z użyciem skanera laserowego Leica ScanStation C10. Sygnał referencyjny został zamontowany za pośrednictwem adaptera do montażu sygnałów referencyjnych na przykładnicy MMS, a ta zamontowana na szynie typu kolejowego. Punkt środkowy sygnału referencyjnego znajdował się w osi pionowej wyznaczonej przez MMS. Pomiary wykazały zadawalające wyniki.

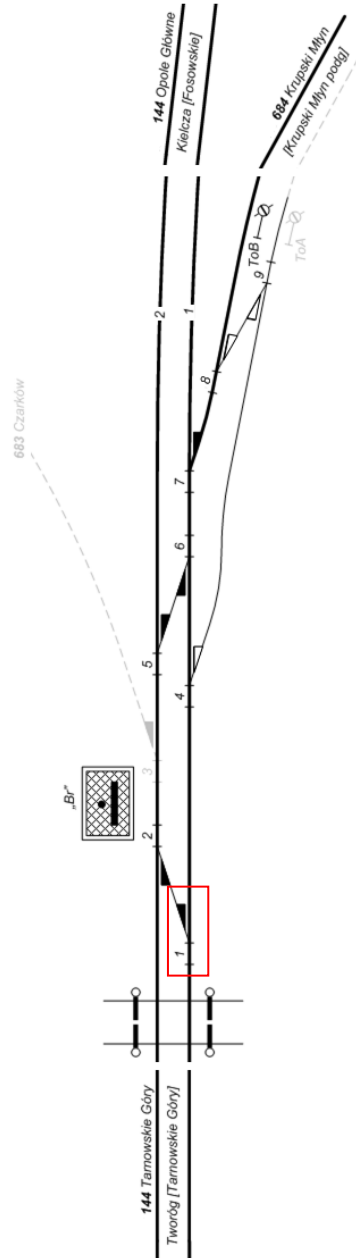
Budowę i elementy składowe przykładnicy magnetyczno-pomiarowej omówiono w pracach [1, 3] stwierdzając, że MMS stanowi optymalizację prac pomiarowych, poprzez jej uniwersalność. Jednak w pracach [1, 4] nie zawarto wyników badań zastosowania przykładnicy w pomiarach strzałek eksploatacyjnych.

Publikacja ta stanowi kontynuację artykułu [1, 4] i jest częścią kompleksowych badań z zastosowaniem przykładnicy magnetyczno-pomiarowej.

H. Bałuch i M. Bałuch w pracy [5] i J. Bałuch w [6] stwierdzają, że:

- zniekształcenia toru zwrotnego w czasie eksploatacji, w tym również zużycie boczne szyn łączących (jednakowe na całej długości lub nierównomierne), nie powinno wywoływać zmian przyrostów przyśpieszeń większych niż $\psi = 0,5 \text{ m/s}^3$,
- pomiar strzałek w torach zwrotnych rozjazdów powinien być wykonywany w stałych odległościach Δl mieszczących się w granicach $2,5 \div 3,5 \text{ m}$,
- dla każdego rozjazdu o danym promieniu toru zwrotnego powinny zostać opracowane wykresy do sprawdzania poprawności jego krzywizny.

Pomiar strzałek na stałej cięciwie w torze zwrotnym rozjazdu z użyciem MMS przeprowadzono w rozjeździe zwyczajnym nr 1 zlokalizowanym w miejscowości Borowiany, w kilometrze 20,821 linii kolejowej 144 Tarnowskie Góry – Opole Główne w torze nr 1, zakwalifikowanym jako tor główny zasadniczy czynny i eksploatowany. Rozjazd nr 1 jest typu S60 – 1:9 – 300, kierunku lewego (zamkniętym w kierunku zasadniczym jazdy taboru kolejowego na wprost). Jazda taboru kolejowego w kierunku parzystym i nieparzystym (tj. w kierunku głównym i powrotnym) odbywa się tylko po torze zwrotnym rozjazdu tj. odgałęźnym. Charakteryzuje się zamknięciem suwakowym i krzywownicą z dziobem zgrzewno-spawanym. Rozjazd wyprodukowano i wbudowano w 1980 r., podsypką jest tłuczeń naturalny, zastosowano podrozjazdnice drewniane (rys. 1, 2).



Rys. 1. Plan schematyczny „posterunku odgałęźnego Podg Br – Borowiany” – linii kolejowej 144 (opracowano na podstawie [7])

Fig. 1. The schematic diagram of "junction signal box Podg Br – Borowiany" – railway line 144 (based on [7])



Rys. 2. Rozjazd zwyczajny nr 1 typu S60 – 1:9 – 300 (fotografia własna)

Fig. 2. Single turnout No. 1 type S60 – 1: 9 – 300 (own photograph)

Celem przeprowadzonych badań było sprawdzenie możliwości użycia przykładnicy magnetyczno-pomiarowej [3] w pomiarach strzałek eksploatacyjnych w torze zwrotnym rozjazdu typu S60 – 1:9 – 300 w trybie:

- z trzpieniem z prowadnicą, płytką krawędziową oraz z linką pomiarową i smyczkiem pomiarowym (długość cięciwy dostosowano do rodzaju i typu rozjazdu),
- z trzpieniem 2M, płytką krawędziową, minipryzmatem GMP111 oraz tachymetrem Leica TC407 nr 697413.

W pracy przedstawiono obliczenia granicznych wartości promieni łuków wyznaczających wartości strzałki, w tym dopuszczalne odchyłki strzałek eksploatacyjnych. Zwrócono uwagę na występujące rozbieżności w regulacjach prawnych. Wyniki pomiarów udzieliły również odpowiedzi na pytanie, w jakim stanie znajduje się krzywizna toru zwrotnego rozjazdu typu S60 – 1:9 – 300. W artykule przedstawiono autorskie spostrzeżenia i wnioski. Artykuł powstał w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.150.005.

2. Graniczne wartości promieni łuków wyznaczających wartości strzałki

Prędkość V na kierunku zwrotny w rozjeździe bez przechyłki obliczono z wzoru (1) [8]:

$$V = 3,6 \cdot \sqrt{0,65 \cdot R} \left[\frac{km}{h} \right] = 50 \left[\frac{km}{h} \right] \quad (1)$$

gdzie: R – promień łuku w rozjeździe w [m].

Prędkość $V = 50$ km/h w rozjeździe zwyczajnym typu S60 – 1:9 – 300 potwierdza również Lichtberegger w pracy [9].

Rozjazd zwyczajny lewy, charakteryzuje się wartością promienia projektowanego $R_p = 300$ m. Długość cięciwy $l = 14$ m. Pomiary strzałek przeprowadzono w punktach o odciętej x_i : 3,5 m; 7,0 m; 10,5 m. Wartość stałych odległości $\Delta l = 3,5$ m. Przyrost przyśpieszeń $\psi = 0,5$ m/s³. Czas przejazdu t na długości Δl jest obliczony z wzoru (2) [5]:

$$t = \frac{3,6 \cdot \Delta l}{V} = 0,252 \quad (2)$$

Przyrost przyśpieszeń, jaki może nastąpić w tym czasie, określa wzór (3) [5]:

$$\Delta a = \psi \cdot t = 0,126 \quad (3)$$

Nominalna wartość przyśpieszenia w torze zwrotnym rozjazdu przy prędkości V oblicza się z wzoru (4) [5]:

$$a_n = \frac{V^2}{12,96 \cdot R} = 0,643 \quad (4)$$

Górną i dolną granicę strzałek wyznaczają przyśpieszenia a_{max} i a_{min} , obliczone z wzorów (5) i (6) [5]:

$$a_{max} = a_n + \frac{\Delta a}{2} = 0,706 \quad (5)$$

$$a_{min} = a_n - \frac{\Delta a}{2} = 0,580 \quad (6)$$

Graniczne wartości promieni łuków wyznaczających strzałki są obliczone na podstawie wzorów (7) i (8) [5]:

$$R_{max} = \frac{V^2}{12,96 \cdot a_{min}} = 332,59 \approx 333m \quad (7)$$

$$R_{min} = \frac{V^2}{12,96 \cdot a_{max}} = 273,23 \approx 273m \quad (8)$$

Strzałkę łuku f_i o promieniu R , mierzoną na cięciwie o długości l w punkcie odległym od początku cięciwy o x_i oblicza się z wzoru (9) [5]:

$$f_i = \frac{x_i(l-x_i)}{2 \cdot R} \quad (9)$$

Obliczenia strzałki łuku f_i dla wartości promienia projektowanego $R_p = 300$ m w punktach o odciętej x_i : 3,5 m; 7,0 m; 10,5 m:

$$f_{x=3,5} = 0,0613 \text{ m} = 61,3 \text{ mm}$$

$$f_{x=7,0} = 0,0817 \text{ m} = 81,7 \text{ mm}$$

$$f_{x=10,5} = 0,613 \text{ m} = 61,3 \text{ mm}$$

Obliczenia odchyłek dopuszczalnych strzałek łuku f_{min} dla wartości promienia granicznego w punktach o odciętej x_i : 3,5 m; 7,0 m; 10,5 m:

$$f_{min\ x=3,5} = 0,0552 \text{ m} = 55,2 \text{ mm}$$

$$f_{min\ x=7,0} = 0,0736 \text{ m} = 73,6 \text{ mm}$$

$$f_{min\ x=10,5} = 0,0552 \text{ m} = 55,2 \text{ mm}$$

Obliczenia odchyłek dopuszczalnych strzałek łuku f_{max} dla wartości promienia granicznego w punktach o odciętej x_i : 3,5 m; 7,0 m; 10,5 m:

$$f_{max\ x=3,5} = 0,0673 \text{ m} = 67,3 \text{ mm}$$

$$f_{max\ x=7,0} = 0,0897 \text{ m} = 89,7 \text{ mm}$$

$$f_{max\ x=10,5} = 0,0673 \text{ m} = 67,3 \text{ mm}$$

Dopuszczalne wartości strzałek w rozjeździe o $R = 300$ (tablica 20-6 Id-4 (D-6)) [2] zostały określone dla $V = 50$ km/h (tabela 1).

Warunki techniczne utrzymania nawierzchni kolejowej Id-1 (D-1) [8] określają również dopuszczalne prędkości w torze zwrotnym rozjazdu, z których wynika, że dla rozjazdu zwyczajnego typu S60 – 1:9 – 300 prędkość V powinna być ≤ 40 km/h. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie [10] określa, że przy układaniu rozjazdów o promieniu łuku rozjazdu 300 lub 190 m o skosie 1:9 dopuszczalna prędkość pociągu w torze zwrotnym powinna być ≤ 40 km/h. Jeżeli do obliczeń granicznych wartości promieni łuków wyznaczających wartości strzałki, przyjmie się $V = 40$ km/h wówczas otrzymana wartość $R_{max} = 372$ m, zaś $R_{min} = 251$ m. Obliczone odchyłki dopuszczalnych strzałek łuku f_{max} i f_{min} będą wówczas posiadać większe pole tolerancji.

3. Pomiar strzałek eksploatacyjnych w torze zwrotnym rozjazdu zwyczajnego o $R = 300$ m

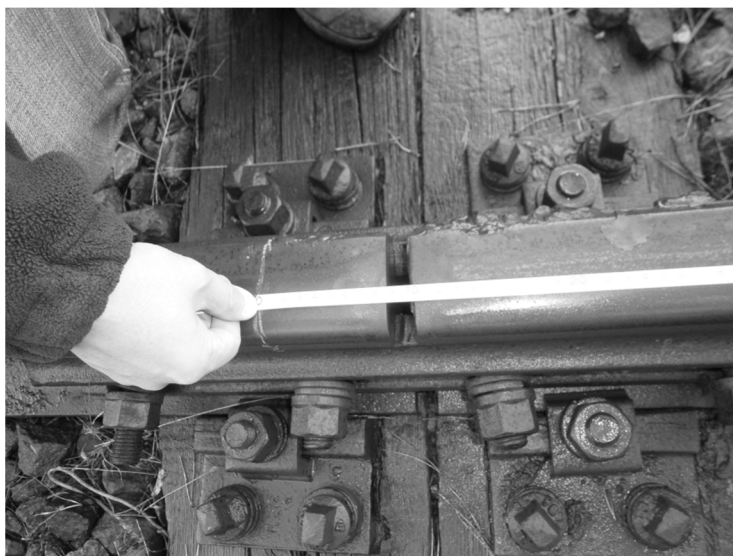
Dopuszczalne wartości maksymalne i minimalne strzałek krzywizny oraz krok pomiaru określa instrukcja Id-4 (D-6) [2] (tabela 1).

Tabela 1. Dopuszczalne wartości strzałek w rozjeździe R-300 (tablica 20-6 Id-4 (D-6)), na podstawie [2]

Table 1. Acceptable values versines in single turnout R-300 (Table 20-6 Id-4 (D-6)), based on [2]

Dopuszczalne strzałki f_i [mm] w punkcie o odciętej x_i [m]					
$x = 3,5$		$x = 7,0$		$x = 10,5$	
$f_{max} = 67$	$f_{min} = 55$	$f_{max} = 90$	$f_{min} = 73$	$f_{max} = 67$	$f_{min} = 55$

Instrukcja Id-4 (D-6) [2] zaleca przeprowadzić analizę i ocenę położenia torów zwrotnych w płaszczyźnie poziomej na podstawie pomiarów strzałek na stałej cięciwie o długości zależnej od promienia toru zwrotnego. Wartości dopuszczalne strzałek krzywizny zależą od promienia toru zwrotnego rozjazdu. Wartości dopuszczalne strzałek krzywizny, odpowiednie długości cięciwy i krok pomiaru strzałek definiuje instrukcja Id-4 (D-6) w tablicach 20-5÷20-9 [2]. Instrukcje Id-4 (D-6) [2] i GK-1 [11] nie określają wyznaczenia punktu początkowego i końcowego stałej cięciwy (nieruchomej cięciwy). Należy odwołać się do nieobowiązującej instrukcji D-19 [12], która w §36 pt. „Dokumentacja odbioru robót torów i rozjazdów po naprawach”, definiuje zasady wyłukowania rozjazdów, określa wartości liniowe umożliwiające wyznaczyć punkt początkowy i końcowy stałej cięciwy. Jednak w etapie początkowym należy prawidłowo wyznaczyć punkt początkowy rozjazdu, bowiem często punkt początkowy rozjazdu eksploatowanego jest przesunięty. Kredą oznaczono punkt początkowy rozjazdu nr 1 (rys. 3).



Rys. 3. Wyznaczenie punktu początkowego rozjazdu zwyczajnego nr 1 (fotografia własna)

Fig. 3. Designation of the starting point "single turnout" No. 1 (own photograph)

Pomiar strzałek eksploatacyjnych w rozjeździe nr 1 typu S60 – 1:9 – 300 w torze zwrotnym przeprowadzono w trzech punktach znajdujących się w stałych odległościach $\Delta l = 3,5$ m, tj. 3,5 m, 7,0 m i 10,5 m. Pomiar strzałek eksploatacyjnych wykonano z zastosowaniem MMS z linką pomiarową, długość cięciwy wynosiła 14 m (rys. 4 i 5) oraz z minipryzmatem GMP111 (rys. 6).



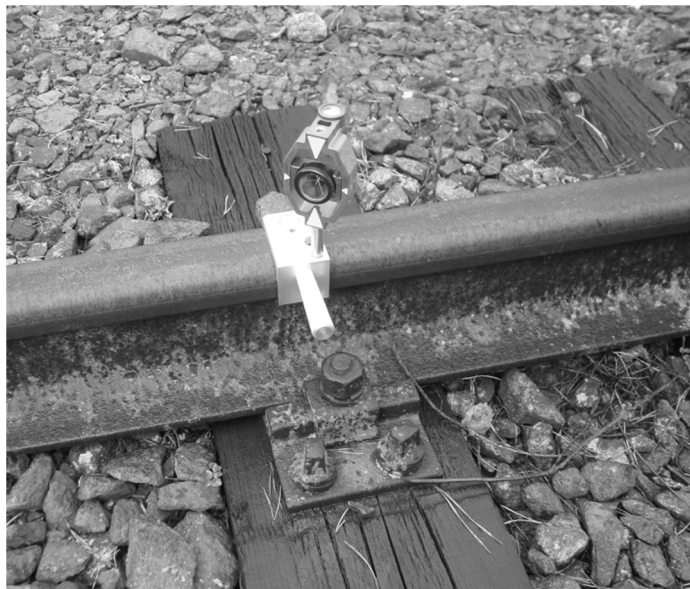
Rys. 4. Przykładnica magnetyczno-pomiarowa z linką pomiarową (fotografia własna)

Fig. 4. A magnetic-measuring square with taut – measuring line (own photograph)



Rys. 5. Smyczek pomiarowy w płaszczyźnie poziomej (fotografia własna)

Fig. 5. A measuring archet in a horizontal plane (own photograph)



Rys. 6. Przykładnica magnetyczno-pomiarowa z minipryzmatem GMP111 (fotografia własna)

Fig. 6. A magnetic-measuring with GMP111 mini-prism (own photograph)

Tabela 2 zawiera arkusz uzupełniający badania technicznego z wynikami pomiarów strzałek eksploatacyjnych na stałej cięciwie o długości wynoszącej 14 m. Wyniki pomiarów wykonanych w poszczególnych trybach oznaczono dla przyrzędu MMS:

- z linką pomiarową – kolorem brązowym,
- z minipryzmatem GMP111 – kolorem zielonym.

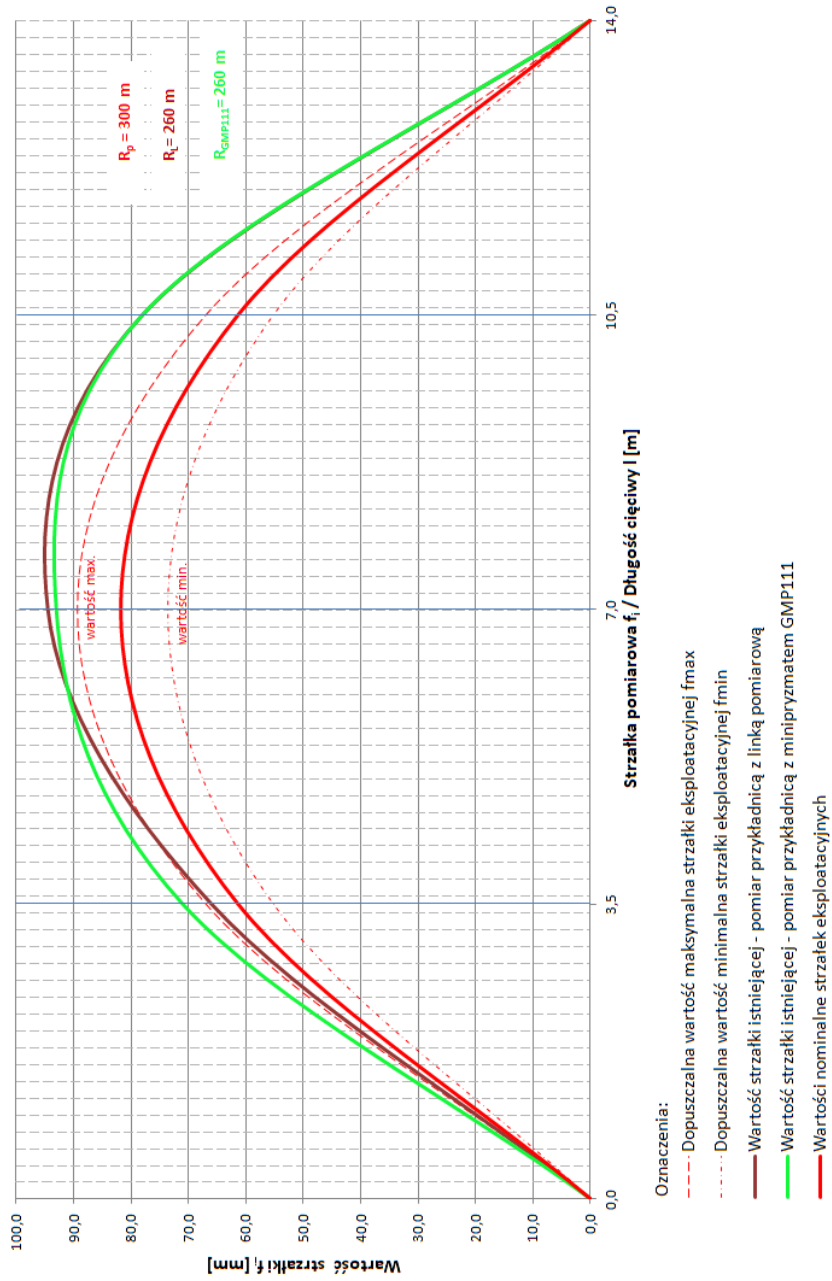
Kolorem czerwonym oznaczono wartości strzałek eksploatacyjnych nominalnych. Rysunek 7 zawiera wykres strzałek eksploatacyjnych w torze zwrotnym rozjazdu nr 1. Linie przerywane czerwone na wykresie określają dopuszczalną górną i dolną granicę wartości strzałek toru zwrotnego, zgodne z wartościami f_{max} i f_{min} wykazanymi w tabeli 1 dla wartości promienia granicznego w punktach o odciętej x_i : 3,5 m; 7,0 m; 10,5 m. Linia ciągła czerwona oznacza wartości nominalne strzałek eksploatacyjnych dla których wartość promienia projektowanego wynosi $R_p = 300$ m. Wykres strzałek eksploatacyjnych opracowany na podstawie danych z MMS z linką pomiarową oznaczono kolorem brązowym, natomiast dla pomiarów przeprowadzonych z minipryzmatem GMP111 oznaczono kolorem zielonym. Wartość promienia istniejącego obliczonego na podstawie pomiarów przykładnicą magnetyczno-pomiarową z linką pomiarową wynosi $R_L = 259$ m ≈ 260 m, zaś z minipryzmatu GMP111 wynosi $R_{GMP111} = 263$ m ≈ 260 m. Graniczne wartości promieni łuku dla toru zwrotnego odpowiednio wynoszą $R_{max} = 333$ m i $R_{min} = 273$ m. Istniejąca wartość promienia toru zwrotnego eksploatowanego jest przekroczone.

Tabela 2. Arkusz uzupełniający badania technicznego – pomiar strzałek eksploatacyjnych

Table 2. Sheet complementary technical examination – measurement versines in exploitation

Odcięta x_i [m]:	3,5	7,0	10,5
Dopuszczalna wartość maksymalna strzałki eksploatacyjnej f_{max} [mm]	67	90	67
Dopuszczalna wartość minimalna strzałki eksploatacyjnej f_{min} [mm]	55	73	55
Wartość strzałki istniejącej - pomiar przykładnicą z linką pomiarową [mm]	66	95	78
Wartość strzałki istniejącej - pomiar przykładnicą z minipryzmatem GMP111 [mm]	71	93	78
Wartość strzałki eksploatacyjnej nominalnej [mm]	61	82	61

Tor zwrotny rozjazdu zwyczajnego uległ zniekształceniu w wyniku ciągłej eksploatacji. Przekraczając dopuszczalne odchyłki strzałek łuku f_{max} dla wartości promienia granicznego w punktach o odciętej x_i : 3,5 m; 7,0 m; 10,5 m. Wprowadzenie zamknięcia ruchu w torze zasadniczym i utrzymanie eksploatacji ruchowej, tylko w torze zwrotnym rozjazdu w dwóch kierunkach, powoduje nieprawidłowości toru zwrotnego. Zniekształcenie w płaszczyźnie poziomej jest największe w części końcowej ($x_i = 10,5$ m) i centralnej ($x_i = 7,0$ m) wyłukowania toru zwrotnego. Maksymalna różnica wartości strzałki istniejącej w stosunku do nominalnej występuje w punkcie o odciętej $x_i = 10,5$ m wynosząc 17 mm, która w odniesieniu do wartości odchyłki dopuszczalnej f_{max} jest przekroczona o 11 mm. Zniekształcony łuk kołowy toru zwrotnego charakteryzuje się nie tylko nieprawidłowymi wartościami strzałek eksploatacyjnych dla stałej cięciwy, ale posiada również nieprawidłowe położenie względem osi torowiska i wierzchołka kąta zwrotu. Promień łuku istniejącego uległ zmniejszeniu na całej długości tego łuku, przekraczając wartość promienia granicznego.



Rys. 7. Wykresy strzałki eksploatacyjnej w torze zwrotnym rozjazdu

Fig. 7. Charts Versines in exploitation in diverging routes – tracks

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych prac pomiarowych z użyciem MMS w pomiarach strzałek eksploatacyjnych toru zwrotnego rozjazdu zwyczajnego stwierdzono, że:

- umożliwia montaż pryzmatów geodezyjnych (standardowych jak i specjalnych) z usytuowaniem stanowiska tachymetru poza strefą czynną (eksploatowaną) torowiska,
- oś pionowa pryzmatów geodezyjnych w zależności od celu pomiaru elementów infrastruktury kolejowej jest odniesiona do punktu dolnej wewnętrznej lub zewnętrznej krawędzi głównej szyny toru lub punktu wyznaczonego 14 mm poniżej górnej tocznej powierzchni główki szyny,
- zapewnia pracę modułową, w zależności od celu pomiaru dobierając odpowiedni tryb pracy,
- zastosowanie w trybie pracy z pryzmatami geodezyjnymi zwiększa szybkość przeprowadzenia prac pomiarowych w strefie czynnej infrastruktury kolejowej, a tym samym skraca konieczność bezpośredniego przebywania na torach eksploatowanych,
- rozmiar elementów szklanych w pryzmacie, ich geometria i rozmieszczenie w obudowie, powłoka, orientacja w przestrzeni, posiadają wpływ na dokładność pomiaru. MMS umożliwia zastosowanie w tego typu pomiarach m.in. modułowych pryzmatów kulowych z bazową płytą centrującą,
- zapewnia szybki montaż i demontaż na szynie, umożliwiając pomiar w czynnych torach i rozjazdach, z zachowaniem zasad bezpieczeństwa i higieny pracy.

Warunkami utrudniającymi realizację prac pomiarowych w trakcie eksploatacji są również: niekorzystne warunki oświetleniowe, drgania przejeżdżającego taboru kolejowego, zapylenia, warunki atmosferyczne, zanieczyszczenia i smar elementów konstrukcyjnych rozjazdu, dobór stanowiska tachymetru itp.

Wyniki pomiarów z zastosowaniem MMS, wykazały zdeformowany stan krzywizny toru zwrotnego rozjazdu typu S60 – 1:9 – 300, przekraczając dopuszczalne odchyłki strzałek łuku toru zwrotnego. Przykładnica magnetyczno-pomiarowa zapewnia prawidłowe i bezpieczne prowadzenie prac pomiarowych strzałek eksploatacyjnych w rozjazdach i w torach kolejowych.

Literatura

- [1] Kampczyk A.: Pomiar strzałek montażowych toru zwrotnego w rozjeździe. Przegląd Geodezyjny, nr 5, 2017, s. 4-9.
- [2] Instrukcja o oględzinach, badaniach technicznych i utrzymaniu rozjazdów Id-4 (D-6), PKP PLK S.A., Warszawa 2015.
- [3] Kampczyk A.: Przykładnica magnetyczno-pomiarowa i jej zastosowanie. Zgłoszenie patentowe P.420214.
- [4] Kampczyk A.: Systemy wspomagania procesów decyzyjnych w infrastrukturze kolejowej, Trendy i rozwiązania technologiczne – odpowiedź na potrzeby współczesnego społeczeństwa, Wydawnictwo Naukowe Tygiel, Tom 2, s. 44-60, Lublin 2017.

- [5] Bałuch H., Bałuch M.: Eksploatacyjne metody zwiększenia trwałości rozjazdów kolejowych, Wydawca Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa, Warszawa 2009.
- [6] Bałuch J.: System oceny nierówności poziomych w rozjazdach kolejowych. Problemy Kolejnictwa, Z. 142, 2006, s. 85-114.
- [7] <https://semaforek.kolej.org.pl/wiki/images/a/a3/Borowiany.png> {dostęp: 27.08.2017 r.}.
- [8] Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych Id-1 (D-1), PKP PLK S.A., Warszawa 2005.
- [9] Lichtberger B.: Handbuch Gleis: Unterbau, Oberbau, Instandhaltung, Wirtschaftlichkeit. DVV Media Group GmbH/Eurailpress, Hamburg 2010.
- [10] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie (Dz.U. 1998 nr 151 poz. 987).
- [11] Standard techniczny „O organizacji i wykonywaniu pomiarów w geodezji kolejowej” GK-1. Uchwała Nr 8 Zarządu PKP S.A. z dnia 12 stycznia 2016 r. w sprawie przyjęcia Standardu technicznego „O organizacji i wykonywaniu pomiarów w geodezji kolejowej” GK-1, Warszawa 2015.
- [12] Instrukcja o organizacji i wykonywaniu pomiarów w geodezji kolejowej D-19. Załącznik do Zarządzenia Nr 144 Zarządu PKP z dnia 23 października 2000 r.

A MAGNETIC-MEASURING SQUARE IN MEASUREMENT OF EXPLOITATION VERSINES IN SINGLE TURNOUTS

Summary

This paper discusses issues related to measuring the sagittas (versines) of a diverging track in a normal turnout (single turnout), and includes proprietary measurements. The position of a diverging track in horizontal plane is determined based on the results of measurements of sagittas at a fixed chord. The permissible values of curvature sagittas in normal turnouts are dependent on the radius of the turnout's diverging track. The chord length, the permissible values of curvature sagittas, and the step (abscissa x_i) of the sagittas measurement is dependent on the radius of the turnout's reverse direction. The article discusses results of measurements of sagitta values that were obtained with the use of a magnetic-measuring square (MMS). This publication is based on the use of a proprietary MMS instrument for measuring sagittas in two modes:

- using a mandrel with a guide, an edge plate, and a measurement rope and measurement bow (allows to measure sagittas for different chord lengths, depending on the type and kind of turnout),
- using a 2M mandrel, edge plate, GMP111 mini-prism.

The obtained results confirm the usability of the MMS instrument for measuring sagittas. The proprietary solution may be categorized under geodetic and diagnostic works, constituting their optimization. The research also provided an answer to the question of the diverging track's condition in horizontal plane. The Id-4 manual for inspections, technical assessment and maintenance of turnouts necessitates drawing up technical documentation in the form of a Supplementary Sheet for Technical Inspection of sagitta measurements. MMS ensures the obtaining of data for the technical documentation. The paper includes proprietary observations and conclusions. The article was prepared as part of the AGH statutory research no. 11.11.150.005.

Keywords: MMS, turnout (diverted track), track curve versines, curvature of turnouts, Versine Measuring Device (Versine Measuring Instrument)

Przesłano do redakcji: 30.08.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Anna WERNER-JUSZCZUK¹

WPLYW ROZMIESZCZENIA IZOLACJI CIEPLNEJ W ŚCIANIE ZEWNĘTRZNEJ NA PRACĘ OGRZEWANIA ŚCIENNEGO

W referacie określono wpływ sposobu rozmieszczenia izolacji cieplnej w ścianie zewnętrznej z ogrzewaniem ściennym wodnym typu A na jego wydajność cieplną, temperaturę powierzchni oraz straty ciepła. Analizę przeprowadzono dla dwóch wariantów rozmieszczenia izolacji: jedna warstwa izolacji cieplnej od strony środowiska zewnętrznego, oraz dwie warstwy izolacji: jedna na powierzchni zewnętrznej ściany, druga bezpośrednio pod warstwą tynku z rurami. Wariant drugi obejmuje trzy zmienne grubości izolacji cieplnej bezpośrednio pod rurami. W obu wariantach łączny opór cieplny izolacji jest sobie równy. Obliczenia przeprowadzono dla zmiennej temperatury powietrza zewnętrznego i czynnika grzewczego, oporu cieplnego izolacji i warstwy wykończeniowej, rozstawu przewodów. Analizę przeprowadzono na podstawie wyników obliczeń numerycznych przenikania ciepła w ścianie z ogrzewaniem ściennym wykonanych za pomocą programu wykorzystującego metodę elementów brzegowych (MEB). Stwierdzono, że dla analizowanych zmiennych parametrów konstrukcyjnych grzejnika oraz środowiska zewnętrznego wykonanie izolacji cieplnej w dwóch warstwach a nie jednej ma pomijalny wpływ na wydajność cieplną grzejnika ściennego (zmiana maksymalnie o 2,5%) oraz na średnią temperaturę powierzchni grzejnika ściennego i straty ciepła do środowiska zewnętrznego. Rozmieszczenie izolacji cieplnej wpływa natomiast na rozkład izoterm wewnątrz przegrody z grzejnikiem ściennym. Zastosowanie warstwy izolacji cieplnej pod rurami powoduje, że bezwładność cieplna grzejnika ściennego maleje, ze względu na mniejszą masę przegrody budowlanej do nagrzania, co poprawia właściwości regulacyjne systemu.

Słowa kluczowe: ogrzewanie płaszczyznowe, straty ciepła, wydajność cieplna, temperatura powierzchni

1. Wprowadzenie

Ogrzewanie ścienne należy do systemów ogrzewania płaszczyznowego, które są coraz częściej projektowane i wykonywane w budynkach jednorodzinnych, wielorodzinnych, obiektach sakralnych i medycznych. Są to systemy ni-

¹ Anna Werner-Juszczuk, Politechnika Białostocka, Katedra Ciepłownictwa, Ogrzewnictwa i Wentylacji, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok; tel. 857469633; a.juszczuk@pb.edu.pl, <http://orcid.org/0000-0002-5460-7874>

skotemperaturowe, w których temperatura czynnika grzewczego nie przekracza 55°C , w związku z czym znajdują one zastosowanie w budynkach ogrzewanych za pomocą energooszczędnych źródeł ciepła, takich jak kotły gazowe kondensacyjne czy źródła ciepła wykorzystujące odnawialne źródła energii, np. pompy ciepła. Takie źródła ciepła pracują z najwyższą sprawnością w zakresie niskich wartości temperatury czynnika grzewczego, wskutek czego zastosowanie niskotemperaturowych systemów grzewczych, np. ogrzewania ściennego, wpływa na zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych ogrzewania budynku [1]. Wykorzystanie ogrzewania ściennego w budynku może spowodować zmniejszenie zużycia energii na cele ogrzania budynku o prawie 30% w odniesieniu do budynku z tradycyjnym ogrzewaniem grzejnikowym, przy jednocześnie większych kosztach inwestycyjnych [2]. W pracy [3] stwierdzono, że przy tej samej temperaturze czynnika grzewczego ogrzewanie ścienne charakteryzuje się niższą temperaturą powierzchni grzewczej oraz wyższą średnią temperaturą powietrza w pomieszczeniu niż ogrzewanie podłogowe, co przesądza na korzyść ogrzewania ściennego, którego wykorzystanie w budynkach będzie skutkowało zmniejszeniem zużycia paliwa.

Ogrzewanie ścienne jest zdecydowanie mniej popularne niż ogrzewanie podłogowe. Jednak w budynkach słabo izolowanych, w pomieszczeniach, w których powierzchnie są zajęte w znacznym stopniu przez wyposażenie, zastosowanie ogrzewania podłogowego może być niewystarczające, aby zapewnić wymaganą wydajność cieplną instalacji grzewczej. Wówczas można zastosować ogrzewanie ścienne jako uzupełnienie ogrzewania podłogowego, co jest zalecane przy niskotemperaturowych źródłach ciepła, np. pompach ciepła. Znacznym ograniczeniem ogrzewania podłogowego jest maksymalna temperatura powierzchni podłogi, która wpływa na maksymalną wydajność cieplną grzejnika, a tym samym możliwość pokrycia projektowego obciążenia cieplnego pomieszczenia. W porównaniu do ogrzewania podłogowego temperatura powierzchni grzejnika ściennego może być wyższa. Norma PN-EN ISO 11855-1 [4] rekomenduje maksymalną temperaturę powierzchni ściany z grzejnikiem płaszczyznowym $T_{s,max} = 35 - 50^{\circ}\text{C}$. Według norm PN-EN ISO 11855-3 [5] oraz PN-EN 1264-3 [6] średnia temperatura powierzchni ściany powinna wynosić dla pomieszczeń mieszkalnych $T_{s,m} = 40^{\circ}\text{C}$. Skutkuje to większą wydajnością cieplną ogrzewania ściennego z 1 m^2 w porównaniu do ogrzewania podłogowego, dla którego maksymalna temperatura powierzchni w zależności od przeznaczenia pomieszczenia wynosi $29-33^{\circ}\text{C}$.

Ogrzewanie ścienne, podobnie jak ogrzewanie podłogowe, zapewnia większy stan zadowolenia z komfortu cieplnego wśród użytkowników niż systemy wysokotemperaturowe, wykorzystujące grzejniki konwekcyjne. Odczuwanie zadowolenia z komfortu cieplnego w pomieszczeniu z ogrzewaniem ściennym spowodowane jest obecnością dużych pionowych powierzchni grzewczych o optymalnej temperaturze [7] oraz dzięki małemu pionowemu gradientowi temperatury w pomieszczeniu $<1\text{ K/m}$ [3]. W pomieszczeniu z ogrzewaniem

ściennym obserwuje się mniejszą cyrkulację powietrza niż w pomieszczeniu z ogrzewaniem podłogowym, co przekłada się na poziom zadowolenia z komfortu cieplnego [3].

W zależności od rodzaju medium przenoszącego ciepło ogrzewanie ścienne dzieli się na:

- ogrzewanie wodne,
- ogrzewanie powietrzne,
- ogrzewanie elektryczne,
- ogrzewanie fazowe (z wykorzystaniem rurek ciepła tzw. *heat pipe*).

Systemy ogrzewania ściennego wodnego mogą być wykonywane w systemie suchego i mokrego montażu. System mokrego montażu to rury przymocowane do warstwy konstrukcyjnej ściany, usytuowane w warstwie tynku o grubości od 25 do 40 mm [8]. Małe grubości tynku są możliwe do wykonania jedynie przy zastosowaniu specjalnych tynków dedykowanych systemom ogrzewania ściennego. Ogrzewanie ścienne, w porównaniu do ogrzewania podłogowego w systemie mokrego montażu, charakteryzuje się mniejszą bezwładnością cieplną, ze względu na mniejszą grubość tynku niż wylewki, w której usytuowane są przewody z rurami (minimum 45 mm nad rurą), co ułatwia regulację hydrauliczną instalacji. Systemy suchego montażu stanowią rury mocowane w profilowanych płytach styropianowych przymocowanych do ściany, które są następnie przykryte płytami suchego jastrychu. Przedmiotem tej pracy są systemy ogrzewania wodnego w systemie mokrego montażu.

Grzejniki ścienne mogą być usytuowane w ścianach wewnętrznych i zewnętrznych, przy czym zalecany jest możnaż na ścianach zewnętrznych, w okolicach okien i drzwi.

Ważną kwestią jest sposób rozmieszczenia izolacji cieplnej w przegrodach z ogrzewaniem ściennym. Według norm PN-EN 1264 i PN-EN ISO 11855 izolacja cieplna w ścianach zewnętrznych i wewnętrznych pomiędzy pomieszczeniami ogrzewanymi a nieogrzewanymi może być wykonana jako jednowarstwowa lub dwuwarstwowa. W przypadku jednej warstwy, ze względów cieplnych i wilgotnościowych (minimalizowanie ryzyka wystąpienia kondensacji powierzchniowej na powierzchni przegrody), izolacja cieplna powinna być usytuowana od strony środowiska zewnętrznego. Izolacja cieplna dwuwarstwowa składa się z jednej warstwy usytuowanej od środowiska zewnętrznego oraz drugiej bezpośrednio pod rurami.

W artykule określono wpływ rozmieszczenia izolacji cieplnej w ścianie wewnętrznej na wydajność cieplną grzejnika ściennego, temperaturę jego powierzchni oraz straty ciepła. Analizę przeprowadzono w oparciu o obliczenia numeryczne wykonane za pomocą programu wykorzystującego metodę elementów brzegowych (MEB), opracowanego w Katedrze Ciepłownictwa, Ogrzewnictwa i Wentylacji Politechniki Białostockiej. Wykonano analizę pracy grzejnika ściennego usytuowanego w ścianie zewnętrznej dla dwóch wariantów izolacji cieplnej: jednej warstwy izolacji usytuowanej na zewnętrznej powierzchni prze-

grody oraz dwóch warstw izolacji: pierwszej na powierzchni zewnętrznej przegrody, drugiej bezpośrednio pod rurami. Uwzględniono zmienną grubość izolacji bezpośrednio pod rurami. Analiza obejmuje zmienny opór cieplny izolacji oraz warstwy wykończeniowej ściany, zmienną temperaturę otoczenia i stałą temperaturę powietrza wewnętrznego, zmienny rozstaw przewodów.

2. Izolacja cieplna ścian z ogrzewaniem ściennym

Minimalny opór cieplny izolacji przegród budowlanych z ogrzewaniem ściennym określono w normach PN-EN 1264-4 [9] oraz PN-EN ISO 11855-5 [10], dotyczących projektowania, wymiarowania i montażu wodnych systemów ogrzewania płaszczyznowego. Wymagania w zakresie oporu cieplnego izolacji ogrzewania ściennego są takie same jak dla ogrzewania podłogowego (tabela 1).

Tabela 1. Minimalny opór cieplny izolacji poniżej rur w systemach ogrzewania płaszczyznowego, według norm PN-EN 1264-4 oraz PN-EN ISO 11855-5

Table 1. Minimum thermal resistance of insulation below pipes in surface heating systems, in accordance with standards PN-EN 1264-4 and PN-EN ISO 11855-5

Środowisko po drugiej stronie grzejnika		Minimalny opór cieplny izolacji [m ² K/W]
Pomieszczenie ogrzewane		0,75
Pomieszczenie nieogrzewane lub czasowo nieogrzewane		1,25
Podłoga na gruncie/ściana przy gruncie		1,25
Powietrze zewnętrzne	$T_e \geq 0 \text{ } ^\circ\text{C}$	1,25
	$0 \text{ } ^\circ\text{C} > T_e \geq -5 \text{ } ^\circ\text{C}$	1,5
	$-5 \text{ } ^\circ\text{C} > T_e \geq -15 \text{ } ^\circ\text{C}$	2,0

W Polsce obliczeniowa temperatura zewnętrzna jest niższa niż ta prezentowana w normach PN-EN 1264 oraz PN-EN ISO 11855, w związku z tym minimalną wartość oporu cieplnego izolacji dla warunków klimatycznych Polski określa się poprzez ekstrapolację (tabela 2).

Producenci ogrzewania płaszczyznowego zalecają, aby ogrzewanie ścienne było montowane w ścianach zewnętrznych o wartościach współczynnika przenikania ciepła $U < 0,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ [8]. Jeśli współczynnik przenikania ciepła U przekracza wartość $0,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, ścianę należy dodatkowo zaizolować. Ten wymóg ma zastosowanie do budynków istniejących. Dla nowo wybudowanych budynków wymagany współczynnik przenikania ciepła U jest niższy, zgodnie z warunkami technicznymi, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (tabela 3) [11].

Tabela 2. Minimalny opór cieplny izolacji ogrzewania ściennego dla stref klimatycznych Polski według [12]

Table 2. Minimal thermal resistance of wall heating insulation for climate zones in Poland according to [12]

Strefa klimatyczna	Temperatura powietrza zewnętrznego [°C]	Minimalny opór cieplny izolacji [m ² K/W]
I	-16	2,05
II	-18	2,15
III	-20	2,25
IV	-22	2,35
V	-24	2,45

Tabela 3. Wymagania w zakresie izolacyjności cieplnej ścian zewnętrznych według WT [11]

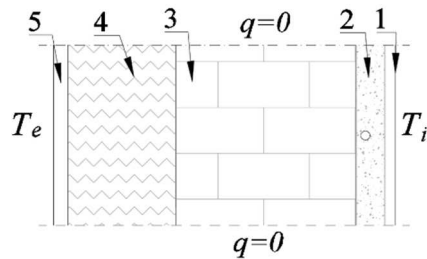
Table 3. Requirements for thermal insulation of external walls according to WT [11]

Wymagania obowiązujące po	Maksymalny współczynnik przenikania ciepła ściany [W/m ² ·K]	Minimalny opór cieplny ściany [m ² K/W]
01.01.2014 r.	0,25	4,00
01.01.2017 r.	0,23	4,35
01.01.2021 r.	0,20	5,00

W przypadku ogrzewania ściennego montowanego w ścianach wewnętrznych, według norm PN-EN 1264 oraz PN-EN ISO 11855 ściana może być zaizolowana, wówczas opór cieplny dobiera się według wymagań w tabeli 1. Norma PN-EN ISO 11855 dopuszcza również brak izolacji cieplnej przegrody wewnętrznej z grzejnikiem ściennym.

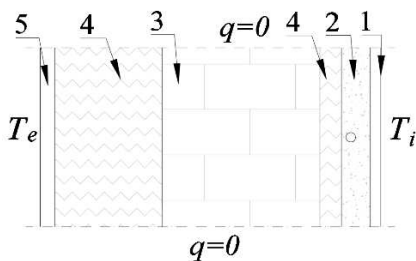
3. Model obliczeniowy grzejnika ściennego

Model do obliczeń numerycznych zbudowano w oparciu o wymagania określone w normach PN-EN ISO 11855 i PN-EN 1264 oraz wytyczne producentów systemów ogrzewania ściennego [8]. Przyjęto dwa warianty rozmieszczenia izolacji cieplnej w ścianie zewnętrznej. Wariant A (rys. 1) obejmuje zastosowanie jednej warstwy izolacji na zewnętrznej powierzchni przegrody. W wariantcie B (rys. 2) izolacja cieplna jest podzielona na dwie warstwy: pierwsza znajduje się na powierzchni zewnętrznej przegrody, druga jest usytuowana bezpośrednio pod rurami. Całkowity opór cieplny izolacji w obu wariantach jest sobie równy.



Rys. 1. Schemat grzejnika ściennego w przegrodzie zewnętrznej – wariant A izolacji (oznaczenia według tabeli 4)

Fig. 1. Scheme of a wall heating in the outer wall - variant A of isolation (markings according to table 4)



Rys. 2. Schemat grzejnika ściennego w przegrodzie zewnętrznej – wariant B izolacji (oznaczenia według tabeli 4)

Fig. 2. Scheme of a wall heating in the external wall - variant B of isolation (specification according to table 4)

Przyjęto następujące założenia dotyczące konstrukcji grzejnika ściennego oraz ściany zewnętrznej (rys. 1 i 2):

- grzejnik wodny typu A,
- rura PE-Xc, $D = 14 \times 2$ mm, $\lambda_R = 0,35$ W/(m·K),
- opór cieplny warstwy wykończeniowej $R_{\lambda,b} = 0,02; 0,05; 0,1; 0,15$ (m²·K)/W,
- rozstaw przewodów $W = 0,1; 0,15; 0,2; 0,25$ m,
- temperatura zasilania czynnika grzewczego $T_V = 30, 35, 40, 45, 50^\circ\text{C}$,
- schłodzenie czynnika grzewczego 5 K,
- temperatura powietrza wewnętrznego w pomieszczeniu $T_i = 20^\circ\text{C}$,
- temperatura powietrza zewnętrznego $T_e = -20, -10, 0, 10^\circ\text{C}$,
- średnia prędkość przepływu wody instalacyjnej 0,3 m/s,
- grubość izolacji bezpośrednio pod rurami $d_{ins} = 0$ (wariant A izolacji – rys. 1), 20, 30 i 50 mm (wariant B izolacji – rys. 2).
- współczynnik przenikania ciepła ściany zewnętrznej:
 $U = 0,20; 0,23; 0,25$ W/(m²·K),
- współczynnik przewodzenia ciepła pozostałych materiałów budowlanych według tabeli 4,

- współczynnik przejmowania ciepła z powierzchni grzejnika $\alpha = 8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,
- współczynnik przejmowania ciepła na granicy woda - wewnętrzna powierzchnia rury α_w wyznaczono ze wzoru (1) [13]:

$$\alpha_w = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} \quad (1)$$

gdzie: Nu – liczba Nusselta [-],

d – wewnętrzna średnica rury [m],

λ – współczynnik przewodzenia ciepła wody [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$].

Tabela 4. Charakterystyka elementów grzejnika ściennego

Table 4. Characteristics of the wall heating elements

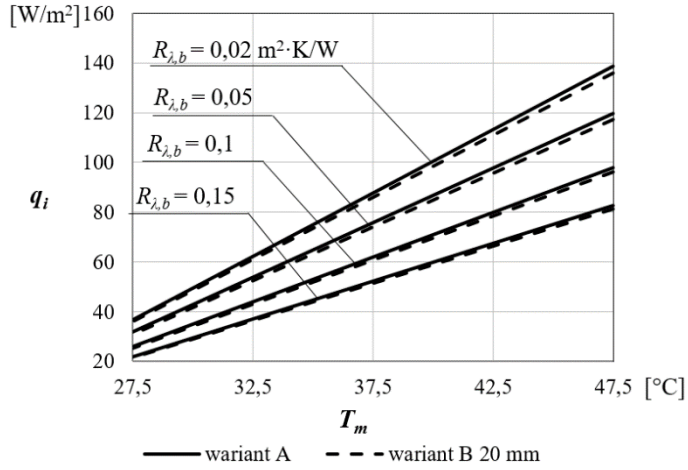
Nr	Materiał	λ [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]	Grubość [m]
1	warstwa wykończeniowa	0,5; 0,2; 0,1; 0,0667	0,01
2	tynek	0,32	0,03
3	cegła silikatowa drążona	0,8	0,25
4	styropian	0,042	0,02÷0,20
5	tynek mineralny na siatce	0,8	0,02

Obliczenia numeryczne przeprowadzono za pomocą programu komputerowego, wykorzystującego metodę elementów brzegowych (MEB), opracowanego w Katedrze Ciepłownictwa, Ogrzewnictwa i Wentylacji Politechniki Białostockiej.

4. Analiza wyników

W wyniku obliczeń numerycznych otrzymano rozkład temperatury na powierzchniach oraz wewnątrz analizowanych struktur budowlanych z ogrzewaniem ściennym oraz wartości gęstości strumienia ciepła emitowanego z powierzchni grzejnika ściennego.

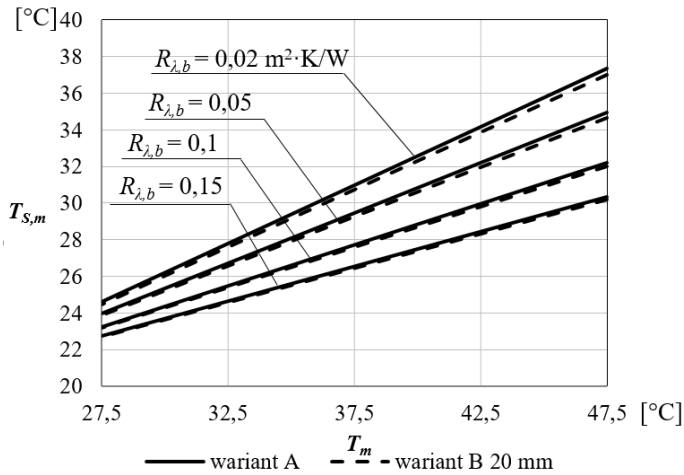
Na podstawie wyników obliczeń stwierdzono, że w zależności od średniej temperatury czynnika grzewczego T_m gęstość strumienia ciepła przekazywanego z powierzchni grzejnika q_i zmienia się o 2 – 2,5%, jeżeli zamiast jednej warstwy izolacji na powierzchni zewnętrznej przegrody (wariant A) zastosuje się dwie warstwy, w tym jedną bezpośrednio pod rurami (wariant B) (rys. 3).



Rys. 3. Wydajność cieplna q_i grzejnika ściennego dla wariantu A i B izolacji cieplnej ($U = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $W = 0,1 \text{ m}$)

Fig. 3. Thermal efficiency q_i of a wall heating for the variant A and B of thermal insulation ($U = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $W = 0,1 \text{ m}$)

Zastosowanie dwóch warstw izolacji (wariant B) zamiast jednej (wariant A) w małym stopniu wpływa na wartość średniej temperatury powierzchni grzejnika $T_{S,m}$. Różnica pomiędzy wartościami $T_{S,m}$ dla wariantu A i B izolacji wynosi maksymalnie 0,3 K (rys. 4).

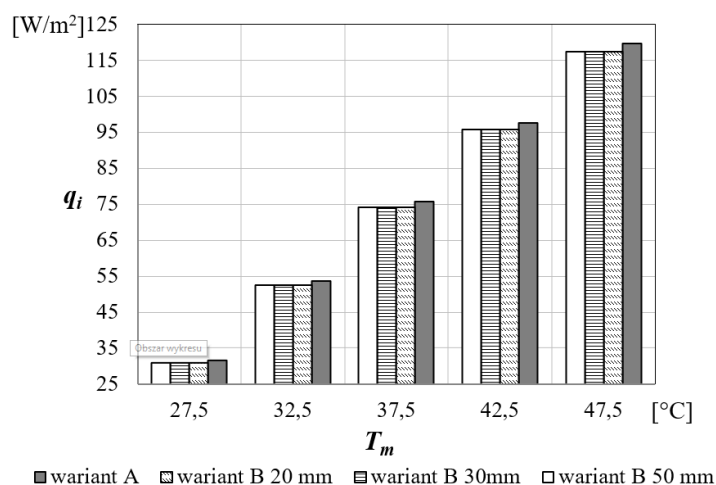


Rys. 4. Średnia temperatura powierzchni $T_{S,m}$ grzejnika ściennego dla wariantu A i B izolacji cieplnej ($U = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $W = 0,1 \text{ m}$)

Fig. 4. Average surface temperature $T_{S,m}$ of a wall heating for the variant A and B of thermal insulation ($U = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $W = 0,1 \text{ m}$)

W dalszej kolejności przeprowadzono analizę gęstości strumienia ciepła emitowanego z powierzchni grzejnika ściennego q_i dla trzech grubości warstwy izolacji cieplnej bezpośrednio pod rurami w wariantcie B izolacji: 20, 30 i 50 mm.

Zastosowanie zmiennej grubości warstwy izolacji bezpośrednio pod rurami (wariant B) ma pomijalny wpływ na gęstość strumienia ciepła q_i przekazywanego z powierzchni grzejnika oraz na średnią temperaturę jego powierzchni $T_{S,m}$. Różnice w wartościach q_i dla trzech analizowanych wariantów grubości izolacji 20, 30 i 50 mm wynoszą maksymalnie $0,02 \text{ W/m}^2$ dla zmiennej wartości średniej temperatury wody w rurach T_m (rys. 5).

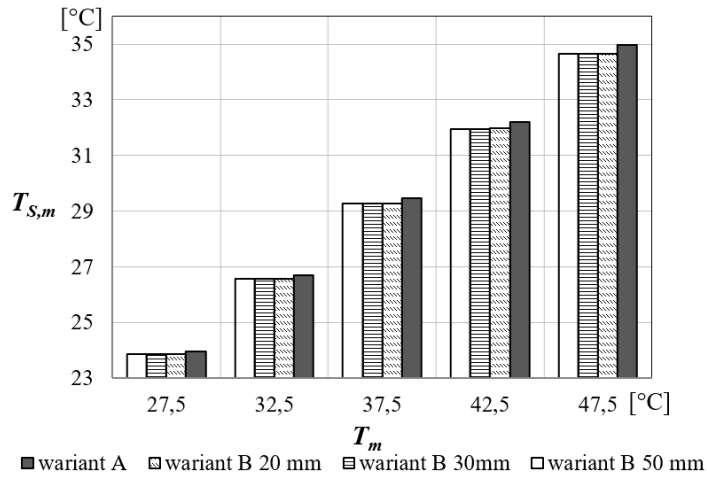


Rys. 5. Wydajność cieplna grzejnika ściennego q_i w zależności od wariantu izolacji cieplnej ($U = 0,25 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$; $W = 0,1 \text{ m}$; $R_{\lambda,b} = 0,05 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$)

Fig. 5. Thermal efficiency q_i of a wall heating depending on the variant of thermal insulation ($U = 0,25 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$; $W = 0,1 \text{ m}$; $R_{\lambda,b} = 0,05 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$)

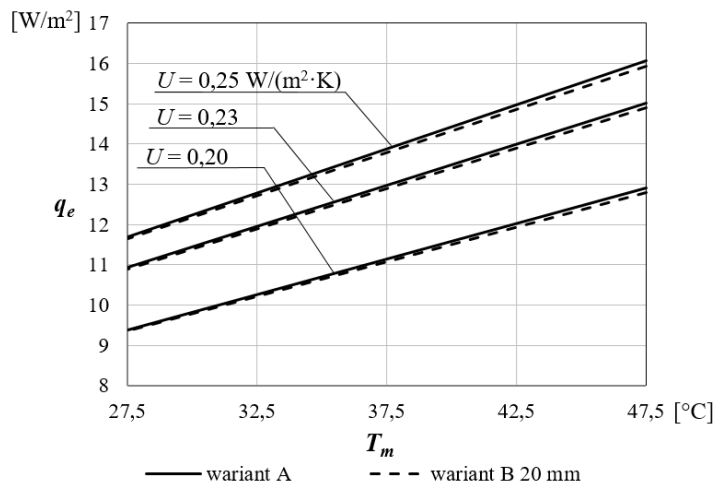
W przypadku średniej temperatury powierzchni grzejnika różnice w wartościach $T_{S,m}$ dla trzech analizowanych wariantów grubości izolacji 20, 30 i 50 mm wynoszą maksymalnie $0,01 \text{ K}$, niezależnie od przyjętego rozstawu przewodów W , średniej temperatury czynnika grzewczego T_m oraz oporu cieplnego warstwy wykończeniowej $R_{\lambda,b}$ (rys. 6).

Zastosowanie dwóch warstw izolacji, w tym jednej bezpośrednio pod rurami (wariant B) a drugiej na powierzchni warstwy konstrukcyjnej, zamiast jednej warstwy na powierzchni zewnętrznej przegrody (wariant A) nieznacznie wpływa na zmniejszenie gęstości strumienia ciepła emitowanego z zewnętrznej powierzchni grzejnika q_e , a tym samym na wielkość strat ciepła (rys. 7).



Rys. 6. Średnia temperatura powierzchni $T_{S,m}$ grzejnika ściennego w zależności od wariantu izolacji cieplnej ($U = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $W = 0,1 \text{ m}$; $R_{\lambda,b} = 0,05 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$)

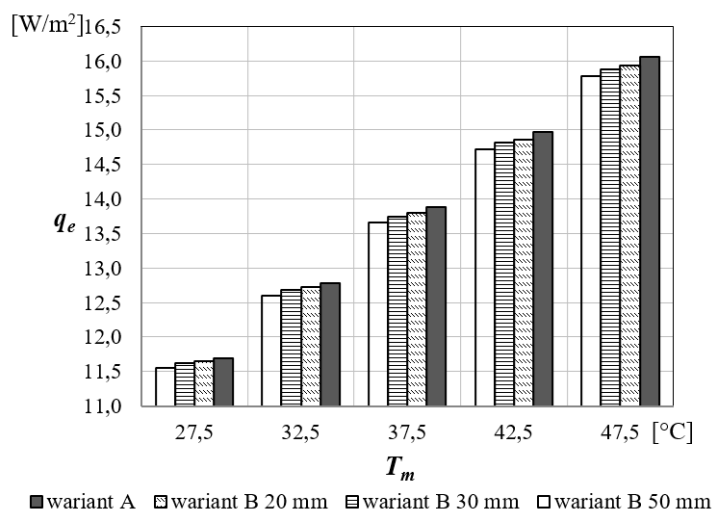
Fig. 6. The average surface temperature $T_{S,m}$ of a wall heating depending on the variant of thermal insulation ($U = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $W = 0,1 \text{ m}$; $R_{\lambda,b} = 0,05 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$)



Rys. 7. Wpływ rozmieszczenia izolacji cieplnej w grzejniku ściennym na straty ciepła q_e ($R_{\lambda,b} = 0,05 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$; $W = 0,1 \text{ m}$)

Fig. 7. The influence of thermal insulation location in a wall radiator on heat loss ($R_{\lambda,b} = 0,05 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$; $W = 0,1 \text{ m}$)

Zwiększenie grubości izolacji bezpośrednio pod rurami powoduje zmniejszenie strat ciepła q_e maksymalnie o 0,3 W/m² (2%) dla wariantu B z grubością izolacji pod rurami 50 mm w stosunku do izolacji jednowarstwowej dla wszystkich analizowanych wartości współczynnika przenikania ciepła U ściany zewnętrznej (rys. 8).



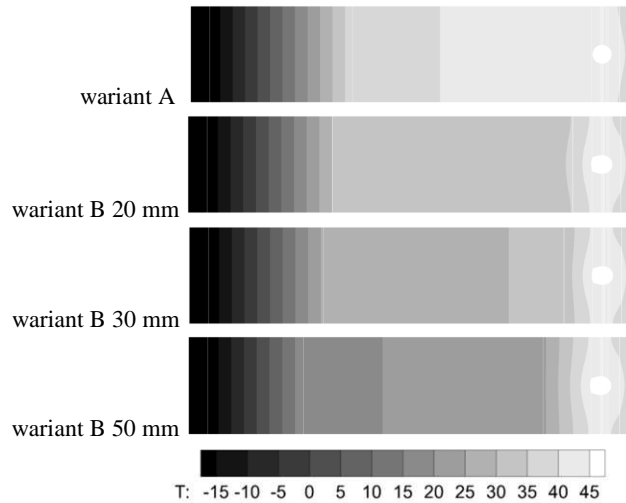
Rys. 8. Straty ciepła q_e grzejnika ściennego w zależności od wariantu izolacji cieplnej ($U = 0,25$ W/(m²·K); $W = 0,1$ m; $R_{\lambda,b} = 0,05$ (m²·K)/W)

Fig. 8. Heat losses q_e of a wall heating depending on the variant of thermal insulation ($U = 0,25$ W/(m²·K); $W = 0,1$ m; $R_{\lambda,b} = 0,05$ (m²·K)/W)

Podział izolacji cieplnej grzejnika ściennego zlokalizowanego w ścianie zewnętrznej na dwie części: warstwę na powierzchni zewnętrznej ściany i warstwę bezpośrednio pod rurami (wariant B), wpływa na zmianę rozkładu izoterm wewnątrz grzejnika w porównaniu do grzejnika z jedną warstwą izolacji (wariant A), co przedstawia rysunek 9.

Zastosowanie dodatkowej warstwy izolacji bezpośrednio pod rurami (wariant B) powoduje, że warstwa konstrukcyjna ściany zewnętrznej nie ulega nagrzaniu w takim stopniu jak przy zastosowaniu jednej warstwy izolacji na powierzchni zewnętrznej ściany (wariant A). Im większa grubość izolacji bezpośrednio pod rurami grzejnika ściennego, tym niższa temperatura warstwy konstrukcyjnej ściany (rys. 9).

Zastosowanie dodatkowej warstwy izolacji bezpośrednio pod rurami przyczynia się do zmniejszenia bezwładności cieplnej całego układu, co wpływa na lepszą regulację pracy systemu ogrzewania ściennego. W trakcie uruchamiania instalacji nie ma konieczności nagrzewania dużej masy ściany zewnętrznej, w związku z czym w pomieszczeniu ogrzewanym za pomocą grzejnika ściennego szybciej jest osiągnięta temperatura obliczeniowa i zapewniony komfort cieplny.



Rys. 9. Pole temperatury dla różnych wariantów izolacji grzejnika ściennego ($T_m = 47,5^\circ\text{C}$; $W = 0,1\text{ m}$; $R_{\lambda,b} = 0,05\text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$; $U = 0,25\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$; $T_e = -20^\circ\text{C}$)

Fig. 9. Temperature field for different wall heating insulation variants ($T_m = 47,5^\circ\text{C}$; $W = 0,1\text{ m}$; $R_{\lambda,b} = 0,05\text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$; $U = 0,25\text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$; $T_e = -20^\circ\text{C}$)

5. Wnioski

W pracy przeprowadzono analizę wpływu rozmieszczenia izolacji cieplnej w ścianie zewnętrznej z ogrzewaniem ściennym wodnym na jego wydajność, temperaturę powierzchni oraz straty ciepła. Obliczenia numeryczne wykonano za pomocą programu komputerowego wykorzystującego metodę elementów brzegowych (MEB), biorąc pod uwagę zmienne parametry konstrukcyjne grzejnika, czynnika grzewczego i środowiska zewnętrznego (rozstaw przewodów, opór cieplny warstwy wykończeniowej i warstwy izolacji, temperatura powietrza i wody). Wykonano analizę dla dwóch wariantów izolacji cieplnej, zgodnie z wytycznymi norm z zakresu projektowania grzejników płaszczyznowych PN-EN ISO 11855 oraz PN-EN 1264. Pierwszy wariant to usytuowanie izolacji cieplnej na powierzchni zewnętrznej ściany z ogrzewaniem ściennym. Drugi wariant to podział izolacji cieplnej na dwie warstwy – jedną na powierzchni zewnętrznej ściany, drugą bezpośrednio pod warstwą tynku z rurami. Przyjęto założenie, że w obu wariantach łączny opór cieplny izolacji jest sobie równy.

Stwierdzono, że zastąpienie jednej warstwy izolacji dwiema warstwami ma pomijalny wpływ na gęstość strumienia ciepła przekazywanego z powierzchni grzejnika ściennego oraz temperaturę jego powierzchni. Zmiana grubości izolacji cieplnej bezpośrednio pod rurami, czyli zmiana oporu cieplnego warstwy izolacji, nie wpływa na wydajność grzejnika ściennego i temperaturę jego powierzchni. Wykazano, że dla grzejnika ściennego zlokalizowanego w ścianie

zewnętrznej zastosowanie dwóch warstw izolacji cieplnej zamiast jednej nie powoduje zmiany wielkości strat ciepła.

W przypadku grzejnika ściennego zlokalizowanego w ścianie zewnętrznej zastosowanie dwóch warstw izolacji cieplnej: jednej bezpośrednio pod rurami, drugiej na powierzchni zewnętrznej ściany, zamiast jednej warstwy na powierzchni zewnętrznej ściany, powoduje zmniejszenie bezwładności cieplnej grzejnika ściennego, co poprawia możliwości regulacji jego pracy. Analiza rozkładu temperatury wewnątrz grzejnika ściennego pozwala stwierdzić, że element konstrukcyjny ściany zewnętrznej z podwójną warstwą izolacji nie ulega nagrzaniu w takim stopniu jak przy zastosowaniu jednej warstwy izolacji. Im grubsza warstwa izolacji bezpośrednio pod rurami, tym niższa temperatura warstwy konstrukcyjnej ściany. W związku z tym zaleca się stosowanie dwóch warstw izolacji cieplnej w ogrzewaniu ściennym w ścianie zewnętrznej, w tym jednej pod warstwą tynku z przewodami. Zastosowanie tylko jednej warstwy izolacji termicznej na powierzchni zewnętrznej ściany przyczyni się do utraty jednej z zalet ogrzewania ściennego, czyli mniejszej bezwładności cieplnej w porównaniu do ogrzewania podłogowego.

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy nr S/WBiIS/4/14 i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW.

Literatura

- [1] Werner-Juszczuk A.: Koszty instalacji centralnego ogrzewania w budynku jednorodzinym, Rynek Instalacyjny, nr 12, 2017.
- [2] Bojic M., Cvetkovic D., Miletic M., Malesevic J., Boyer H.: Energy, cost, and CO₂ emission comparison between radiant wall panel systems and radiator systems, *Energy and Buildings*, vol. 54, 2012, pp. 496-502.
- [3] Karabay H., Arıcı M., Sandık M.: A numerical investigation of fluid flow and heat transfer inside a room for floor heating and wall heating systems, *Energy and Buildings*, vol. 67, 2013, pp. 471-478.
- [4] PN-EN ISO 11855-1:2015-09: Projektowanie środowiska w budynku – Projektowanie, wymiarowanie, instalacja oraz regulacja wbudowanych systemów ogrzewania i chłodzenia przez promieniowanie – Część 1: Definicje, symbole i kryteria komfortu.
- [5] PN-EN ISO 11855-3:2015-09: Projektowanie środowiska w budynku – Projektowanie, wymiarowanie, instalacja oraz regulacja wbudowanych systemów ogrzewania i chłodzenia przez promieniowanie – Część 3: Projektowanie i wymiarowanie.
- [6] PN-EN 1264-3:2009: Instalacje wodne grzewcze i chłodzące płaszczyznowe – Część 3: Wymiarowanie.
- [7] Kosir M., Krainer A., Dovjak M., Perdan R., Kristl Z.: Alternative to the conventional heating and cooling systems in public buildings, *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 56, no. 4, 2010, pp. 575-583.
- [8] www.sankom.pl (data dostępu 12.2017 r.).
- [9] PN-EN 1264-4:2009: Instalacje wodne grzewcze i chłodzące płaszczyznowe – Część 4: Instalowanie.

- [10] PN-EN ISO 11855-5:2015-10: Projektowanie środowiska w budynku – Projektowanie, wymiarowanie, instalacja oraz regulacja wbudowanych systemów ogrzewania i chłodzenia przez promieniowanie – Część 5: Instalacja.
- [11] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U z 2013 r., poz. 926 z późniejszymi zmianami).
- [12] Strzeszewski M.: Ekstrapolacja wymagań normy PN-EN 1264 dotyczących izolacji grzejników podłogowych do warunków polskich, Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo i Wentylacja, nr 4, 2008, s. 29-30.
- [13] Wiśniewski S., Wiśniewski T.: Wymiana ciepła, WNT, Warszawa 2000.

THE IMPACT OF THE LOCATION OF THE THERMAL INSULATION IN THE EXTERIOR WALL ON THE WALL HEATING PERFORMANCE

Summary

The paper specifies the influence of the method of thermal insulation distribution in the external wall with type A wall heating on its thermal efficiency, surface temperature and heat loss. The analysis was carried out for two variants of the insulation layout: one thermal insulation layer from the outside side of the wall, and two layers of insulation: one on the external wall surface, the other directly under the plaster layer with the pipes. The second variant covers three variables of thermal insulation thickness directly under the pipes. In both variants, the total thermal resistance of the insulation is equal. The calculations were carried out for the variable external air temperature and heating medium, resistance of thermal insulation and finishing layer, and the spacing of pipes. The analysis was based on the results of numerical calculations of heat transfer in the wall with wall heating made using a program basing on the boundary element method (BEM). It was found that for the analyzed variable parameters of the radiator and the external environment, the use of the two layer of thermal insulation instead of one has a negligible effect on the thermal efficiency of a wall heating (change by a maximum of 2,5%), on the average surface temperature of a wall heating and heat losses to the external environment. The location of the thermal insulation influences the isothermal distribution inside the wall with the wall heating. The use of a thermal insulation layer under the pipes causes the decrement of thermal inertia of the wall radiator due to the lower mass of the heating panel, which improves the system's regulatory properties.

Keywords: surface heating, heat loss, thermal efficiency, surface temperature

Przesłano do redakcji: 18.12.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Krystian SIKORSKI¹

ZABYTKI Z PRZYSZŁOŚCIĄ. KONSERWACJA I MODERNIZACJA OBIEKTU ZABYTKOWEGO NA PRZYKŁADZIE FOLWARKU W BAGIEŃCU

Celem powstania artykułu jest przybliżenie problematyki podejmowania inwestycji na obiektach zabytkowych poprzez zaprezentowanie konkretnego przykładu. W rozdziale drugim nakreślono przebieg powstawania projektu konserwatorskiego z uwzględnieniem poszczególnych jego etapów. W niniejszym rozdziale przedstawione zostały założenia związane z realizacją etapu badawczego oraz etapu projektowego. W rozdziałach trzecim oraz czwartym zawarte zostały informacje na temat wybranego obiektu referencyjnego, którym jest folwark we wsi Bagieniec w województwie dolnośląskim. Obiekty uwzględnione w opracowaniu wybudowane zostały na przełomie XIX i XX wieku, pełniły rolę budynków gospodarczych. Obecnie zabudowania są częściowo przeznaczone pod rekreację, a częściowo pozostają nieużytkowane. Głównym założeniem wykonanego projektu jest konserwacja zabytkowej struktury części nieużytkowanej wraz z nadaniem jej funkcji winiarni. Dodatkowo przewiduje się dobudowanie do pierzei południowej budynku przeznaczonego do produkcji trunku. Charakter nowoprojektowanej zabudowy stanowi płynne i zgodne z obowiązującymi wymogami uzupełnienie istniejącej tkanki architektonicznej. W ramach etapu badawczego przeprowadzono kwerendę archiwalną, a także wykonano inwentaryzację obiektu. Efektem przeprowadzonych badań było sformułowanie wniosków dotyczących zarówno wartości architektonicznej jak i istniejącego stanu technicznego. W ekspertyzie budowlanej zawarto spostrzeżenia dotyczące przyczyn powstałych uszkodzeń. Zgodnie z obowiązującymi normami 19 procentowy poziom zwilgocenia konstrukcji klasyfikowany jest jako wysoki (mur mokry). Jednocześnie stwierdzono występowanie soli budowlanych (azotany – stopień wysoki, siarczany – stopień średni, chlorki – stopień niski). Stan konstrukcji oceniono na dobry, bez konieczności wykonywania prac naprawczych. W odniesieniu do wyników badań i przyszłego przeznaczenia budynków zaproponowano sposoby ich naprawy. Finalnym efektem prac związanych z wykonaniem projektu było przedstawienie wizualizacji obrazującej spodziewany wygląd folwarku po zakończeniu prac.

Słowa kluczowe: konserwacja, modernizacja, obiekt zabytkowy, projekt konserwatorski

¹ Krystian Sikorski, doktorant WBIŚiA Politechniki Rzeszowskiej, mr.krystian.sikorski@gmail.com

1. Wstęp

Upływ czasu i oddziaływanie środowiska są czynnikami niekorzystnie wpływającymi na stan zabytkowych obiektów budowlanych. Skorodowane materiały ochronne nie są w stanie zagwarantować pełnej ochrony konstrukcji przed napływającą wodą lub agresją biologiczną. W sytuacji spełnienia powyższych warunków dochodzi do mikrouszkodzeń materiałów konstrukcyjnych, które po kilku cyklach przejściowych narastają skutkując pojawieniem się nadmiernego zawilgocenia, zasolenia, spękań i rys, a także agresji mykologicznej. Dodatkowym zagrożeniem jest sytuacja nieużytkowania, ponieważ prowadzi ona do przyspieszenia procesów degradacji. Skumulowanie poszczególnych uszkodzeń przyczynia się do złego stanu obiektu zabytkowego co doprowadzić może do utraty jego wartości architektonicznej, naukowej lub historycznej oraz wyłączenia go z użytkowania na wskutek przekroczenia stanów granicznych (możliwa awaria lub katastrofa budowlana spowodowana zniszczeniem elementów konstrukcji). W konsekwencji obiekt zabytkowy może zostać wypisany z rejestru zabytków, jeśli takowy wpis istnieje, co skutkuje zniesieniem nadzoru konserwatorskiego.

Rozwiązaniem zapewniającym należyta opiekę nad zabytkiem jest, o ile to możliwe, modernizacja. Efektem nadania nowej funkcji jest szereg prac konserwatorskich przeprowadzonych pod nadzorem odpowiedniej jednostki. Poprawnie wykonane prace są gwarancją zachowania zabytkowej materii dla przyszłych pokoleń poprzez zwiększenie trwałości i monitorowanie stanu technicznego.

W niniejszym artykule zaprezentowano kolejne etapy interdyscyplinarnego przedsięwzięcia jakim jest projekt konserwatorski.

Ze względu na zakres i złożoność prac związanych z konserwacją i modernizacją obiektu zabytkowego w niniejszym opracowaniu zdecydowano się na przedstawienie założeń etapu badawczego i projektowego.

2. Projekt konserwatorski

Tworzenie projektu konserwatorskiego, będącego złożonym zagadnieniem, wymaga współpracy zespołu stworzonego z osób posiadających doświadczenie w konkretnej dziedzinie. Przy jednym stole zasiada bowiem inwestor wraz osobami odpowiedzialnymi za stworzenie koncepcji architektonicznej oraz koncepcji konserwatorskiej. Następnym etapem są założenia projektowe, w których bierze się pod uwagę potrzeby wynikające ze zmiany przeznaczenia, z zachowania wartości architektonicznej oraz potrzeby zapewnienia trwałości obiektu. Efektem końcowym formułowanych założeń jest projekt konserwatorski składający się z projektów architektonicznych, branżowych oraz konserwatorskich. Całe przedsięwzięcie winno przebiegać w sposób nieograniczający pracy poszczególnych jednostek [1].

2.1. Etap badawczy

W zakres prac związanych z etapem badawczym wchodzi:

- kwerenda archiwalna oraz badanie wartości historycznej, architektonicznej lub naukowej;
- sporządzenie inwentaryzacji zawierającej informacje na temat rozplanowania przestrzennego obiektu (rzuty), konstrukcji obiektu (przekroje), charakterystyki użytych materiałów oraz istniejącego stanu technicznego;
- przeprowadzenie badań konserwatorskich, architektonicznych, archeologicznych;
- wyniki poszczególnych badań wraz z opracowaną ekspertyzą techniczną, uwzględniającą poziomy zawilgocenia, zasolenia, skażenia mykologicznego, zarysowania i ugięcia elementów konstrukcji;
- analiza stateczności konstrukcji i wytrzymałości elementów (opcjonalnie) [2].

2.2. Etap projektowy

Na podstawie otrzymanych wyników sporządza się projekt budowlany, w skład którego wchodzi dokumentacja informująca o zakresie niezbędnych do wykonania prac i rodzaju materiałów użytych przy ich wykonaniu.

Dokonywanie zmian w projekcie bez wcześniejszego uzgodnienia z projektantem prowadzić może do obniżenia trwałości i estetyki obiektu, a następnie do pojawienia się uszkodzeń. Niestosowanie się do zaleceń pokontrolnych w odniesieniu do zabytku traktowane jest jako wykroczenie.

Rozpoczęcie jakichkolwiek prac na obiekcie zabytkowym, wpisanym do rejestru zabytków, wymaga uzyskania pozwolenia Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków [3].

3. Obiekty referencyjne

Przedmiotem opracowania jest budowa budynku przeznaczonego do produkcji oraz przechowywania wina. Dodatkowo przewiduje się zmianę funkcji istniejącej części budynków gospodarczych.

4. Dane ogólne



Rys. 1. Folwark Bagieniec, źródło: autor

Fig. 1. Grange Bagieniec, source: author

Obiekty zlokalizowane są we wsi Bagieniec, położonej w województwie dolnośląskim gmina Jaworzyna Śląska (rys. 1.). Budynki, dla których zaprojektowane zostało nowe przeznaczenie są częścią zespołu folwarcznego. Zabudowania folwarczne znajdują się w strefie „B” ochrony konserwatorskiej (strefa „B” ochrony konserwatorskiej oznacza teren objęty pośrednią ochroną konserwatorską) zgodnie z zapisami Miejscowego Planu Zagospodarowania Przestrzennego.

5. Dane historyczne

Uwzględnione obiekty wybudowane zostały na przełomie XIX oraz XX wieku. Pełniły one rolę budynków gospodarczych wchodzących w skład możnego gospodarstwa rolnego. Sposób ukształtowania układu przestrzennego stanowi doskonały przykład zabudowań folwarcznych Dolnego Śląska. Całość zabudowania zlokalizowanego na działce 75/1 tworzy zwarty kwartał, który w sposób ciągły otacza dziedziniec (rys. 2-3).

W chwili obecnej część budynków użytkowana jest przez prywatnego właściciela. Pośród nich znajdują się zarówno obiekty pełniące funkcję mieszkalną i stajenną jak i obiekty nieużytkowane.

6. Inwentaryzacja

Inwentaryzowane budynki ukształtowane są na rzutach zbliżonych do prostokątnych. Z zewnątrz obiekty o spójnej formie, wewnątrz wskazują na etapowe powiększanie konstrukcji.

Ze względu na skalę rysunków zdecydowano się na nieumieszczanie rzutów poszczególnych kondygnacji.



Rys. 2. Pierzeja zachodnia, fot. autor, Maj 2017

Fig. 2. Western frontage, fot. author, May 2017

Elewacje zewnętrzne oraz wnętrza pokryte tynkiem cementowo-wapiennym o kolorach kolejno żółtym i białym. W południowo zachodnim narożu kwartału znajduje się wyrwa powstała na wskutek zniszczenia istniejącej przybudówki.



Rys. 3. Południowa i zachodnia pierzeja folwarku, fot. A. Władyka, Maj 2017

Fig. 3. South and west frontage of grange, fot. A. Władyka, May 2017

Obiekty wybudowane zostały metodą tradycyjną, posiadają kamienne fundamenty. Posadzki pierwszej kondygnacji częściowo kamienne, częściowo ceglane. Zarówno ściany konstrukcyjne jak i stropy wykonane zostały z cegły pełnej. Grubość ścian ok. 90 cm. Słupy skrajne murowane, wewnętrzne w większości wykonane z kamienia naturalnego (granit). Posadzki na drugiej kondygnacji ceglane (rys. 4-5).



Rys. 4. Wnętrze budynku, fot. A. Władyka, Maj 2017

Fig. 4. Building Interior, fot. A. Władyka, May 2017

Konstrukcja dachu drewniana. Poszycie dachowe wykonane z dachówki ceramicznej. Drzwi i okna zwieńczone granitowymi portalami.



Rys. 5. Pierwsza kondygnacja, fot. autor, Maj 2017

Fig. 5. First storey, fot. author, May 2017

Zarówno konstrukcja jak i tkanka architektoniczna w stanie dobrym, bez większych uszkodzeń. Dla części budynków, których funkcja ulegnie zmianie przewidziano wykonanie Ekspertyzy Budowlanej mającej na celu określenie prac niezbędnych do wykonania w ramach ich konserwacji.

7. Ekspertyza techniczna

W wyniku dokonanego przeglądu stanu technicznego stwierdzono co następuje:

- Nie występują wady konstrukcyjne w postaci ugięć lub zarysowań elementów konstrukcyjnych.
- Zawilgocenie ścian i posadzki parteru waha się między 16, a 19%. Zgodnie z Tabelą 1 taki poziom zawilgocenia klasyfikuje mury jako mokre. Pomiaru dokonano za pomocą wilgotnościomierza wgłębnego PMW – 3. Przyczyną podwyższonego poziomu zawilgocenia jest sąsiadujący z obiektem rów odwadniający. Dodatkowo stwierdzono wysoki poziom wód gruntowych.

Tabela 1. Klasyfikacja zawilgocenia muru

Table 1. Graduation of wall dampness

I	0 – 3%	Mury o dopuszczalnej wilgotności
II	3 -5%	Mury o podwyższonej wilgotności
III	5 – 8%	Mury średnio wilgotne
IV	8 – 12%	Mury mocno wilgotne
V	> 12%	Mury mokre

- Na podstawie badań wykonanych na próbkach z cegły, zaprawy murarskiej oraz tynku jednoznacznie określono poziom zasolenia (tab. 2.). Wyniki zestawiono zgodnie z klasyfikacją stopnia zasolenia muru. Stwierdzono zasolenie azotanami (powyżej 0,3% - wysoki stopień zasolenia), zasolenie siarczanami (powyżej 1% - średni stopień zasolenia), zasolenie chlorkami (poniżej 0,2% - niski stopień zasolenia). Wysokie zasolenie azotanami wynika z faktu, iż omawiane budynki pełniły niegdyś funkcję stajni.
- Nie stwierdzono występowania skażenia biologicznego w postaci grzybów lub insektów.
- Konstrukcja dachu w stanie dobrym.

Tabela 2. Klasyfikacja poziomu zasolenia

Table 2. Graduation of wall salinity

Rodzaj soli		Zawartość soli [%]		
		Niski	Średni	Wysoki
Chlorki	Cl	< 0,2	0,2 – 0,5	>0,5
Siarczany	SO ₄ ⁻²	< 0,5	0,5 – 1,5	>1,5
Azotany	NO ₃ ⁻²	< 0,1	0,1 – 0,3	> 0,3

8. Założenia projektowe

Projekty branżowe związane z budową nowoprojektowanego obiektu oraz zagospodarowaniem terenu nie zostały uwzględnione w niniejszym opracowaniu.

8.1. Zagospodarowanie terenu

Podczas wykonywania projektu zagospodarowania przestrzennego istotnym zagadnieniem było zachowanie istniejącej formy ze względu na jej charakter stanowiący przykład krajobrazu kulturowego Dolnego Śląska.

W miejscu przerwania ciągłości zabudowy (południowo zachodnie naroże) zaprojektowano budynek, który stanowiąc nowe rozwiązanie architektoniczne łączyć będzie ze sobą dwie pierzeje.

Dodatkowym projektowanym elementem jest zagospodarowanie rowu przebiegającego wzdłuż budynku. Obecny stan bezpośrednio przyczynia się do podniesienia poziomu zwierciadła wód gruntowych.

Nadanie nowej funkcji stworzyło potrzebę organizacji dojazdu umożliwiającego swobodny ruch samochodów dostawczych przy jednoczesnym uwzględnieniu potrzeb pieszych oraz osób niepełnosprawnych.

8.2. Program funkcjonalny

Powstający program funkcjonalny uzależniony jest od wymogów określonych w Projekcie Technologii Produkcji Wina oraz potrzeby zachowania istniejącej formy architektonicznej zabytku.

Pierwszy etap produkcji trunku będzie miał miejsce w nowoprojektowanym budynku. Na tym etapie istnieje możliwość powstawania zanieczyszczeń mogących negatywnie wpływać na estetykę miejsca i stan materiałów konstrukcyjnych. W celu zabezpieczenia przewiduje się dobór odpowiedniej technologii wykonania robót. Na pierwszej kondygnacji znajdować się będą sale do fermentacji i leżakowania wyrobu. Rozkład sprzętu służącego do produkcji (wypełnienie wydzielonych przez słupy przestrzeni) wynika bezpośrednio z układu konstrukcyjnego.

Południowa część zabudowań przeznaczona zostanie jako część magazynowa wraz z przestrzeniami technicznymi.

W celu suszenia półproduktu zagospodarowano poddasza budynków istniejących. Na piętrze budynku projektowanego znajdować się będą laboratorium technologiczno-analityczne, sanitariaty, magazyn i pomieszczenie socjalne.

8.3. Rozwiązania architektoniczne

Projektowany budynek zaprojektowano z myślą połączenia z budynkami istniejącymi zarówno w kontekście funkcji jak i wymogów formalnych. Trzon budynku jest przedłużeniem istniejącej pierzei południowej w kierunku zachodnim. Całość zaprojektowano na planie prostokąta z dachem dwuspadowym. Na pierwszej kondygnacji przewidziano przesmyk na potrzeby regulacji istniejącego rowu.

Istniejący budynek, stanowiący część pierzei południowej zostanie połączony z budynkiem projektowanym za pomocą szklanego łącznika, który umożliwi nowoprzybyłym gościom winiarni obserwację dziedzińca.

Projektowane rozwiązania materiałowe służą wyróżnieniu projektowanej budowli na tle istniejącego zabudowania z jednoczesnym poszanowaniem jego formy. Budynek jest mocno przeszklony, co korzystnie wpływa na komfort użytkowników. Elewacja wykonana zostanie z płyt betonowych i gabionów stalowych wypełnionych kamieniem wydobytym podczas robót ziemnych przy winnicy [4].

9. Rozwiązania techniczne

Zaproponowane w projekcie rozwiązania mające na celu zabezpieczenie zarówno konstrukcji jak i treści architektonicznej wynikają bezpośrednio z nadania nowej funkcji oraz obecnego stanu technicznego budynku.

Podane rozwiązania mają charakter edukacyjny i odnoszą się do istniejącej części zabudowania. Nie uwzględniają konkretnych rozwiązań technologicznych wybranego producenta (materiał i jego zużycie wraz z cenami).

W istniejącym budynku należy wykonać izolację zapobiegającą dalszemu napływowi wody do elementów konstrukcyjnych. W tym celu należy wykonać odkrywkę fundamentów od strony zachodniej. Odkopany fundament oczyścić i uzupełnić ubytki przy użyciu zaprawy. Po wykonaniu powyższych czynności należy wykonać izolację pionową z masy mineralnej (izolację wyprowadzić 40 cm powyżej poziomu terenu). Po wykonaniu izolacji można zasypać wykop.

Na posadzce istniejącej należy wykonać posadzkę wyrównującą z betonu o odpowiedniej klasie. Następnie wykonać izolację poziomą z mineralnej, elastycznej masy wyprowadzając ją na ściany do wysokości 30 cm powyżej poziomu posadzki. W połączeniach ściana – posadzka, słup – posadzka w masę izolacyjną należy wtopić taśmę zapewniającą szczelność. Kolejno z betonu odpowiedniej klasy wykonać posadzkę zbrojoną o grubości 12 cm. Tak wykonaną posadzkę zagruntować żywicą i posypać piaskiem kwarcowym o uziarnieniu 0,4 – 0,8mm. Po związaniu nadmiar piasku usunąć i wykonać wylewaną powłokę wierzchnią. Po upływie 15 minut posadzkę odpowietrzyć.

We wnętrzu budynku należy skuć wszystkie tynki ze ścian oraz sufitów, a następnie oczyścić powierzchnię przy pomocy szczotek drucianych. Następnie wykonać obrzutkę półkryjącą, która pokryta zostanie tynkiem renowacyjnym grubości 3 cm. W przypadku szpachlowania jedynym rozwiązaniem jest wykonanie go przy użyciu zaprawy wapienno trasowej. Malowanie ścian wykonać przy użyciu farby silikatowej.

W przypadku ścian zewnętrznych należy skuć tynk do wysokości powyżej 1 m. Resztę prac renowacyjnych wykonać jak w przypadku ścian i sufitów wewnątrz.

Portale kamienne oraz filary należy oczyścić i zaimpregnować.

Ze względu na liczne uszkodzenia powodujące nieuszczelność należy wymienić pokrycie dachu. Po zakończeniu prac renowacyjnych wykonać płytę odbojową wokół budynku [5].

10. Wizualizacje

Ze względu na skalę rysunków zdecydowano się na nieumieszczanie rzutów poszczególnych kondygnacji oraz przekrojów (rys. 6-9).



Rys. 6. Wizualizacja pierwsza, fot. A. Władyka, Maj 2017

Fig. 6. First visualisation, fot. A. Władyka, May 2017



Rys. 7. Wizualizacja druga, fot. A. Władyka, Maj 2017

Fig. 7. Second visualisation, fot. A. Władyka, May 2017



Rys. 8. Wizualizacja trzecia, fot. A. Władyka, Maj 2017

Fig. 8. Third visualisation, fot. A. Władyka, May 2017



Rys. 9. Wizualizacja czwarta, fot. A. Władyka, Maj 2017

Fig. 9. Fourth visualisation, fot. A. Władyka, May 2017

Literatura

- [1] Rouba J. B.: Projektowanie konserwatorskie, Ochrona zabytków, Warszawa 2008.
- [2] Narodowy Instytut Dziedzictwa.: Formalne i prawne uwarunkowania podejmowania działań inwestycyjnych w obiektach zabytkowych. Procedury konserwatorskie. Kompetencje organów ochrony zabytków, Warszawa 2017.
- [3] Ustawa z dnia 23 lipca 2003 r. Ustawa o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami (Dz. U. z 2014, poz. 1446 ze zm.).
- [4] A. Władyka.: Winiarnia w Bagieńcu – Koncepcja Architektoniczna, Rzeszów 2017.
- [5] St. Leś, Ocena stanu technicznego wraz z propozycją renowacji, Rzeszów 2017.

MONUMENT WITH FUTURE. CONSERVATION AND MODERNIZATION OF HISTORICAL BUILDING BY THE EXAMPLE OF GRANGE IN BAGIENIEC

S u m m a r y

The purpose of the article is to bring closer the issue of investment on historic buildings. The second chapter outlines individual stages of the conservation project preparation. In this chapter the assumptions of the research stage and design phase were taken into consideration. The third and fourth chapter contain information about selected referential object, which is a farm in the village of Bagieniec in the Dolnośląskie Voivodship. The objects included in the study were built at the turn of the 20th century. The function of buildings was defined as economic buildings. Nowadays buildings are partly intended for recreation, some of them are left unused. The core assumption of the project is preservation of the historic structure and assignation new function of unused part of building (wine house). Additionally it is planned to add building (to the southern front) intended for production of liquor. During the research stage, an archival query and inventory of the object were performed. The result of the research was the conclusion relating to the architectic value and the existing technical condition. Regarding to the results of research and the future destination of the buildings, ways of repairing them were proposed. The final result of work connected with the project was a visualization depicting the spoiled appearance of the farm after the completion of the work.

Keywords: conservation, modernization, historic building, conservation project

Przesłano do redakcji: 14.10.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Zbigniew SIEJKA¹

OPRACOWANIE SIECI WEKTOROWEJ GNSS Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMU ASG-EUPOS, NA PRZYKŁADZIE MODERNIZOWANEJ, SZCZEGÓŁOWEJ OSNOWY POZIOMEJ

Praca podejmuje problematykę numerycznego opracowania satelitarnej sieci wektorowej z wykorzystaniem serwisów postprocessingu systemu ASG-EUPOS pod względem dokładności uzyskanych wyników. Koncepcja połączenia satelitarnych i klasycznych technik stosowanych w geodezji związana jest zasadniczo z modernizacją lub zakładaniem nowych osnów. Należy jednak zaznaczyć, iż we wczesnym okresie rozwoju technik satelitarnych, pomiary GNSS wykorzystywano głównie w celu powiązania sieci z osnową wyższego rzędu, poprawienia jej geometrii, podniesienia niezawodności sieci. W tamtym okresie wektory GPS stanowiły wsparcie przy realizacji osnów metodami klasycznymi. Natomiast obecnie role się odwróciły i współczesne techniki satelitarne GNSS stanowią podstawowe narzędzie realizacji osnów podstawowych i szczegółowych a klasyczne metody służą jedynie do uzupełnienia pomiarów w miejscach gdzie nie można w sposób efektywny wykonać obserwacji satelitarne. W pracy przedstawiono kilka wariantów opracowania sieci, które mogą stanowić podstawę do określania współrzędnych realizowanych osnów szczegółowych. Badana sieć testowa zrealizowana została jako szczegółowa pozioma osnowa geodezyjna dla dwóch gmin według projektu, który obejmował powierzchnię około 9,5 tys. hektarów i składał się łącznie z ponad 1100 punktów. Na podstawie otrzymanych wyników dokonano analiz pod względem dokładności i niezawodności zaproponowanych rozwiązań. W oparciu o uzyskane wyniki wskazano optymalną procedurę jaka powinna być stosowana w procesie obliczeniowym precyzyjnych, trójwymiarowych sieci geodezyjnych konstruowanych z wykorzystaniem serwisów postprocessingu systemu ASG-EUPOS.

Słowa kluczowe: satelitarne pomiar statyczny, wektor GNSS, wyrównanie sieci geodezyjnej

1. Wprowadzenie – definicje i pojęcia podstawowe związane z organizacją układu odniesienia

Współczesne sieci geodezyjne przenoszące i zagęszczające układ odniesienia, realizowane są za pomocą stacji permanentnych GNSS i mają charakter sieci kinematycznych (czterowymiarowych). Współrzędne ich mogą być wyzna-

¹ Zbigniew Siejka, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Katedra Geodezji, al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków; tel. 126624539; rmsiejka@cyf-kr.edu.pl

czane z różną rozdzielczością czasową. Utrzymując taki układ odniesienia, wymagamy od niego aby niezależnie od epoki można było w nim dokładnie określić współrzędne punktu. Kluczową sprawą jest w tym wypadku aby była zachowana zgodność opracowania jednakowo dokładnych obserwacji tego samego punktu, wykonanych w różnych epokach. Wymaga to rozróżnienia takich pojęć jak: system odniesienia, układ odniesienia i układ współrzędnych.

System odniesienia – (reference system) stanowi zbiór zaleceń i ustaleń wraz z opisem modeli niezbędnych do zdefiniowania początku, skali (metryki) i orientacji osi oraz ich zmienności w czasie.

Układ odniesienia – (reference frame) stanowi praktyczną realizację systemu odniesienia. Na układ odniesienia składają się wyznaczone z obserwacji wartości parametrów opisujących początek układu, skalę, i orientację osi oraz ich zmienności w czasie.

Układ współrzędnych – (coordinate system) określa jednoznacznie sposób przyporządkowania zbioru wartości liczbowych, współrzędnych punktu, położeniu punktu względem układu odniesienia [1].

W Polsce obecnie Państwowy System Odniesień Przestrzennych (w skrócie Państwowy Układ Odniesienia) zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów z dn. 15 października 2012 r. [3] w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych tworzą:

- dwa geodezyjne układy odniesienia PL-ERTF89 i PL-ETRF2000 będące realizacją systemu odniesienia ETRS89,
- dwa układy wysokościowe PL-KRON89-NH i PL-EVRF2007-NH będące realizacją europejskiego ziemskiego systemu wysokościowego EVRS,
- układy współrzędnych:
 - geocentrycznych kartezjańskich - XYZ,
 - geocentrycznych geodezyjnych - GRS80h,
 - geodezyjnych - GRS80H,
- układy współrzędnych płaskich prostokątnych: PL-LAEA, PL-LCC, PL-UTM, PL-1992 i PL-2000.

Osnowa geodezyjna – jest to usystematyzowany zbiór jednoznacznie identyfikowalnych punktów, które zostały oznaczone w terenie znakami geodezyjnymi oraz których położenie wyznaczone zostało w państwowym systemie odniesień przestrzennych w sposób właściwy dla danego rodzaju osnowy i umożliwiający określenie dokładności tego wyznaczenia [6].

Punkt osnowy – jest to punkt, który ma wyznaczone położenie w państwowym systemie odniesień przestrzennych, na którym wyznaczono wielkość fizyczną, charakterystyczną dla określonego rodzaju osnowy, oraz błąd jej wyznaczenia, ma niepowtarzalny numer, został oznaczony w terenie znakiem geodezyjnym, ma sporządzony opis topograficzny oraz którego dane są umieszczone w państwowym zasobie geodezyjnym i kartograficznym prowadzonym przez uprawniony do tego organ [4].

Sieć geodezyjna – to geodezyjny układ obserwacyjny, utworzony w celu wyznaczenia współrzędnych punktów osnowy geodezyjnej w przyjętym układzie odniesienia. Jest to pewnego rodzaju konstrukcja geometryczna będąca przedmiotem projektu i pomiarów geodezyjnych, której charakter zależy od zastosowanej techniki pomiaru. Osnowa geodezyjna jest produktem końcowym pomiaru i opracowania numerycznego sieci geodezyjnej.

Klasa osnowy - rozumie się przez to cechę osnowy określającą jej znaczenie w pracach geodezyjnych i kartograficznych, kolejność włączania punktów osnowy do procesu wyrównywania, a także dokładność określenia po wyrównaniu obserwacji [4].

2. Struktura państwowych osnów geodezyjnych w Polsce

Osnowy geodezyjną, grawimetryczną i magnetyczną, dzieli się według kryterium dokładności i sposobu ich zakładania na:

- 1 klasa – osnowa podstawowa fundamentalna,
- 2 klasa – osnowa podstawowa bazowa,
- 3 klasa – osnowa szczegółowa.

Szczegółowe statystyki ilościowo - jakościowe polskich osnów geodezyjnych, zgodnie z aktualnymi aktami prawnymi zestawiono w tabelach 1-4.

Tabela 1. Podstawowa osnowa pozioma

Table 1. Main horizontal network

Kryterium dokładności	Sposób zakładania	Rodzaj sieci	Liczba punktów	Dokładność wyznaczenia	Zagęszczenie punktów teoretyczne / praktyczne
1 klasa	fundamentalna	ASG-EUPOS (EPN)	15	$m_p = 0.01$ m $m_H = 0.02$ m	1 pkt / 20 tys. km ² 1 pkt / 21 tys. km ²
2 klasa	bazowa	ASG-EUPOS, EUREF, POLREF EUVN, I klasa	7062	$m_p = 0.01$ m $m_H = 0.02$ m	1 pkt / 50 km ² 1 pkt / 44 km ²

Tabela 2. Podstawowa osnowa wysokościowa

Table 2. Main vertical network

Kryterium dokładności	Sposób zakładania	Rodzaj sieci	Liczba punktów	Średni błąd pomiaru 1 km niwelacji	Zagęszczenie punktów praktyczne
1 klasa	fundamentalna	EUVN (główne)	10	1.5 mm / km	1 pkt / 31.2 tys. km ²
2 klasa	bazowa	EUVN, ASG-EUPOS, I i II klasa	ok. 41 800	1.5 mm / km	1 pkt / 7.4 km ²

Tabela 3. Szczegółowa osnowa pozioma

Table 3. Detailed horizontal network

Kryterium dokładności	Sposób zakładania	Rodzaj sieci	Liczba punktów	Dokładność wyznaczenia	Zagęszczenie punktów teoretyczne / praktyczne
3 klasa	szczegółowa	Punkty dawnej: II klasy, III klasy, Punkty nowe	ok. 1 370 tys.	$m_p \leq 0.05$ m $m_p \leq 0.10$ m $m_p \leq 0.07$ m $m_H \leq 0.05$ m	1 pkt / 20 ha 1 pkt / 22.5 ha

Tabela 4. Szczegółowa osnowa wysokościowa

Table 4. Detailed vertical network

Kryterium dokładności	Sposób zakładania	Rodzaj sieci	Liczba punktów	Średni błąd pomiaru 1 km niwelacji / m_H	Zagęszczenie punktów praktyczne
3 klasa	szczegółowa	Punkty dawnej: III klasy, IV klasy, Punkty nowe	ok. 259 300	4 mm / km $m_H \leq 0.01$ m	1 pkt / 103 ha

Układ PL-ETRF2000 jest stosowany w Polsce zgodnie z rezolucją podkomisji EUREF uchwaloną w trakcie XX Sympozjum EUREF w roku 2010, która zaleciła stosowanie układu ETRF2000 jako narodowych realizacji systemu odniesienia ETRS89. PL-ETRF2000 jest tworzony przez sieć stacji permanentnych EPN należących jednocześnie do ASG-EUPOS (15 stacji na terenie Polski). Współrzędne osnowy poziomej podstawowej wyznaczone są w oparciu o pomiary satelitarne GNSS. Osnowa podstawowa dzieli się na osnowę fundamentalną, przenoszącą układ ETRF2000 na teren Polski i osnowę bazową - zagęszczającą ten układ.

Aktualnie fundamentalnym zagadnieniem zarówno dla teorii oraz praktyki pomiarów a także opracowań geodezyjnych i kartograficznych, jest zagadnienie jednorodności osnowy związane z wykorzystaniem zarówno osnów różnych klas (dokładności) jak również osnów tej samej klasy zakładanych i konserwowanych metodami hybrydowymi (kombinacja metod satelitarnych i klasycznych). Zgodnie z [2] i [6], zalecane jest aby dane przestrzenne objęte różnymi bazami danych (m. in. osnowy geodezyjne, szczegółowe przestrzenne dane katastralne, punkty geodezyjnej sieci uzbrojenia terenu, obiekty topograficzne i ogólnogeograficzne) położone na obszarze opracowania harmonizować ze zbiorami danych uzyskanymi za pomocą precyzyjnego pozycjonowania GNSS. Zapis ten oznacza, że dane pozyskane metodami satelitarnymi są nadrzędne względem pozostałych, odnosi się to również do osnów geodezyjnych. Wiarygodność ich staje się więc kluczowa dla całego procesu geodezyjno-kartograficznego. Stąd w pracy próba odpowiedzi na pytanie czy dodanie do standardowego rozwiązania GPS dodatkowego systemu pozycjonowania w postaci rosyjskiego GLONASS wpływa na dokładność wyniku pomiaru metodą statyczną.

3. Charakterystyka obiektu badawczego

Badana sieć obejmowała dwie sąsiadujące gminy Bestwina i Wilamowice, położone w południowej części województwa śląskiego, administracyjnie przynależne do powiatu bielskiego. Obiekt zlokalizowany był na sześciu arkuszach mapy topograficznej w skali 1:10000 w układzie 2000/6: 6.121.30, 6.121.31, 6.122.30, 6.122.31, 6.123.30, 6.123.31. Obejmował łącznie powierzchnię 94,64 km² i składał się z 1127 punktów wraz z przyjętymi punktami nawiązania do stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS. Dało to przeciętne zagęszczenie punktów osnowy, 1 punkt na około 8,4 ha. Szczegółową statystykę punktów badanej osnowy zestawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Statystyka punktów osnowy badawczej

Table 5. Statistic results of test network points

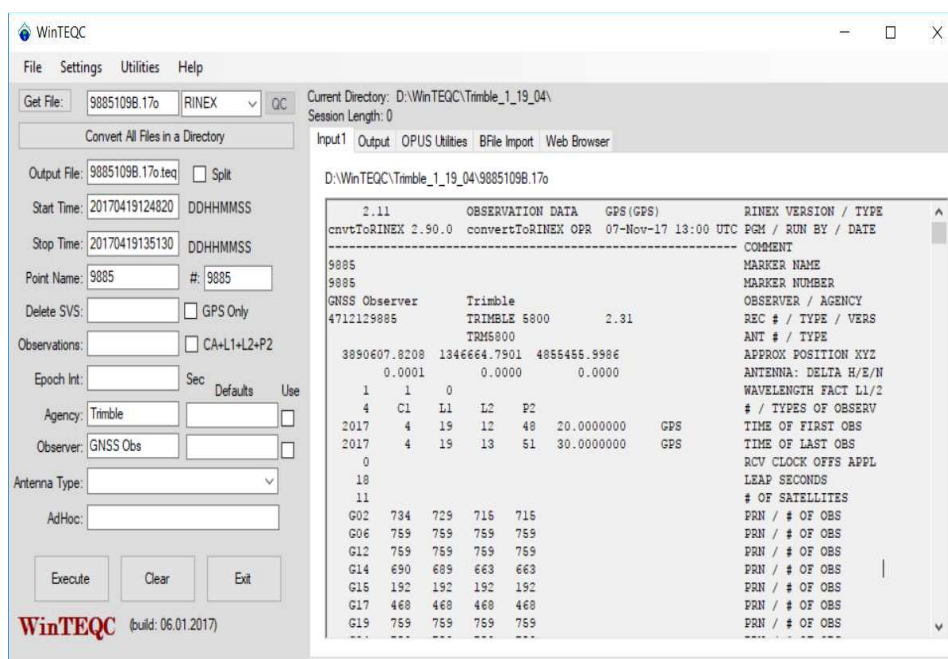
Obiekt	1 klasa	Dawna II klasa	Dawna III klasa	Punkty nowe	Razem
Bestwina	3	16	192	157	368
Bestwina	5	26	504	220	755

Pomiary GNSS, metodą statyczną udało się poprawnie wykonać na 1022 punktach, co stanowiło około 91% ogólnej liczby punktów całej sieci. Długość sesji pomiarowych trwała od 45 minut do 90 minut a przeciętna długość sesji wynosiła 1 godzinę. Pomiar całej sieci zrealizowano w 165 sesjach obserwacyjnych, w pomiarach brało udział od 5 do 9 odbiorników satelitarnych.

4. Przygotowanie i kontrola wyników pomiarów do opracowania numerycznego

W pierwszym etapie opracowania po zaimportowaniu plików obserwacyjnych z odbiorników pomiarowych wykonano konwersję plików binarnych z formatów odbiorników (*.T02 - Trimble i *.tps - Topcon) do uniwersalnego formatu wymiany danych RINEX v2.11. Wykorzystano dedykowane do tego celu firmowe programy: Converter to RINEX (Trimble) oraz Topcon Link (Topcon). Utworzono w ten sposób zestawy plików obserwacyjnych i nawigacyjnych, zawierających niezbędne informacje pomiarowe i orbitalne do wykonania, pierwszego etapu opracowania pomiarów satelitarnych, tzw. postprocessingu (przetworzenia) obserwacji satelitarnych. Dodatkowo na tym etapie skontrolowano i skorygowano typy i modele anten GNSS użyte do pomiaru, poprawiono i uzupełniono na podstawie dzienników polowych błędnie wprowadzone w terenie wysokości oraz nazwy i numery pomierzonych punktów. Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że różnego rodzaju korekty musiały zostać wprowadzone do około 52 % wszystkich plików pomiaro-

wych, gdyż występowały niezgodności z danymi zapisanymi w dziennikach polowych. Niezgodności dotyczyły przede wszystkim błędnie wprowadzonych w terenie wysokości i numerów mierzonych punktów a także modeli i typów anten GNSS. Należy zaznaczyć, iż pewna część obserwatorów w terenie nie wprowadzała żadnych danych pomiarowych do kontrolerów odbiorników przed rozpoczęciem pomiaru a jedynie zapisywała je w klasycznych dziennikach polowych, natomiast pomiar przeprowadzany był z ustawieniami domyślnymi (defaultowymi) (rys. 1.).



Rys. 1. Okno dialogowe programu „WinTEQC”

Fig. 1. The dialog box of the „WinTEQC”

W drugim etapie przygotowania danych obserwacyjnych za pomocą programu WinTEQC [UNAVCO 2017] poddano kontroli wszystkie pliki obserwacyjne wyznaczając m. in. stosunek sygnału do szumu, poziom wielodrożności sygnału i interferencję fal wtórnych. Ten etap kontroli danych wykazał, że wielkości parametru SRN (Signal to Noise Ratio) w pewnych sesjach obserwacyjnych, dla niektórych satelitów były zbyt niskie ($SRN1 < 30$ dB-Hz, $SRN2 < 20$ dB-Hz) w związku z tym obserwacje dla tych satelitów zostały wyłączone z dalszego opracowania. Najczęściej eliminowanym satelitą z tego powodu był satelita systemu GLONASS R12 (Cosmos2346).

5. Postprocessing obserwacji satelitarnych

Opracowując dane w postprocessingu użytkownik wykorzystuje własne oprogramowanie i na podstawie pozyskanych obserwacji GNSS wyznacza wektory pomiędzy pomierzonymi synchronicznie punktami wyznaczanymi oraz wybranymi stacjami systemu ASG-EUPOS. Dane obserwacyjne ze stacji referencyjnych do nawiązania pozyskuje za pomocą specjalnego, dedykowanego serwisu POZGO D [5]. W ten sposób tworzy sieć nawiązaną do jednorodnej, wysokodokładnej osnowy państwowej. Wykorzystując pomiary statyczne GNSS w wyniku obliczeń w trybie postprocessingu otrzymujemy obserwacje wektorowe o wysokiej precyzji. Istota dokładności sieci wektorowych GNSS tkwi w czterech podstawowych elementach: prawidłowej konstrukcji geometrycznej sieci, poprawności wykonania pomiarów satelitarnych na mierzonych punktach, postprocessingu obserwacji oraz poprawności opracowania sieci wektorowej. Poprawność konstrukcji geometrycznej sieci weryfikowana jest na etapie projektowania przed ostatecznym zatwierdzeniem projektu sieci do realizacji, uwzględniana jest między innymi poprawność konstrukcji geometrycznej sieci oraz jej funkcjonalność. Poprawność wykonania obserwacji na punktach wyznaczanych zapewniają, odpowiedniej klasy odbiorniki satelitarne oraz zespoły pomiarowe realizujące prace terenowe zachowując między innymi odpowiednie długości sesji pomiarowych na mierzonych punktach i synchronizację pomiarów w poszczególnych sesjach pomiarowych, dokładając staranności do takich czynności jak prawidłowe centrowanie i poziomowanie anten nad wyznaczanymi punktami oraz zapewniając dokładne pomiary wysokości anten.

Przystępując do postprocessingu obserwacji należy natomiast wziąć pod uwagę fakt iż orbity satelitów w IGS określane są w układzie ITRF2008, tak więc otrzymane na podstawie postprocessingu wektory nie będą należały dokładnie do przestrzeni układu odniesienia stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS, który aktualnie określony jest w układzie PL-ETRF2000 (zgodnie z międzynarodowymi zaleceniami). Układy te zrealizowane są bowiem na różne epoki, zachodzi więc pomiędzy nimi zmiana skali, przesunięcia (w kierunku każdej osi układu) i małe obroty, wielkości stanowiące parametry transformacji. Z tego powodu nie należy otrzymanych na podstawie postprocessingu wektorów wyrównywać w układzie PL-ETRF2000 w pełnym nawiązaniu do stacji referencyjnych, ponieważ spowoduje to wystąpienie pewnych błędów systematycznych. W typowych pracach geodezyjnych fakt ten nie będzie miał istotnego znaczenia. Jednak dla wyznaczeń precyzyjnych sieci geodezyjnych a także dla sieci o dużej rozciągłości obszarowej, postępowanie takie nie będzie poprawne.

Postępowanie takie nie będzie również prawidłowe w przypadku gdy chcemy dokonać właściwej oceny wpływu obserwacji dodatkowych satelitów na dokładność wyznaczanych punktów. Dlatego w niniejszej pracy oceny wpływu wynikającego z włączenia dodatkowych satelitów systemu GLONASS do podstawowego rozwiązania GPS dokonano w oparciu o wyrównanie pseudoswobodne sieci za pomocą programu Trimble Business Center - TBC.

Postprocessing zasadniczy obserwacji statycznych GNSS wykonano za pomocą programu TBC w dwóch niezależnych rozwiązaniach: pierwszym z wykorzystaniem sygnałów do satelitów GPS i GLONASS, drugim w oparciu tylko o sygnały satelitów GPS. Postprocessing polegał na tym, iż w oparciu o wcześniej przygotowane: pliki w formacie RINEX, orbity precyzyjne (Final Orbits) i kalibracje anten w formacie ANTEX, program automatycznie zidentyfikował synchroniczne obserwacje w poszczególnych sesjach pomiarowych i określił możliwe do wyznaczenia wektory GNSS.

Przed ostatecznym wykonaniem postprocessingu określono podstawowe parametry przetwarzania linii bazowych w postaci:

- interwał przetwarzania - 1 sekunda,
- częstotliwości – wiele częstotliwości (wszystkie zarejestrowane podczas pomiaru),
- typ rozwiązania trajektorii – precyzyjny (fixed),
- dokładność pozioma rozwiązania $< 0.050 \text{ m} + 1.0 \text{ ppm}$,
- dokładność pionowa rozwiązania $< 0.100 \text{ m} + 1.0 \text{ ppm}$,
- kąt obciążenia horyzontu > 10 stopni.

Wynikiem postprocessingu obserwacji GNSS były wektory GNSS łączące mierzone punkty oraz wektory do stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS (dx , dy , dz) wraz z błędami średnimi ich wyznaczenia (mdx , mdy , mdz). Obserwacje statyczne, aktualnie zapewniają najwyższą dokładność pomiarów GNSS.

6. Kontrola sieci wektorowej – test zamknięcia pętli

Oprogramowanie TBC zawiera funkcje zaawansowanego wykrywania błędów pomiaru i analizy jakości, które umożliwiają pełną kontrolę dokładności otrzymanych wyników. Jednym z takich narzędzi jest analiza pseudo-obszary w postaci automatycznego badania zamknięcia pętli, złożonych z trójkątów, losowo wybieranych w sieci wektorów, która pozwala na ocenę dokładności wyników przetwarzania linii bazowych (postprocessingu). Dla kontroli błędów pomiaru na analizowanym obiekcie przeprowadzono test zamknięcia pętli, który polegał na identyfikowaniu elementów trójkątowych sieci i sprawdzeniu zamknięć odpowiednich sum składowych wektorów w trójkątach. Jako podstawę badania istotności odchyłek, przyjęto odchyłkę dopuszczalną równą 0.10 m , przy sprawdzaniu zamknięć trójkątów. Analiza wykazała, że na 9849 zidentyfikowanych wektorów dla 8 pętli przekroczone zostały krytyczne wartości odchyłek zamknięć w trójkątach. Wektory te wyeliminowano z dalszych etapów opracowania sieci wektorowej.

7. Wyrównanie sieci wektorowej GNSS

Naturalną przestrzenią matematycznego opracowania *sieci wektorowej GNSS* jest globalny kartezjański układ geocentryczny elipsoidy GRS-80 (WGS84). Wyrównanie badanej sieci wektorowej w układzie kartezjańskim XYZ przeprowadzono w dwóch etapach. W pierwszym etapie zrealizowano kontrolne wyrównanie swobodne sieci. Wyrównanie swobodne sieci wykonane zostało bez zakładania stałości żadnego punktu, miało ono na celu sprawdzenie czy wyznaczone w postprocessingu wektory GNSS tworzą poprawną samoistnie wyznaczalną sieć, czy ich wewnętrzna struktura jest poprawna i na jakim poziomie dokładności się kształtuje. Charakterystyczne wartości kontrolne dla tego wyrównania w postaci odchyłek wypadkowych wyrównanych wektorów zestawiono w tabeli 6.

W drugim etapie przeprowadzono wyrównanie pseudo-swobodne, przyjmując jeden punkt nawiązania (punkt osnowy dwufunkcyjnej o numerze 612230-5.1391.0) położony w przybliżeniu w środku ciężkości zrealizowanego układu obserwacyjnego. Odpowiednie wartości kontrolne dla tego wyrównania zestawiono również w tabeli 6.

Obydwa wyrównania zrealizowane zostały metodą ścisłą według zasady najmniejszych kwadratów a włączone do wyrównania stacje referencyjne systemu ASG-EUPOS (KATO, KRA1, ZYWI, WOD1), przyjęte zostały jako punkty wyznaczone. Posłużyły one do ostatecznego wyznaczenia współrzędnych punktów sieci metodą transformacji w oparciu o punkty dostosowania.

W przeprowadzonych wyrównaniach uwzględniono: dokładności wewnętrzne wyznaczonych wektorów (w postaci błędów średnich wektorów mdx , mdy , mdz) uwzględniono także błędy takich czynności pomiarowych jak: błąd średni centrowania anteny w poziomie (5mm) oraz błąd średni pomiaru wysokości anteny (5mm). Wpływają one bowiem istotnie na finalne odchyłki wyrównywanej sieci i są zgodne ze standardami technicznymi wykonywania tego typu prac. Obliczenia zostały przeprowadzone w pięciu iteracjach a cały proces wyrównania był procesem zbieżnym, wyniki zestawiono w tabeli 7.

Przeprowadzone wyrównania potwierdziły wysoką jakość wykonanych w terenie na punktach wyznaczanych oraz pozyskanych z systemu ASG-EUPOS, za pomocą serwisu POZGEO D.

Procedurę wyrównania sieci zrealizowano według powszechnie znanego schematu:

1. Wyznaczenie układu równań obserwacyjnych dla każdego wektora:

$$X_j - X_i = \Delta X_{ij} + vx_{ij}$$

$$Y_j - Y_i = \Delta Y_{ij} + vy_{ij}$$

$$Z_j - Z_i = \Delta Z_{ij} + vz_{ij}$$

2. Wyznaczenie podmacierzy kowariancyjnej:

$$P_{ij} = Q_{ij}^{-1}$$

3. Nałożenie warunku metody najmniejszych kwadratów na układ obserwacyjny:

$$V^T P V = \min$$

4. Rozwiązanie układu równań normalnych:

$$A^T * P * A * X = A^T * P * L$$

gdzie:

A – macierz współczynników

P – macierz wag

L – wektor wyrazów wolnych

X – wektor niewiadomych współrzędnych

Tabela 6. Kontrolne wartości parametrów wyrównania sieci wektorowej

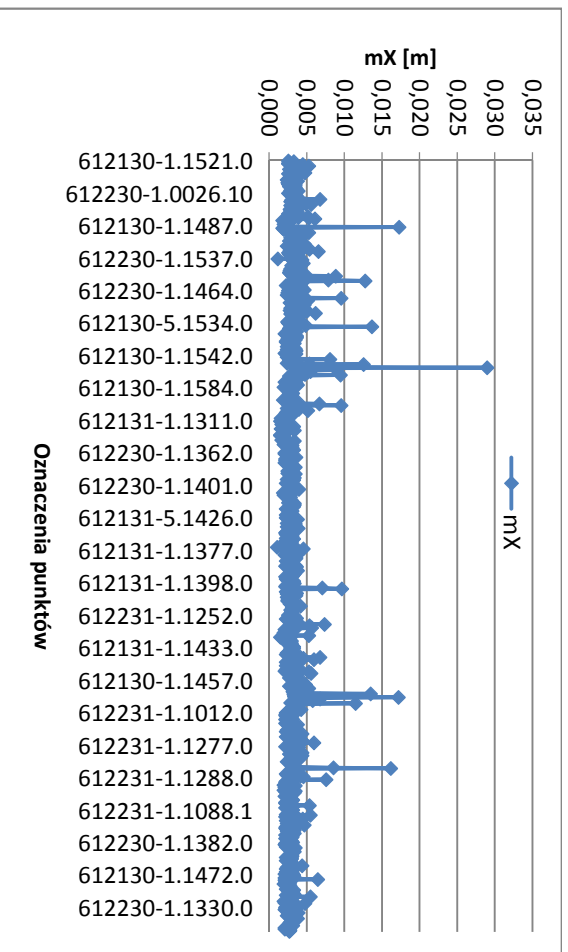
Table 6. Control values of vector network alignment parameters

Parametr	Wyrównanie swobodne sieci		Wyrównanie pseudo-swobodne sieci	
	Pomiar GPS+GLO	Pomiar GPS	Pomiar GPS+GLO	Pomiar GPS
Odchyłka wypadkowa przeciętna wektora	0.0102 m	0.0177 m	0.0105 m	0.0185 m
Odchyłka wypadkowa maksymalna wektora	0.0482 m	0.0588 m	0.0497 m	0.0658 m
Liczba wyrównywanych wektorów	9810	9810	9810	9810

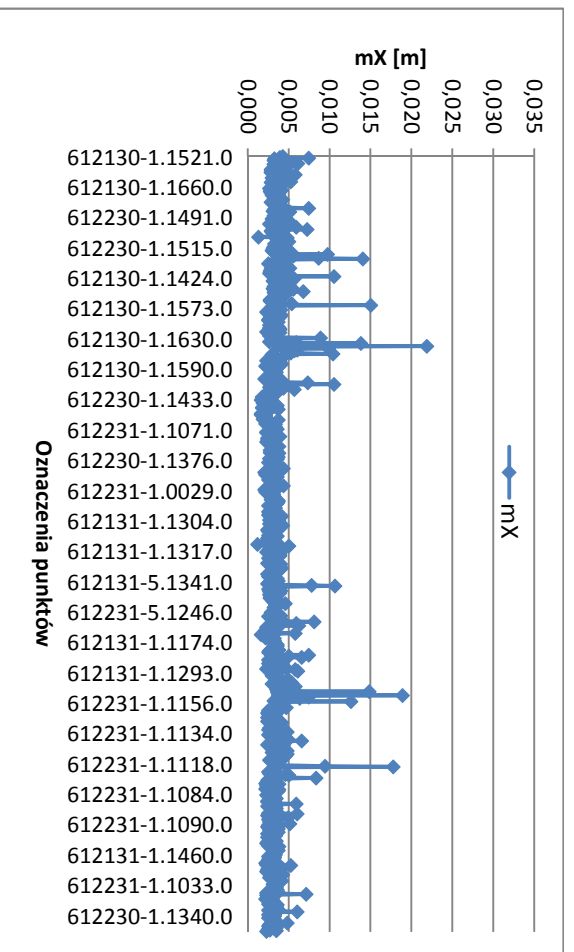
Ze względu na to iż pomiędzy wyrównaniem swobodnym i pseudo-swobodnym (tabela 6) stwierdzono niewielkie rozbieżności wyników, w dalszym etapie, badaniom szczegółowym i ocenie poddano wyniki z wyrównania pseudo-swobodnego.

8. Ocena dokładności wyznaczenia punktów metodą statyczną GNSS

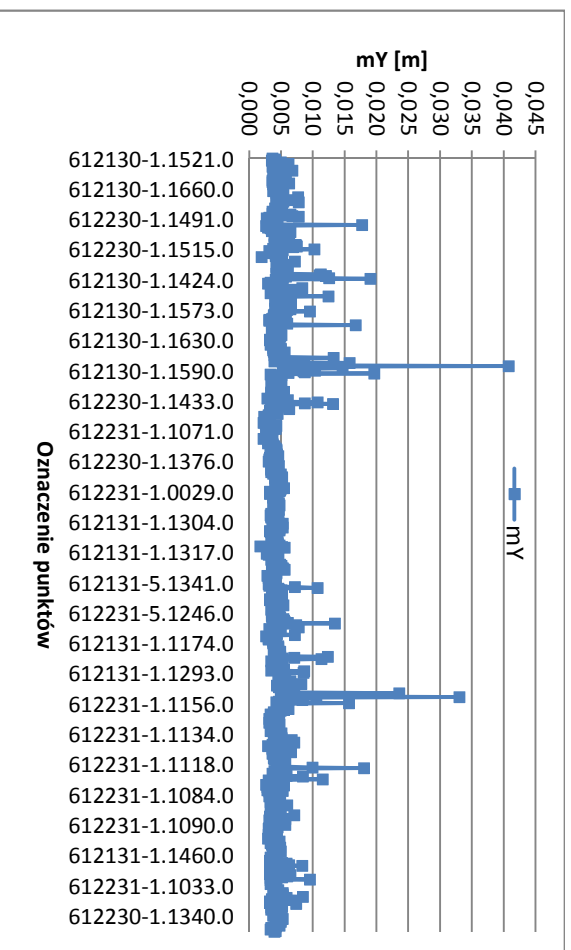
W wyniku wyrównania sieci badawczej w układzie kartezjańskim wszystkie punkty otrzymały współrzędne trójwymiarowe (X,Y,Z) oraz średnie błędy ich wyznaczenia, charakteryzujące dokładność zastosowanej metody statycznej GNSS. Wyniki zestawione na rysunkach 2-7 oraz w tabeli 8 dowodzą, że wyznaczenie współrzędnych punktów metodą statyczną GNSS może być wykonane z dokładnością lepszą niż 1 cm. Na wykresach pojawiają się punkty, których średnie błędy wyrównanych współrzędnych przekraczają wartość 1 cm. Szczegółowa analiza wykazała, że maksymalna ich liczba nie przekracza 2.8 % ogólnej liczby punktów wyznaczanych i odnosi się do współrzędnej Y w rozwiązaniu GPS+GLONASS. Dalsze analizy wykazały, że punkty o największych błędach wyrównanych współrzędnych znajdowały się w miejscach o mocno ograniczonej widoczności satelitów lub takich gdzie czas pomiaru na punkcie był ograniczony do minimum.



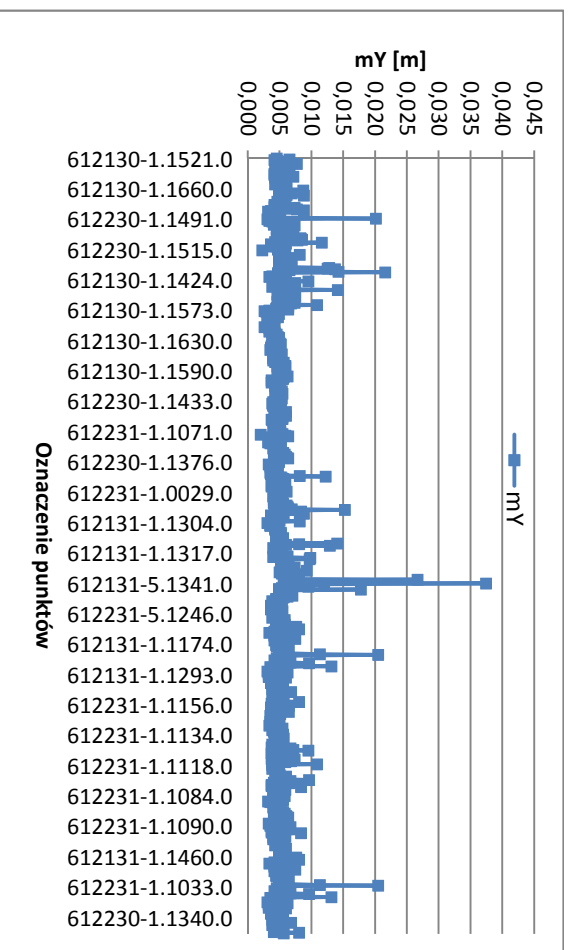
Rys. 2. Błędy średnie wyznaczenia współrzędnych (X) dla rozwiązania GPS+GLONASS
 Fig. 2. Mean errors obtained in determining the coordinates (X) for the GPS + GLONASS solution



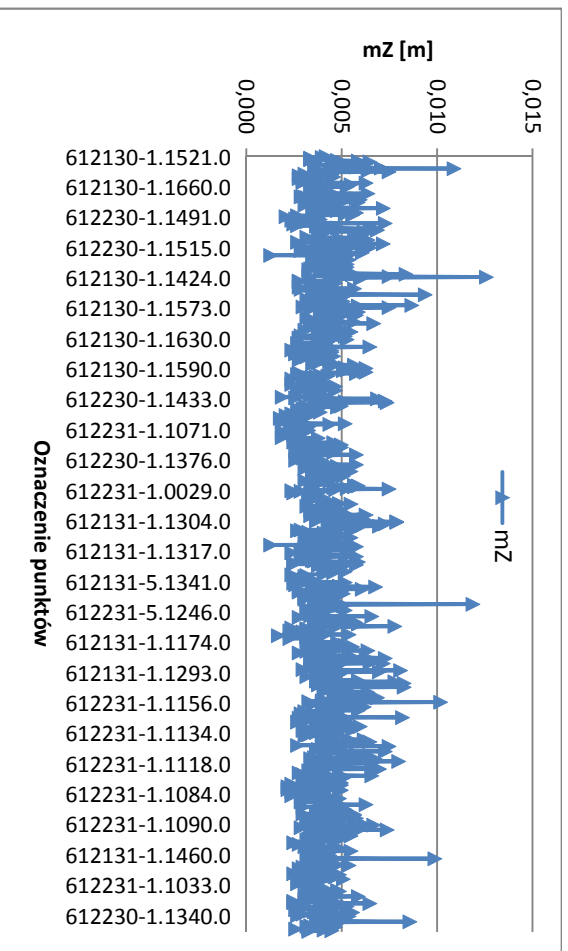
Rys. 3. Błędy średnie wyznaczenia współrzędnych (X) dla rozwiązania GPS
 Fig. 3. Mean errors obtained in determining the coordinates (X) for the GPS solution



Rys. 4. Błędy średnie wyznaczenia współrzędnych (Y) dla rozwiązania GPS+GLONASS
 Fig. 4. Mean errors obtained in determining the coordinates (Y) for the GPS + GLONASS solution

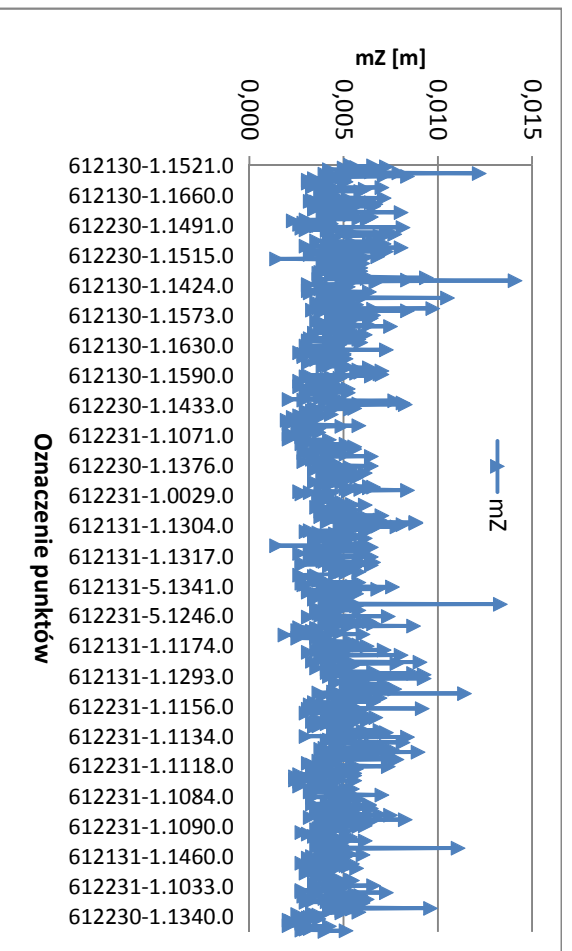


Rys. 5. Błędy średnie wyznaczenia współrzędnych (Y) dla rozwiązania GPS
 Fig. 5. Mean errors obtained in determining the coordinates (Y) for the GPS solution



Rys. 6. Błędy średnie wyznaczenia współrzędnych (Z) dla rozwiązania GPS+GLONASS

Fig. 6. Mean errors obtained in determining the coordinates (Z) for the GPS + GLONASS solution



Rys. 7. Błędy średnie wyznaczenia współrzędnych (Z) dla rozwiązania GPS

Fig. 7. Mean errors obtained in determining the coordinates (Z) for the GPS solution

Tabela 7. Charakterystyczne błędy średnie wyrównanych współrzędnych

Table 7. Characteristic mean errors of adjustment coordinates

Wartość parametru	Rozwiązanie GPS+GLN			Rozwiązanie GPS		
	mX	mY	mZ	mX	mY	mZ
MIN	±0.0011	±0.0018	±0.0013	±0.0012	±0.0020	±0.0015
MAX	±0.0290	±0.0408	±0.0126	±0.0219	±0.0374	±0.0141
ŚREDNIA	±0.0033	±0.0048	±0.0042	±0.0036	±0.0053	±0.0047

Tabela 8. Błędy średnie wyrównanych współrzędnych, na podstawie wyrównania pseudo-swobodnego

Table 8. Mean errors of aligned coordinates, based on pseudo-free alignment

Błąd		GNSS					
		mX		mY		mZ	
		GPS+GLO	GPS	GPS+GLO	GPS	GPS+GLO	GPS
≤5 [mm]	Liczba	965	949	788	583	811	692
	[%]	94.4	92.8	77.1	57.0	79.3	67.7
>5;≤10 [mm]	Liczba	48	61	206	415	207	324
	[%]	4.7	5.9	20.2	40.6	20.3	31.7
>10;≤15 [mm]	Liczba	5	8	18	16	4	6
	[%]	0.5	0.8	1.8	1.6	0.4	0.6
>15;≤20 [mm]	Liczba	3	3	7	2	-	-
	[%]	0.3	0.3	0.7	0.2	-	-
>20 [mm]	Liczba	1	1	3	6	-	-
	[%]	0.1	0.1	0.3	0.6	-	-

9. Wnioski

Przedstawione w niniejszej pracy wyniki pomiarów i opracowań doświadczalnych wykazały, iż przy poprawnie skonstruowanej i pomierzonej metodą statyczną sieci wektorowej GNSS, możemy wyznaczyć współrzędne punktów z dokładnością 1 cm lub wyższą. Takie dokładności uzyskano w badanej pracy:

- w przypadku wykorzystania obserwacji GPS+GLONASS dla:
 - 99.1% wyznaczeń współrzędnej X,
 - 97.3 % wyznaczeń współrzędnej Y,
 - 99.6 % wyznaczeń współrzędnej Z,
- w przypadku wykorzystania obserwacji GPS dla:
 - 98.7 % wyznaczeń współrzędnej X,
 - 97.6 % wyznaczeń współrzędnej Y,
 - 99.4 % wyznaczeń współrzędnej Z.

W tabeli 8 dokonano zestawienia ilościowo jakościowego, błędów średnich wyrównanych współrzędnych w postaci szeregu przedziałowego, dla wyrównania pseudo-swobodnego, docelowego dla opracowywanej sieci.

Zestawienie błędów średnich wyrównanych współrzędnych, na podstawie wyrównania pseudo-swobodnego wskazuje na korzyść rozwiązań dwusystemowych (GPS+GLONASS) w stosunku do rozwiązań z wykorzystaniem tylko systemu pozycjonowania GPS.

Literatura

- [1] Kryński J., Rogowski J.B.: Systemy i układy odniesienia w geodezji, geodynamice i astronomii, Instytut Geodezji i Kartografii, Seria Monograficzna nr 10, Warszawa 2004.
- [2] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowywania i przekazywania wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego (Dz.U. Nr 263 poz. 1572).
- [3] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 15 października 2012 r. w sprawie państwowego systemu odniesień przestrzennych, (Dz.U. z 2012, poz. 1247).
- [4] Rozporządzenie Ministra Administracji i Cyfryzacji z dnia 14 lutego 2012 r. w sprawie osnów geodezyjnych, grawimetrycznych i magnetycznych, (Dz.U. z 2012, poz. 352).
- [5] Siejka Z.: Propozycja metodyki opracowania obserwacji satelitarnych GNSS z wykorzystaniem serwisu POZGEO-D do zakładania punktów osnowy pomiarowej, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, PAN, vol. 2/II/2012, str. 7-16.
- [6] Ustawa z dnia 17 maja 1989 Prawo geodezyjne i kartograficzne, (tekst jednolity Dz.U. z 2016, poz. 1629 z póź. zm).

DEVELOPMENT OF THE GNSS VECTOR NETWORK USING THE ASG-EUPOS SYSTEM, ON THE EXAMPLE OF A MODERNIZED DETAILED HORIZONTAL NETWORK

Summary

The work deals with the issue of numerical development of a satellite vector network with the use of ASG-EUPOS postprocessing services in terms of the accuracy of the obtained results. The concept of connection of satellite and classic techniques used in geodesy is basically related to the modernization or creation of new networks. However, it should be noted that in the early period of development of satellite techniques, GNSS measurements were mainly used to link the network to a higher-order network, improving its geometry, improving network reliability. At that time, GPS vectors supported the implementation of networks by classical methods. In contrast, roles have now reversed and modern GNSS satellite techniques are a basic tool of implementation of basic and detailed networks and the classic methods serve only to supplement the measurements in places where satellite observations can not be effectively performed. The paper presents several variants of network development, which can be the basis for determination of the coordinates of the created detailed networks. The investigated test network was implemented as a detailed horizontal geodetic network for two communes according to the project, which covered the area of approximately 9,500 hectares and consisted of over 1100 points. On the basis of the obtained results analyzes were made in terms of accuracy and reliability of the proposed solutions. Basing on

the obtained results, the optimal procedure which should be used in the calculation process of precise, three-dimensional geodetic networks constructed with the use of post-processing services of the ASG-EUPOS system was indicated.

Keywords: satellite static measurement, GNSS vector, geodetic network adjustment

Przesłano do redakcji: 19.12.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Piotr DRAGAN¹
 Sławomir GUŁKOWSKI²

PERSPEKTYWY WYKORZYSTANIA ENERGII SŁONECZNEJ W DOLINIE ZIELAWY

Odnawialne źródła energii, to szansa nie tylko do poprawy efektywności energetycznej indywidualnych odbiorców, ale również do poprawy budżetu jednostek samorządowych. Jednostki samorządowe mają obowiązek zapewnienia świadczenia usług mieszkańcom, w postaci finansowania zadań oświatowych, zadań z zakresu kultury, ochrony zdrowia, pomocy społecznej, bezpieczeństwa przeciw pożarowego, oświetlenia ulicznego itp. Budżety jednostek samorządowych rzadko są dopinane dotacjami rządowymi czy wpływami z podatków. W celu poprawy sytuacji budżetowej w sferze energetycznej, w województwie lubelskim 5 gmin utworzyło partnerstwo samorządowe o nazwie „Dolina Zielawy”, celem którego była m.in. poprawa efektywności energetycznej poprzez wykorzystanie energii słonecznej. W niniejszej pracy przedstawiono koncepcję efektywności energetycznej w „Dolinie Zielawy” przy wykorzystaniu kolektorów słonecznych i systemów fotowoltaicznych.

Słowa kluczowe: Partnerstwo „Dolina Zielawy”, kolektory słoneczne, farma fotowoltaiczna

1. Partnerstwo Dolina Zielawy

Samorządy pięciu gmin z dwóch powiatów: bialskiego i parczewskiego – Wisznice, Sosnówki, Rossosza, Jabłonia i Podewórza podjęły współpracę w celu rozwoju oraz wspólnej promocji swoich gmin na terenie województwa i kraju i utworzyły partnerstwo pod nazwą „Dolina Zielawy”. Pomysł ten narodził się w połowie 2007 r. i od tamtego momentu partnerstwu udało się zrealizować szereg wspólnych działań i pozyskać wiele środków na realizację strategicznych inwestycji w gminach w myśl zasady „większy może więcej”. Pierwsze porozumienie – umowa o współpracy – została podpisana w kwietniu 2008 r. i obejmowała wspólne przygotowanie wniosku o dofinansowanie budowy 12 dróg gminnych na terenie obszaru turystycznego „Dolina Zielawy” w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Lubelskiego na lata 2007 - 2013. Rozmieszczenie gmin partnerstwa „Dolina Zielawy” przedstawia Rys.1.

¹ Piotr Dragan, Politechnika Lubelska, Wydział Inżynierii Środowiska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin

² Autor do korespondencji / corresponding author: Sławomir Gułkowski, Politechnika Lubelska, Wydział Inżynierii Środowiska, Instytut Inżynierii Odnawialnych Źródeł Energii, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin; 81 5384654; s.gulkowski@pollub.pl



Rys.1. Rozmieszczenie gmin partnerstwa „Dolina Zielawy”.

Fig. 1. Arrangement of municipalities partnership „Valley of Zielawa”

Celem zawiązania partnerstwa było zwiększenie szans na wzajemny rozwój poprzez zwiększenie skuteczności pozyskiwania zewnętrznych środków finansowych na rzecz gmin wchodzących w skład partnerskiego porozumienia. Idea tego rozwiązania jest prosta: zjednoczyć siły, by zwiększyć szanse na unijne dotacje. Dzisiejsza rzeczywistość sprawia, że rozwój samorządów, zwłaszcza wiejskich, zależy niemalże wyłącznie od środków zewnętrznych. Pojedyncze, niezbyt duże gminy mają ograniczone szanse na pozyskiwanie znaczących dotacji na rozwój infrastruktury. Dlatego by wygrać konkurencję z innymi, trzeba być od nich silniejszym i atrakcyjniejszym. Taką przewagę daje właśnie partnerstwo.

Gminy wchodzące w skład partnerstwa „Dolina Zielawy” – oprócz sąsiedniego położenia łączy także przepływająca rzeka Zielawa. To od niej porozumienie zaczerpnęło nazwę.

Samorządy partnerskie w ramach porozumienia „Dolina Zielawy” współpracują w takich obszarach jak rozwój regionalny, oświata, turystyka czy promocja, a ostatnio koncentrują się na wykorzystaniu energii odnawialnej. Jest rzeczą pewną, że takie grupowe, wspólne, skoordynowane działania w ubieganiu się o zewnętrzne środki na rozwój dają większe szanse na powodzenie i realizację. Siła i konkurencyjność partnerskiego porozumienia „Doliny Zielawy” przekładają się na indywidualną atrakcyjność każdej z gmin wchodzących w skład porozumienia, a co za tym idzie – korzystają na tym mieszkańcy oraz potencjalni turyści i inwestorzy.

Partnerstwo oficjalnie zostało zawiązane i podpisane z inicjatywy Wójta Gminy Wisznice w kwietniu 2008 r. – gdy startowały pierwsze nabory wniosków w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Lubelskiego na lata 2007 – 2013. Od tamtego momentu samorządom wspólnie udało się zrealizować szereg istotnych projektów i działań, takich jak:

- „Budowa dróg gminnych - 20 odcinków dróg łącznej długości ok. 18 km;
- „Promocja kultury i turystyki;

- „Dolina Zielawy” ponadlokalną marką na gospodarczej mapie Lubelszczyzny”;
- „Kompleksowy system edukacji przedszkolnej w gminach północnej Lubelszczyzny” – utworzenie łącznie 16 nowych grup przedszkolnych dla dzieci w wieku 3 – 5 lat (każda po 15 osób) w 5 partnerskich gminach;
- Coroczny zakup energii elektrycznej dla gmin z partnerstwa „Dolina Zielawy” w okresie od 01.06.2011 do chwili obecnej – zbiorczy zakup energii elektrycznej do obiektów Zamawiającego po obniżonej cenie dzięki zastosowaniu mechanizmu przetargu i zakupów grupowych;
- „Poprawa bezpieczeństwa ekologicznego w „Dolinie Zielawy”” – m. in. zakup samochodów bojowych dla głównych jednostek straży pożarnych funkcjonujących na obszarze partnerstwa;
- „Czysta energia w „Dolinie Zielawy” – montaż 925 instalacji kolektorów słonecznych na domach prywatnych i budynkach użyteczności publicznej w 5 gminach wchodzących w skład Partnerstwa;
- Powołanie spółki samorządowej „Energia Dolina Zielawy”, której celem jest zabezpieczenie obszaru Partnerstwa w energię elektryczną ze źródeł odnawialnych.

W dalszej części pracy skupiono się na dwóch ostatnich z ww. projektów związanych z wykorzystaniem energii słonecznej.

2. „Czysta energia w Dolinie Zielawy” – kolektory słoneczne

Szczególnie ciekawym i ważnym przedsięwzięciem w ramach partnerstwa była realizacja projektu „Czysta energia w Dolinie Zielawy”. Pomysł realizacji tego przedsięwzięcia wynikał z konieczności zadbania o stan środowiska przyrodniczego oraz potrzeby uniezależnienia systemów grzewczych od jednego źródła ciepła wykorzystującego tradycyjne źródła energii poprzez zastosowanie alternatywnej instalacji wykorzystującej potencjał energii słonecznej w województwie lubelskim [1]. Realizacja przedsięwzięcia oparła się na montażu kolektorów słonecznych na budynkach użyteczności publicznej oraz domach prywatnych zlokalizowanych na terenie pięciu gmin partnerstwa. Montowane w ramach realizacji projektu „Czysta energia w Dolinie Zielawy” zestawy kolektorów słonecznych zbudowane są w oparciu o kolektory płaskie, które posiadają certyfikat Solar Keymark, świadczący o spełnieniu przez te produkty wszystkich wymogów jakościowych i trwałościowych. Do końca sierpnia 2012 r. łącznie zostało zamontowanych 925 zestawów kolektorów słonecznych. Rozkład ilości kolektorów w poszczególnych gminach partnerstwa przedstawia tabela 1.

Dobór wielkości zestawów słonecznych odbywał się na podstawie deklarowanej liczby użytkowników w danym gospodarstwie domowym. Założono podział na 4 wielkościowe zestawy, tj:

- 200 litrów - 2 kolektory - dla gospodarstwa domowego składającego się z 1-3 osób;
- 300 litrów - 3 kolektory - dla gospodarstwa domowego składającego się z 4-5 osób;
- 400 litrów - 4 kolektory - dla gospodarstwa domowego składającego się z 6-7 osób;
- 500 litrów - 5 kolektorów - dla gospodarstwa domowego składającego się z więcej niż 7 osób.

Tabela 1. Rozkład ilości instalacji kolektorów słonecznych w poszczególnych gminach partnerstwa „Dolina Zielawy”

Table 1. Distribution of solar installations in communities of “Zielawa Valley” partnership

Gmina	Liczba mieszkańców	Liczba zainstalowanych kolektorów słonecznych
Gmina Jabłoń	4 090	239
Gmina Podedwórze	1 872	107
Gmina Rossosz	2 458	123
Gmina Sosnówka	2 731	94
Gmina Wisznice	5 326	362

Gmina Wisznice jako lider tego projektu została laureatem konkursu „Gmina Przyszłości 2010”, który ogłoszono i zrealizowano w ramach Ogólnopolskiego Programu na rzecz Zrównoważonego Rozwoju Społeczności Lokalnych „Gaspol Kibicuje Klimatowi”. Aplikacja została wyróżniona w kategorii ekologia. Projekt wyróżniony został również przez Portal Samorządowy jako TOP Inwestycja Komunalna 2012 w Polsce w zakresie Ochrony Środowiska.

3. „Energia Dolina Zielawy” - farma fotowoltaiczna

Samorzady wchodzące w skład partnerstwa “Dolina Zielawy” kładą nacisk na zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego mieszkańcom swoich gmin, promowanie ekologicznych rozwiązań oraz sukcesywnie dążą do spełnienia zapisów dyrektyw Unii Europejskiej, zalecających by co najmniej 15% energii była pozyskiwana z odnawialnych źródeł energii (OZE). Dlatego też powstał pomysł budowy farmy fotowoltaicznej. Położenie geograficzne gmin partnerstwa - wyróżniające się stosunkowo dużym nasłonecznieniem- 1 700 godzin intensywnej energii słonecznej w ciągu roku – powoduje, iż ma ono duży potencjał w tym zakresie. Zasoby energii słonecznej na lubelszczyźnie charakteryzują się przede wszystkim bardzo nierównomiernym rozkładem czasowym w cyklu rocznym [2]. Zdecydowana większość (80%) całkowitej rocznej sumy nasłonecznienia występuje w okresie wiosenno-letnim, to jest od początku kwietnia do końca września. Rocznie suma rzeczywistego usłonecznienia kształtuje się na poziomie 1500-1700 godzin, a roczne napromieniowanie całkowite wynosi od 3 600 do ponad 3 800 MJ/m². Znaczna część województwa lubelskiego znajduje się w rejonie, gdzie roczne sumy promieniowania słonecznego kształtują się na poziomie 950-1020 kWh/m². Duży udział promieniowania bezpośredniego w promieniowaniu całkowitym wynoszący 52-54% w okresie letnim, a w okresie zimowym 40-44% decyduje o korzystnych warunkach słonecznych województwa [3-4].

Misja partnerstwa “Dolina Zielawy” w zakresie energetyki skupia się na wykorzystaniu posiadanych źródeł energii, tj. słońca, wody, wiatru i biomasy dla zapewnienia wystarczalności energetycznej przy ich efektywnym energetycznie wykorzystaniu dla rozwoju obszaru “Dolina Zielawy”.

W celu realizacji budowy farmy fotowoltaicznej w maju 2012 roku została powołana spółka Energia Dolina Zielawy sp. z o.o. Celem spółki jest realizacja

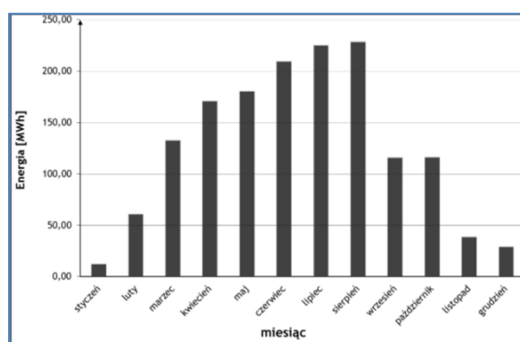
zadań publicznych związanych z zabezpieczeniem energetycznym obszaru partnerstwa. 100% własności udziałów mają gminy wchodzące w skład partnerstwa „Dolina Zielawy”, a wielkość udziałów na poszczególne gminy rozkłada się procentowo. Powstała w 2014 roku elektrownia fotowoltaiczna o łącznej mocy 1.4 MW (grid connected) produkuje energię elektryczną z wykorzystaniem odnawialnych źródeł pokrywającą zapotrzebowanie poszczególnych gmin. W ramach analizowanej inwestycji zainstalowano krzemowe moduły polikrystaliczne o łącznej mocy 1.407 MW, co stanowi 5628 sztuk modułów po 250 Wp każdy. Sprawność modułów wynosi 15.3% w warunkach standardowych. Na każde 68 sztuk modułów fotowoltaicznych, zainstalowano jeden inwerter o mocy czynnej AC 17 kW każdy.

4. Wyniki działania instalacji słonecznych

W wyniku realizacji projektu „Czysta energia w Dolinie Zielawy” stwierdzono, że z ciepłej wody z kolektorów korzysta ponad 4 000 osób w domach prywatnych i ponad 2 200 w obiektach instytucji publicznych. Funkcjonuje sumarycznie 2 941 jednostek wytwarzania energii cieplnej przy wykorzystaniu promieniowania słonecznego, a ich całkowita moc wynosi 4.29 MW. Montaż kolektorów słonecznych ograniczył wykorzystanie energii cieplnej pozyskiwanej z tradycyjnych źródeł – szczególnie węgla - na rzecz energii odnawialnej. Przyczynił się nie tylko do zmniejszania kosztów związanych z wytwarzaniem ciepła, ale również do ograniczenia zanieczyszczenia środowiska naturalnego, ograniczenia emisji gazów cieplarnianych do atmosfery. Przypuszcza się również, że zmniejszyło się ryzyko zachorowań mieszkańców na choroby wynikające z zanieczyszczenia środowiska.

Rysunek 2 przedstawia wykres produkcji energii elektrycznej przez farmę fotowoltaiczną w roku 2015. Całkowita ilość energii wyprodukowanej w 2015 roku wyniosła 1530 MWh. Maksymalna produkcja przypadła na miesiące letnie (czerwiec-sierpień). Najgorzej pod tym względem prezentują się miesiące zimowe (listopad-grudzień oraz styczeń-luty). Średnia dzienna produkcja energii w miesiącach letnich wynosi $5 \div 5.3$ kWh/kWp. W miesiącach zimowych wartość ta nie przekracza $0.5 \div 1$ kWh/kWp.

Uwzględniając, że średnie zapotrzebowanie energetyczne obiektów użyteczności publicznej oraz oświetlenia ulicznego w pięciu gminach wynosi w skłai roku około 1430 MWh energii należy stwierdzić, że farma realizuje swój cel zaopatrzenia gmin obszaru Partnerstwa w energię elektryczną w 100%.



Rys. 2. Produkcja energii przez elektrownię fotowoltaiczną w poszczególnych miesiącach 2015 roku

Fig. 2. Energy production by photovoltaic power plant in various months of the 2015

Szacując, że w przypadku elektrowni wykorzystujących węgiel do produkcji prądu, do wyprodukowania 1 kWh elektrownia zużywa 0.45 kg węgla to do wyprodukowania 1430 MWh energii zużywane jest 719 ton węgla. Spalenie tej ilości węgla prowadzi do emisji gazów w następujących ilościach: CO₂ – 1373.76t, SO₂ – 3.83t, NO_x – 2.08t. Produkcja energii z farmy fotowoltaicznej pozwala znacznie zmniejszyć emisję zanieczyszczeń do atmosfery.

5. Podsumowanie

Partnerstwo samorządowe, stanowiące porozumienie co najmniej kilku jednostek, daje większe szanse na realizację dużych przedsięwzięć inwestycyjnych. Ponadto, takie partnerstwo łatwiej może uzyskać dotacje z różnego rodzaju funduszy pomocowych. „Dolina Zielawy” – to przykład efektywnie działającego partnerstwa pięciu gmin Lubelszczyzny. Dwa szczególnie istotne osiągnięcia partnerstwa omówione w niniejszej pracy to wybudowanie instalacji kolektorów słonecznych o łącznej mocy 4.31 MW oraz inwestycja w farmę fotowoltaiczną o mocy 1.4 MWp. Działania te, to nie tylko poprawa kondycji finansowej gmin partnerstwa, ale przede wszystkim wymierny efekt ekologiczny poprzez ograniczenie emisji gazów takich jak CO₂, SO₂, NO_x.

Literatura

- [1] A. Siuta-Olcha, Potencjał Energii promieniowania słonecznego w województwie lubelskim. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Zeszyt 59/2012, s. 693-698.
- [2] J.M. Olchownik, Fotowoltaika w kontekście innych źródeł energii na Lubelszczyźnie. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Zeszyt 59/2012, s. 557-561.
- [3] R. Tomaszewski, J.M. Olchownik, J. Adamczyk, Badania nad efektywnością konwersji fotowoltaicznej (PV) dla warunków Lubelszczyzny, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA, z. 61 (3/II/14), s. 511-520. DOI: 10.7862/rb.2014.117.
- [4] E. Krawczak, S. Gułkowski, J.M. Olchownik, Badanie efektywności pracy fotowoltaicznego systemu „off-grid” w warunkach zimowo-wiosennych dla Lubelszczyzny, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury – Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, JCEEA, z. 61 (3/II/14), s. 317-328. DOI: 10.7862/rb.2014.98.

PERSPECTIVES OF THE USE OF SOLAR ENERGY IN THE VALLEY OF ZIELAWA

Summary

Renewable energy sources is an opportunity not only to improve the energy efficiency of individual customers, but also to improve the budget of local communities. Local communities have an obligation to ensure the provision of services for citizens, in the form of financing of educational tasks, tasks in the field of culture, health protection, social welfare, safety against fire, street lighting, etc. The budgets of local communities are rarely buttoned government grants or tax revenues. In order to improve the budgetary situation in the energy sector, in the Lublin Voivodeship of 5 local municipalities have formed a partnership called the "Valley of Zielawa", the aim of which was, inter alia, improving energy efficiency through the development of solar energy. This paper presents an analysis of energy efficiency in the "Valley of Zielawa" using solar collectors and photovoltaic systems.

Keywords: partnership the "Valley of Zielawa", solar collectors, photovoltaic system

Przesłano do redakcji: 27.12.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Bogdan SIEDLECKI¹
Anna CZAPLICKA²

ENERGOOSZCZĘDNE SYSTEMY OŚWIETLENIA OBIEKTÓW ARCHITEKTONICZNYCH W ASPEKTCIE ZAGROŻENIA ŚRODOWISKA NATURALNEGO

Współczesny rozwój technologii oświetlania obszarów miejskich pozwala na zaprojektowanie percepcji architektury zarówno w skali urbanistycznej jak i poszczególnych obiektów. Niestety rzadko wykorzystuje się wiedzę i potencjał specjalistów w tej niedocenianej dziedzinie projektowania a może nawet twórczości. Brak dostosowania rodzaju, mocy i kierunku strumienia światła powoduje zarówno oślepienie użytkowników przestrzeni miejskiej jak i powstanie stref niedoświetlonych, czyli niebezpiecznych w aspekcie społecznym. Artykuł stanowi „głos w dyskusji” nad potrzebą intensyfikacji wprowadzenia do zagadnień planowania przestrzennego problematyki związanej z oświetleniem budynków, zabytków, ulic i innych elementów przestrzeni miejskiej, zwracając równocześnie uwagę na istotę problematyki zanieczyszczenia środowiska światłem sztucznym.

Słowa kluczowe: technologie oświetlenia, architektura, środowisko naturalne

TEZA:

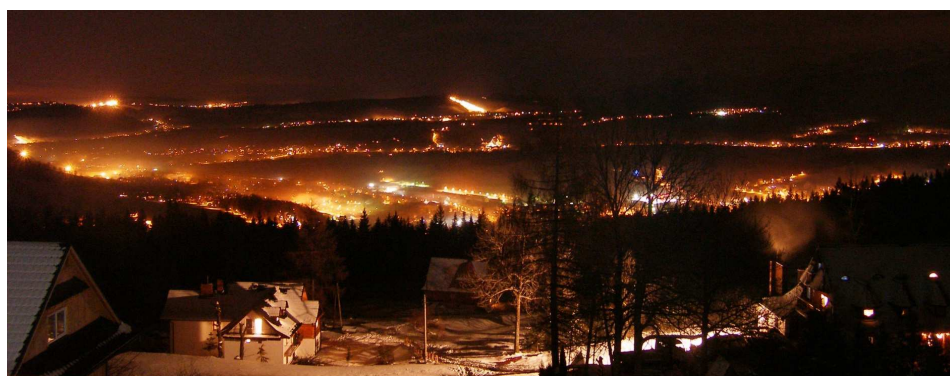
1. Dynamiczny rozwój cywilizacji i technologii niskoenergetycznych źródeł światła doprowadził do zaśmiecenia środowiska naturalnego.
2. Nieuzasadniony nadmiar ilości źródeł i natężenia światła jest szkodliwy dla flory i fauny.
3. CZŁOWIEK nie jest przystosowany do stałego przebywania w „jasnych strefach”, czyli po zachodzie słońca naturalnym otoczeniem jest zaciemnienie.
4. Nieograniczone przeszklenia obiektów kubaturowych działają szkodliwie nie tylko w słoneczny dzień, generują dodatkowe doświetlenia stref miejskich, zwłaszcza w zwartej zabudowie.

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Bogdan Siedlecki, Politechnika Krakowska, Instytut Projektowania Budowlanego Wydział Architektury, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, bsiedlecki@pk.edu.pl

² Anna Czaplicka, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, anna.czaplicka@pk.edu.pl

Brutalna ingerencja człowieka w środowisko naturalne jest niezaprzeczalna. Coraz większe obszary przyrody w jej naturalnej formie są zajmowane przez inwestycje związane z tzw. rozwojem aglomeracji miejskich. Wtórne próby tworzenia parków miejskich, z uwagi na ich skromne rozmiary nie zastąpią naturalnych ekosystemów. Z drugiej jednak strony współczesne społeczeństwo stworzyło sobie sztuczne enklawy; z elementami środowiska naturalnego, w których spędza znaczną część życia i jak uważamy, jest to wystarczające. Odwieczny cykl życia przyrody (w tym człowieka), tj. praca – odpoczynek – sen nie zawsze jest możliwy do zastosowania, jako uniwersalny model społeczny. Obecny styl życia narzucił konieczność funkcjonowania społeczeństwa całą dobę, czyli szeroko rozumiane usługi w tym reklama i informacja wizualna oraz transport tworzą wszechobecne agresywne, jaskrawe tło oślepiające przechodniów i kierowców wzmacniane odczuwalnym, znacznym natężeniem hałasu. Ilość światła, jakie generuje „tkanka miejska” jest wartością możliwą do określenia; pomiaru takiego można dokonać przy użyciu fotometrów lub poprzez własny system klasyfikujący np. liczbę gwiazd widocznych nieuzbrojonym okiem na określonym obszarze nieba. Bardziej jednak ściśle podejście zapewnia nam 9-stopniowa skala Bortle'a [1]. Pozwala ona na szacunkową ocenę, jakości nieskażonego, nocnego nieba podczas obserwacji astronomicznych, polegającą na określeniu ilości widocznych gwiazd na zdefiniowanym obszarze nieboskłonu.

Jednym z ważniejszych kierunków działań mających na celu ograniczenie zbędnego nadmiaru światła na obszarach miejskich jest stworzenie odpowiedniej konstrukcji obudowy jego źródła. Należy podkreślić, że nie jest to zagadnienie wyłącznie estetyczne w zakresie wzornictwa przemysłowego, ale potrzeba całkowitej kontroli nad kierunkiem, stożkiem światła i jego zasięgiem. Możliwość taką uzyskamy poprzez stworzenie odpowiedniej konstrukcji obudowy, odbłyśnika oraz klosza. Efektem badań nad źródłami światła o wystarczającej mocy przy równoczesnym ograniczeniu zużycia energii są stosowane na szeroką skalę lampy

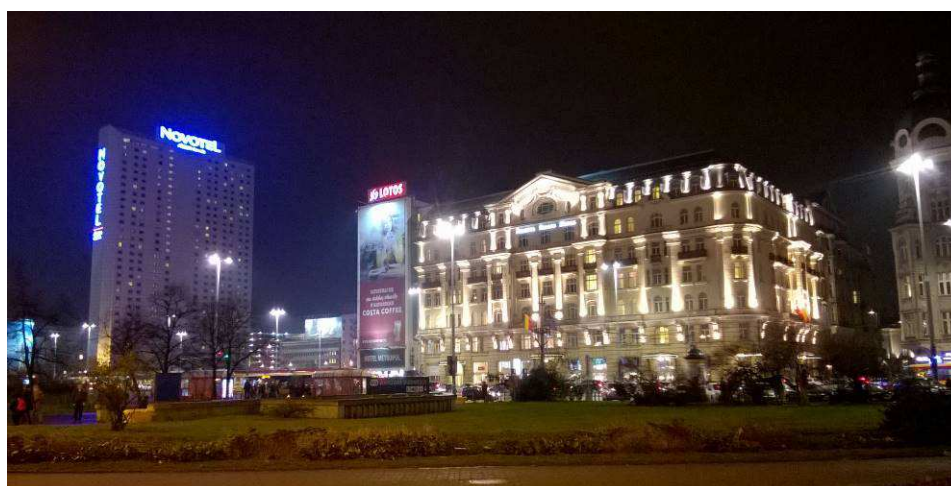


Rys. 1. Zakopane, widok z Gubałówki. Efekt rozświetlenia ulicznym oświetleniem LED

Fig. 1. Zakopane, the view from Gubałówka. The effect of illumination LED street lighting

LED. Jak wykazują badania naukowe, bazowym spektrum widma tego typu źródła jest barwa niebieska, która blokuje w największym stopniu wytwarzanie przez ssaki melatoniny (tzw. hormonu snu). Dla systemów związanych z oświetleniem komunikacyjnym, w tym zarówno dróg i ulic jak i tych stosowanych w reflektorach pojazdów, brak senności u pieszych i kierowców jest zjawiskiem na wskroś pozytywnym. Stosowanie w skali urbanistycznej tego typu oświetlenia jest bardziej agresywne dla środowiska, powodując znacznie większe rozświetlenie obszaru oddziaływania na dolne warstwy atmosfery (rys. 1.) [3, 6].

W aspekcie społecznym, ważniejszym zagadnieniem wydaje się być samo oświetlenie konkretnej, wybranej strefy, obiektu, przestrzeni unikając równocześnie oślnienia czy wręcz oślepienia przypadkowych użytkowników ogólnodostępnej przestrzeni publicznej. Umiejętność lokalizacji poszczególnych źródeł światła jest niezwykle trudna i to zarówno w skali architektonicznej jak i urbanistycznej. W strefach ochrony konserwatorskiej pojawia się jeszcze dodatkowy problem związany z ograniczeniem ingerencji w same obiekty, czyli nadmierne oświetlenie ich wnętrza (rys. 2.). Największą uciążliwość odczuwają właściciele / mieszkańcy prywatnych lokali w obiektach zabytkowych. W tej właśnie sferze konflikt interesów może zaistnieć pomiędzy użytkownikami obiektu a turystami odwiedzającymi dany obszar. Oświetlenie obiektów zabytkowych względnie całych stref urbanistycznych leży w interesie ekonomicznym miejscowych władz administracyjnych, właścicieli lokali gastronomicznych, zachęcając potencjalnych turystów do jak najdłuższego okresu przebywania w konkretnej aglomeracji. Jak więc dobrać właściwy system eksponowania obiektu: oświetlenie całości mocnym źródłem, czy zastosowanie znacznej ilości podświetleń elewacji nie zawsze wpływa korzystnie na plastykę samego obiektu. Pojawia się również zagadnienie jednostkowych elementów w skali miasta, których działanie można porównać do starych



Rys. 2. Warszawa, okolice Pałacu Kultury. Nadmiar punktów świetlnych zatracza charakter obiektu
Fig. 2. Warsaw, around the Palace of Culture. Excess light points lost character object

latarni morskich wyznaczających kierunek wędrówki. Niestety współczesne możliwości poprzez swoją agresywność wprowadzają dezorientację dla migrujących ptaków, powodując masowe straty w ich populacji (rys. 3.). Niezależnie intensywne stożki sztucznego światła stanowią swoistą pułapkę dla zdeorientowanych ptaków, które krążą w rozświetlonej strefie aż do utraty sił.



Rys. 3. Strefa Zero w Nowym Jorku – „pomnik światła”

Fig. 3. Ground Zero in New York - "monument of light"

Jakość oświetlenia obiektu nie zależy od ilości lux/m² elewacji natomiast odpowiednio zaprojektowane system oświetlenia, np. punktowy, pozwoli na wydobywanie plastyki elewacji (rys. 4-5.) oraz podkreśli wartości architektoniczne samej budowli umożliwiając rozświetlenie otoczenia łagodnym światłem odbitym.

W wielu przypadkach jeszcze lepszy efekt można uzyskać poprzez ograniczenie się wyłącznie do rozświetlenia wnętrza obiektu, wydobywając go dyskretnie z tła tkanki miejskiej.



Rys. 4. Kreta, Grecja. Ukierunkowany, odbity strumień światła oświetla konkretne wybrane strefy ciągów komunikacyjnych nie powodując oślepienia

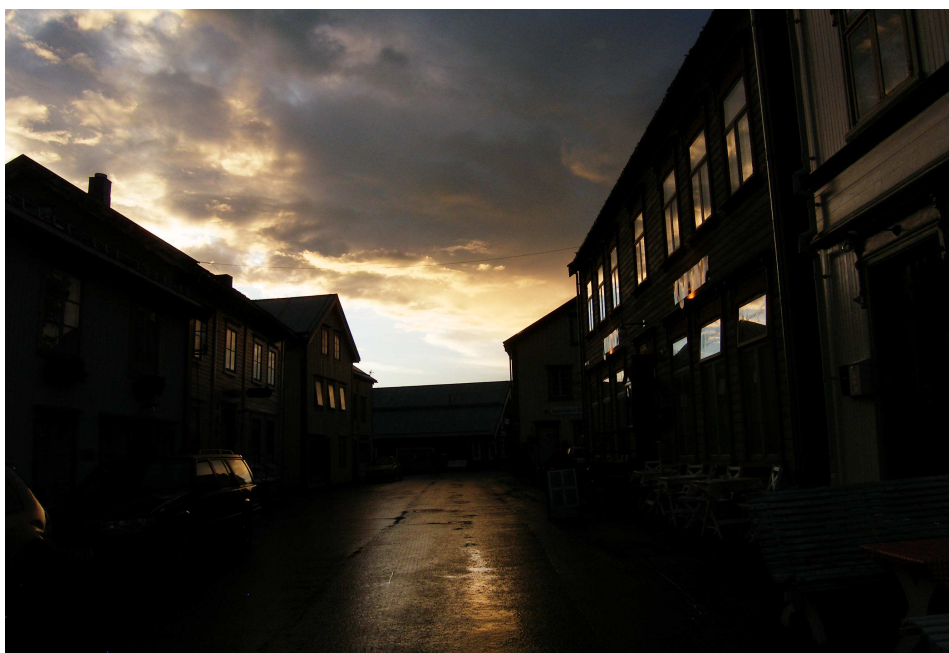
Fig. 4. Crete, Greece. Targeted the reflected beam of light illuminates the specific zone selected routes without causing glare



Rys. 5. Oslo, budynek Ratusza. Podkreślenie przestrzennej formy obiektu poprzez oświetlenie wyłącznie jego fragmentu

Fig. 5. Oslo Town Hall. Underlining the spatial shape of the object by lighting only a fragment

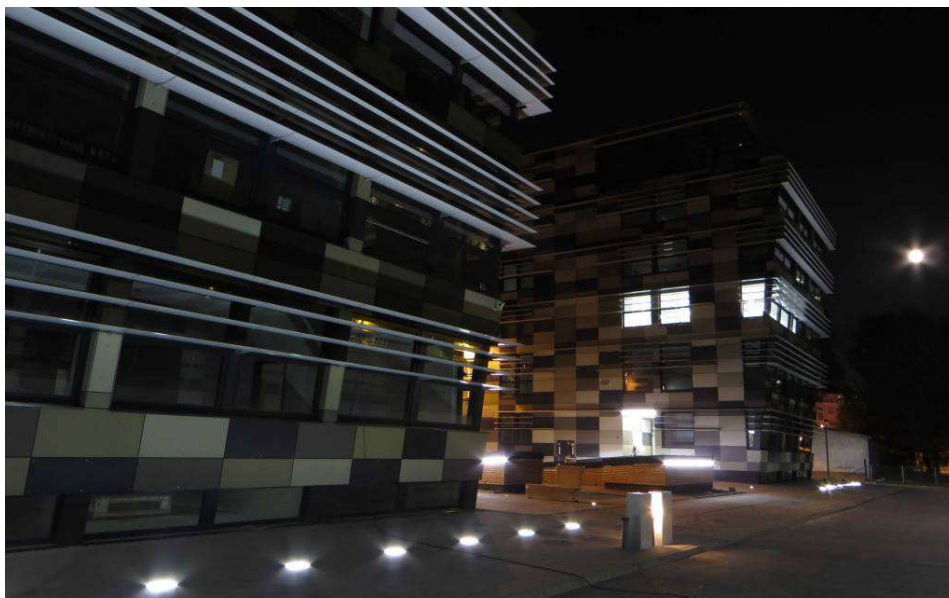
Narząd wzroku człowieka nie jest doskonały: w naturalnych warunkach środowiskowych przystosowanie wzroku do obniżonego natężenia światła (zmrok, noc) trwa kilkadziesiąt minut. Jak jednak w każdym przypadku i tu natrafimy na wyjątki – północne krańce Europy w środku lata nie zapadają w ciemności nocy, czyli miejscowe ekosystemy różnią się od tych, które stanowią naszą strefę klimatyczną (rys. 6.).



Rys. 6. Północna Norwegia, 2.00. Przy dobrej widoczności słońce pozostaje całą dobę ponad horyzontem

Fig. 6. Northern Norway, 2.00 am. When visibility is good, the sun remains above the horizon 3

Gwałtowne zmiany intensywności sztucznego oświetlenia uniemożliwiają odbiór wszystkich bodźców zewnętrznych, niestety nie wyłączając tych ostrzegających przed niebezpieczeństwem (rys. 8.) [8]. Świadomy dobór systemu i lokalizacji opraw oświetleniowych powinien być dostosowany do specyfiki wnętrza i podkreślać specyfikę indywidualnych cech architektury każdego obiektu (rys. 7.) [4].



Rys. 7. Warszawa, strefa bez wysokich latarni ulicznych

Fig. 7. Warsaw zone without the high streetlights



Rys. 8. Kreta, Grecja, oświetlenie uliczne „nowej generacji”, pomimo ograniczonego stożka światła oprawy powodują oślepienie kierowców i pieszych

Fig. 8. Crete, Greece, street lighting "new generation", despite the limited cone of light fixtures cause blind drivers and pedestrians

Rozświetlenie nieba nad obszarami miejskimi nie wynika jedynie z agresywnej działalności człowieka, ale niejednokrotnie wpływ na to mają warunki atmosferyczne, które w sposób istotny mogą wpływać na dolne warstwy atmosfery. Poruszany problem wadliwego, nadmiernego oświetlenia wystarczy niewielki opad śniegu (rys. 9.) a nawet nieliczne chmury czy niewielka mgła lub też duże zapYLEnienie atmosfery, by nad miastem utworzyła się świetlista kopuła zwana łuną świetlną.



Rys. 9. Ulica Św. Jana, Kraków. Fotografia wykonana bezpośrednio po opadzie śniegu
Fig. 9. Street Saint John, Krakow. The photograph was taken immediately after a snowfall

Czy jesteśmy w stanie mimo wszystko uniknąć błędów w kreowaniu naszego „sztucznego naturalnego” środowiska? Tworząc architekturę miasta nie możemy ograniczyć się do pojedynczego obiektu – agresywnej, oślepiającej witryny sklepowej czy budynku będącego źródłem światła dla całej okolicy. Projektowanie i symulacje komputerowe w odniesieniu do otoczenia powinny podlegać zatwierdzeniu i uzyskaniu pozwolenia na budowę analogicznego z realizacją każdej inwestycji kubaturowej. Koniecznym wydaje się wprowadzenie wymogu projektowania oświetlenia na etapie tworzenia planu zagospodarowania przestrzennego miasta i jego terenów przyległych. Przy czym w planie zagospodarowania przestrzennego należałoby obszary zurbanizowane podzielić na strefy o określonych dopuszczalnych parametrach natężenia światła. Natomiast istniejące obszary intensywnej zabudowy miejskiej powinny podlegać stałej kontroli administracyjnej wyspecjalizowanych jednostek wyłapujących samowolę oświetleniową. Jednak przy obecnym braku jednoznacznych uwarunkowań prawnych mogących stanowić podstawę takich działań jesteśmy bezsilni (rys.4.) [5]. Tak, więc zanieczyszczenie światłem jest jedynym, za które nie zostaniemy pociągnięci do odpowie-

działności. Ze względu na fakt, że zanieczyszczenie światłem pochodzące z dużych ośrodków miejskich może być odbite od chmur i przenoszone na duże odległości [7] należałoby wyznaczyć strefy ciemnego nieba w celu ochrony ważnych z punktu widzenia ochrony środowiska ekosystemów o szczególnych walorach przyrodniczych [2] i użytkowych.

WNIOSKI:

1. Specjalistyczne badania prowadzone w skali globalnej w ostatnich latach wykazały, że nasze stulecie charakteryzuje skrócenie czasu snu statystycznego mieszkańca Ziemi o 20 %. Czy jest to bez znaczenia?
2. CZŁOWIEK do przejścia w „tryb nocny” potrzebuje ok. 90 minut – bez wystawiania się na emisję działania sztucznego promieniowania w paśmie widzialnym.
3. Często powoływany, jako kontrargument dobowego zaciemniania stref urbanistycznych polarny cykl półroczny dzień – noc, wymagał jednak od przyrody stworzenia specjalnego, indywidualnego ekosystemu.
4. Wprowadzenie, jako elementu systemu elewacyjnego, ruchomych elementów osłon budynków – pozwoli nie tylko na podniesienie sprawności instalacji klimatyzacji, ale również może przekierować nadmiar oświetlenia wewnętrznego obiektów na ciągi komunikacji w strefach zwartej zabudowy miejskiej.

Literatura

- [1] Bortle J. E.: Light Pollution And Astronomy: The Bortle Dark-Sky Scale, Sky & Telescope, July 18, 2006.
- [2] Cyunel M., Czaplicka A., Stochel-Cyunel J.. Oświetlenie miejskie w kontekście zanieczyszczenia światłem. Kosmos t. 64, nr. 4 (309), 2015, s. 537-544.
- [3] Hauser J., Elektrotechnika: podstawy elektrotermii i techniki świetlnej, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2006.
- [4] Krupiński R. Modelowanie 3D dla potrzeb iluminacji obiektów. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2011.
- [5] Ratajczak J. Oświetlenie iluminacyjne obiektów architektonicznych, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2009.
- [6] Ścieżor T., Kubala M., Kaszowski W., Light pollution of the mountain areas in Poland, Archives of Environmental Protection Vol. 38. Issue 4, 2012, s. 59-69.
- [7] Zalesińska M., Oświetlenie drogowe, Warszawa: SEP-COSiW; Bełchatów: Zakład Wydawniczy "INPE". Podręcznik INPE dla Elektryków z. 35, 2011.
- [8] Żagan W., Podstawy techniki świetlnej Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2014.

ENERGY-EFFICIENT LIGHTING SYSTEMS ARCHITECTURAL OBJECTS IN TERMS OF ENVIRONMENTAL HAZARDS

S u m m a r y

Modern lighting technology development of urban areas allows projects perception of architecture both in the urban as well as individual objects. Unfortunately, rarely uses the knowledge and potential of specialists in the field of design undervalued and might even work. No adjustment of the type, strength and direction of the light beam will both dazzle users of urban space and the formation of zones of shadows, which is dangerous in the social aspect. The article is "in discussions" on the need to intensify the introduction to the issues of urban planning issues related to the lighting of buildings, monuments, streets and other public space, while paying attention to the essence of the problems of environmental pollution with artificial light.

Keywords: lighting technology, architecture, environment

Przesłano do redakcji: 21.12.2016 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Stanisław Jacek KOZIEŁ
 Adam ŁUKSA

EKONOMICZNE PRZESŁANKI UTYLIZACJI UBOCZNYCH PRODUKTÓW SYNTEZY CHEMICZNEJ – PRODUKCJA KAPROLAKTAMU

Wytwarzanie cykloheksanonu z benzenu ma istotne znaczenie w Polskiej Wielkiej Syntezie Chemicznej. Jest on jednym z pierwszych etapów wytwarzania kaprolaktamu. Największy udział w produkcji kaprolaktamu w Polsce i na świecie ma mieszanina cykloheksanol-cykloheksanon z uwodornionego benzenu, 90% światowego produktu oparte jest na tej właśnie metodzie. Wyeliminowanie produktów ubocznych jest niemożliwe. Natomiast ważne znaczenie dla ekonomiki tych procesów ma ich ilość oraz sposób wykorzystania. Istnieją dwie metody na rozwiązywanie tych problemów. Pierwszą z nich jest ograniczanie powstawania. Drugą racjonalne ich wykorzystanie. W opracowaniu skupiono się na opisanie metod utylizacji w odniesieniu do ekonomii i ogólnych kosztów wytwarzania produktów. Opisano surowce, produkty uboczne i odpadowe oraz miejsca ich powstawania w procesie. Dobrano kompozycje z produktów ubocznych umożliwiające sporządzenie takiego składu paliwa, na bazie MEAKu, przedgonu alkoholowego i pogonów podestylacyjnych które stanowią mogą tzw. paliwa alternatywne w stosunku do węgla oraz oleju opałowego. Przedstawiono wykorzystywane obecnie metody utylizacji produktów ubocznych, oraz zaproponowano ich nowy kierunek zagospodarowania. Wykorzystanie wysokokalorycznych właściwości produktów ubocznych utleniania i skomponowanych z nich mieszanin w celu podniesienia kaloryczności składu wsadu z odwodnionych osadów przemysłowych, przeznaczonego do utylizacji metodami termicznymi. Poszukiwanie nowych rozwiązań w tych dziedzinach wymuszają obecnie zmieniające się przepisy Unijne i Ministra Gospodarki w zakresie postępowania z osadami nadmiernymi z oczyszczalni przemysłowych i komunalnych. Umiejętne postępowanie z produktami ubocznymi i odpadowymi (UiO) może a nawet musi przynieść wymierne efekty ekonomiczne, w postaci obniżenia kosztów produkcji wyrobów chemicznych, między innymi tworzywowego kaprolaktamu. Temat opracowania nie został wyczerpany, ponieważ produkty uboczne posiadają ogromny potencjał do wykorzystania w przyszłości.

Słowa kluczowe: odpady chemiczne, cykloheksan, cykloheksanon, MEK, MEAK, przedgon alkoholowy, pogony podestylacyjne, odwodnione osady, utylizacja, tańszy kaprolaktam

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Stanisław Jacek Kozieł, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu im. Kazimierza Pułaskiego Wydział Materiałoznawstwa, Technologii i Wzornictwa, Katedra Materiałów Organicznych ; tel. 500066910; jacek.koziel@orange.pl

² Adam Łuksa, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu im. Kazimierza Pułaskiego Wydział Materiałoznawstwa, Technologii i Wzornictwa, Katedra Materiałów Organicznych, ul. Akademicka 4/3, 26-600 Radom; tel. 601 332 753; luksaadam@tlen.pl

1. Wprowadzenie

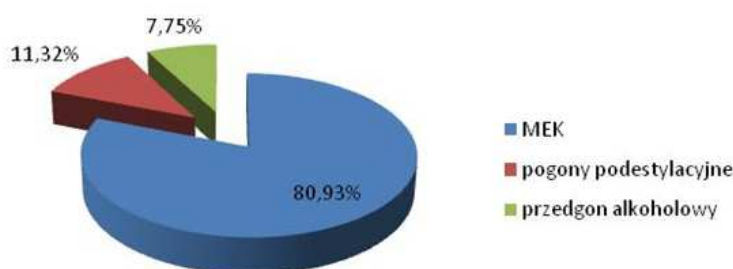
Cykloheksanon jest substancją będącą półproduktem w procesach wytwarzania monomeru wykorzystywanego przy produkcji tworzywowego kaprolaktamu (poliamidu 6 PA6) [1]. Największy udział w produkcji cykloheksanonu pochodzi z uwodornienia benzenu, 90% światowego produktu oparte jest na tej właśnie metodzie. Całkowite wyeliminowanie produktów ubocznych przy procesach wytwarzania cykloheksanonu jest niemożliwe. Wobec powyższego ważne znaczenie dla ekonomiki tych procesów ma ich ilość oraz sposób wykorzystania. Istnieją dwie metody na rozwiązywanie tych problemów. Pierwszą z nich jest ograniczanie powstawania. Drugą racjonalne ich wykorzystanie. Ma to wymierne efekty ekonomiczne przy produkcji cykloheksanonu a następnie kaprolaktamu z niego.

2. Proces i surowce

Przemysłowy proces utleniania cykloheksanu prowadzi się w celu otrzymania mieszaniny cykloheksanolu i cykloheksanonu, z której otrzymuje się cykloheksanon. Taka metoda posiada podstawowy mankament jakim jest mała wydajność. Oznacza to, że z benzenu wykorzystywanego do syntezy, otrzymuje się mało produktu końcowego - cykloheksanonu. Natomiast powstają w znacznych ilościach produkty uboczne i odpadowe. Powstają one w reakcjach utleniania cykloheksanu, destylacji bezwodnej mieszaniny cykloheksanonu i cykloheksanolu. Procentowy sumaryczny udział poszczególnych produktów ubocznych przedstawia wykres na ilustracji poniżej.

Mieszanina estrów i kwasów MEK (Rys.1.) jest odpadem powstającym w reakcjach utleniania cykloheksanu. MEK jest mieszaniną palnych produktów w którego skład wchodzi kwasy organiczne, estry tych kwasów i alkoholi takie jak:

- hydrokwasy:
 - kwas hydroksykapronowy wolny i związany w estrach;



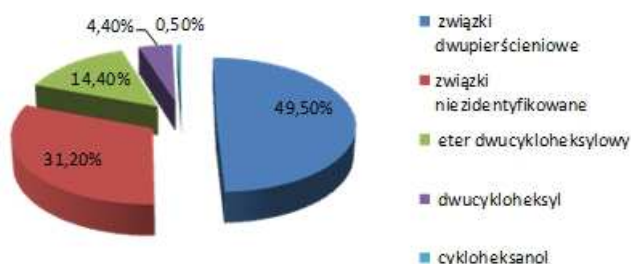
Rys. 1. Procentowy udział produktów ubocznych

Fig. 1. Percentages of by-products

- kwasy dwukarboksylowe:
 - kwas glutarowy,
 - kwas adypinowy,
 - kwas bursztynowy;
- kwasy jednokarboksylowe:
 - walerianowy,
 - kapronowy;
- estry kwasów dwukarboksylowych i jednokarboksylowych utworzone z kwasem ϵ -hydroksykapronowym;
- oligomery powstałe w wyniku reakcji kondensacji;
- substancje smoliste, nienasycone kwasy żywiczne i ich estry o ciężarze cząsteczkowym dochodzącym do 500 i szereg niezidentyfikowanych związków oraz woda w ilości zależnej od stopnia odwodnienia MEK-u.

Mimo wieloletnich badań nad składem tej złożonej mieszaniny, poza głównymi grupami związków nie udało się w pełni rozszyfrować składu MEK-u [2].

Pogony podestylacyjne są mieszaniną wielocząsteczkowych związków organicznych (Rys.2.) i tworzą produkt uboczny stanowiący pozostałość podestylacyjną cykloheksanonu i cykloheksanolu. Głównym składnikiem są związki dwupierścieniowe pochodne cykloheksanonu i cykloheksanolu, eter dwucykloheksylowy i cykloheksanol [3].



Rys. 2. Procentowy udział związków organicznych w pogonach podestylacyjnych

Fig. 2. Percentage graph of the organic compounds in the distillation tails

3. Zagospodarowanie produktów ubocznych

Dla ekonomiki procesu bardzo duże znaczenie ma ograniczenie ilości powstających produktów ubocznych. Mimo że posiadają one znaczną wartość handlową to w ogólnym rozrachunku ekonomicznym i procesowym są produktami niepożądanymi.

Produkcja cykloheksanonu liczona w skali dziesiątek tysięcy metrów sześciennych w skali roku pociąga za sobą wytworzenie ogromnych ilości produktów ubocznych liczonych również w tej skali, które są niepożądane ale zarazem niemożliwe do uniknięcia, dodatkowo zwiększające koszty produkcji równocześnie

śnie tworząc zbędny balast. Ze względów logistycznych wydaje się że najlepszym rozwiązaniem jest spalanie ich w stosunkowo blisko oddalonych elektrociepłowniach zakładowych i odzyskanie części kosztów surowców w postaci energii (Tab.1).

Tabela 1. Zestawienie właściwości termodynamicznych i termofizycznych wybranych paliw ciekłych na tle produktów ubocznych

Table 2. List of properties thermodynamic and thermophysical against by-products

Rodzaj paliwa	Gęstość w 20°C, g·cm ⁻³	Lepkość w 20°C, g·cm ⁻³	Temperatura krzepnięcia °C	Wartość opalowa [MJ·kg ⁻¹]	Temperatura zapłonu °C
Olej opalowy lekki	0,86	6	-20	42,6	56
Olej opalowy ciężki	0,925	38	21	39,7	148
MEAK	1,0912	16,129	-20	22	133
Przedgon alkoholowy	0,9879	3,7	<-30	37,5	45
Pogony podestylacyjne	0,9656	2,82	-35	37,5	101
Ropa naftowa (niskoparafinowa) wartości średnie	0,88	8,1	-16	44	265

Alternatywnym sposobem wykorzystania produktów odpadowych powstających podczas produkcji cykloheksanolu z benzenu do obecnie stosowanego, czyli utylizacji poprzez spalanie, jest ich konwersja i przetworzenie na produkty chemiczne. Duża zawartość alifatycznych kwasów dikarboksylowych w produktach ubocznych utleniania cykloheksanolu, czyni frakcje odpadową atrakcyjnym substratem możliwym do wykorzystania przy produkcji biodegradowalnych surfaktantów [4]. Inny sposób wykorzystania produktów ubocznych to wytwarzania z nich żywic poliamidoaminowych, polega on na mieszanii kwasów dwukarboksylowych i ich estrów, stanowiących produkt odpadowy procesu utleniania cykloheksanu, zawierający głównie kwas hydroksykapronowy i jego oligomery o łącznej objętości 40%, kwasy dwukarboksyłowe 40% objętości zawierające w cząsteczce 4 do 6 atomów węgla, w tym głównie kwas adypinowy, oraz produkty nietlotne z parą wodną w objętości 20% [5].

W składzie produktu ubocznego jakim jest MEK znajduje się stosunkowo duża zawartość kwasów dwukarboksyłowych, jednak mieszanina ta w postaci niewyodrębnionej ma ograniczone zastosowanie, podczas gdy poszczególne składniki mieszaniny a w szczególności kwas bursztynowy i adypinowy są cennymi i poszukiwanymi surowcami (Tab.2).

Tabela 2. Właściwości skomponowanych paliw płynnych z produktów ubocznych w porównaniu z olejem opalowym lekkim

Table 2. Properties composed of liquid fuel by-products in comparison with light oil fuel

Parametr	Paliwo płynne					
	MEK (16% H ₂ O) – przedgon alkoholowy proporcja 20:80	MEK (odwodniony) przedgon alkoholowy proporcja 15:85	MEK (odwodniony) przedgon alkoholowy proporcja 50:70	Pogony podestylacyjne przedgon alkoholowy proporcja 10:60	Pogony podestylacyjne przedgon alkoholowy proporcja 60:10	Olej opalowy lekki
Gęstość w 20°C, g/cm ³	0,9022	0,974	0,892	0,901	0,936	< 0,900
Lepkość w 20°C, g/cm ³	8,25	7,85	8,94	4,49	5,61	6,0
Temperatura zapłonu °C	59	57	56	62	63	≥56
Temperatura krzepnięcia °C	-20	-20	-20	-26	-27	≤-20
Zawartość wody, % masowy	3,63	0,61	0,67	0,55	0,38	0,2
Wartość opałowa MJ/kg	35,1	36,3	35,3	35,9	37,1	42,6
Zawartość siarki, % masowy	-	-	-	-	-	L0 – 0,05 L1 – 0,1

Ekstrakcja ma za zadanie z produktu ubocznego jakim jest MEAK, otrzymanie mieszaniny kwasów adypinowego, glutarowego i bursztynowego a następnie jej rozdział na odrębne substancje, do dalszych zastosowań w branży chemicznej. W praktyce możliwe jest odzyskanie z jednostki objętości do:

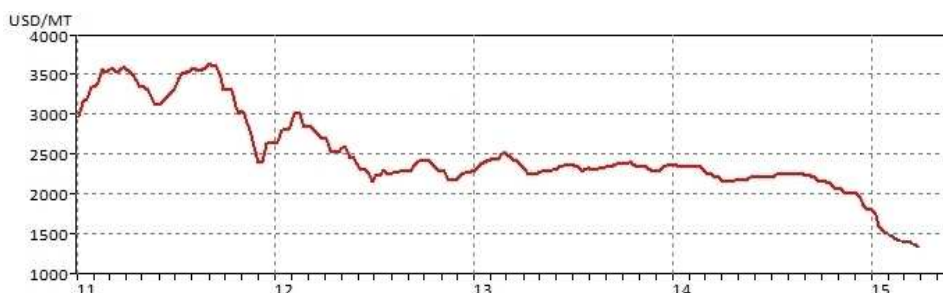
- 6,6% kwasu adypinowego;
- 4,4% kwasu glutarowego;
- 3,3% kwasu bursztynowego.

Powstające w procesach technologicznych produkcji cykloheksanu produkty uboczne a więc: przedgon alkoholowy, MEAK i pogony podestylacyjne są obecnie używane w Elektrociepłowniach jako paliwa energetyczne o parametrach nieustępującym olejom opalowym. Dzięki braku siarki w swoim składzie przewyższają je pod względem ekologicznym. Jest to rozwiązanie ekonomicznie uzasadnione i nie trudne do wdrożenia w istniejących wytwórniach, przynoszące wymierne korzyści w postaci zmniejszonego zużycia surowców energetycznych [6]. Drugą kwestią pozostaje wykorzystanie ich w zastosowaniach chemicznych, jako substratu do prowadzenia odrębnych syntez mających na celu uzyskanie różnorodnych produktów. W dziedzinie tej największe zastosowanie może znaleźć MEAK, gdzie jako substancja mająca w składzie przeszło sto składników, pozostawia duży obszar do badań nad ich wykorzystaniem w przyszłości. Stanowiąc to może zachętę do prób wykorzystania ich w przyszłości jako surowca pozyskiwania odmiennych grup związków przydatnych przy opracowaniu nowych syntez chemicznych.

4. Ekonomiczne uzasadnienie

Jako że duży potencjał paliwowy nadal tkwi w tego rodzaju odpadach organicznych, należy nieustannie podnosić sprawność ekonomiczną jak i ekologiczną wykorzystywanych do tych celów produktów odpadowych oraz ubocznych pozyskiwanych w syntezie chemicznej. Doświadczenia ostatnich lat wykazują, że zarówno w skali światowej, jak i krajowej, głównym hamulcem wykorzystania produktów ubocznych jest niedocenywanie ich ekonomicznych walorów.

Obecna niekorzystna koniunktura na rynkach półproduktowych monomerów jakim jest kaprolaktam wymusza na ich producentach poszukiwanie oszczędności na każdym z etapów produkcji, wyszukiwanie alternatywnych surowców, racjonalniejszych sposobów wykorzystania produktów ubocznych. Działania takie są w stanie w znacznym stopniu zredukować koszty wytwarzania produktów końcowych (Rys.3) [7].



Rys. 3. Spadek cen kaprolaktamu na rynkach światowych, na podstawie [7]

Fig. 3. Decline of caprolactam prices on the world markets, based on [7]

Światowy rynek cen kaprolaktamu jest ściśle uzależniony od popytu na poliamidy oraz od cen surowców opartych na cenach ropy naftowej. W Europie i Azji występuje nadpodaż kaprolaktamu tak więc jego średnia cena z roku na rok staje się coraz niższa [8].

4.1. Analiza ekonomiczna gospodarki produktami ubocznymi i odpadowymi (UiO)

W tych warunkach należy przeprowadzić analizy ekonomiczne gospodarki UiO, ograniczając ich koszty pozyskiwania, odzysku i składowania, co umożliwia następująca zależność:

$$E_{uiO} = D + S_W - \frac{S_Z(x_1 + x_2 + x_3)}{x_1 + x_2 + x_3} + (K_W + M_W + I_W) \quad (1)$$

gdzie:

E_{uiO} – całkowity zysk przy zastosowaniu gospodarki uboczno-odpadowej u wytwórcy, w określonej jednostce czasu;

S_w – koszty ponoszone przez producentów utylizowania, składowania wraz z wszelkiego rodzaju opłatami, również z opłatami za korzystanie ze środowiska itd.;

S_z – koszty ponoszone przez producentów z tytułu zleconego unieszkodliwiania, składowania lub odzysku UiO

D – dochód uzyskiwany przez producentów z tytułu sprzedaży produktów UiO, na podstawie: dokumentów odzysku, aprobat technicznych, certyfikatów zgodności itp.;

x_1, x_2, x_3, \dots – udział kolejnych UiO (w tym przykładzie: MEAK, przedgon alkoholowy, pogony alkoholowe) u wytwórcy oraz rodzaj ich zagospodarowania ;

K_w – koszty badań, aprobat i kontroli jakości UiO;

M_w – koszty marketingu, promocji logistyki UiO;

I_w – inne koszty nieuwzględnione.

Producent jest w stanie obniżyć koszty produkcji poprzez racjonalnie wykorzystanie UiO. Efekt taki można uzyskać, nie tylko w wyniku sprzedaży, ale przede wszystkim poprzez ograniczenie kosztów własnego i podzlecanego składowania, a także wykorzystania ich we własnym zakresie. Teza ta jest prawdopodobnie słuszna, biorąc pod uwagę obowiązujące współcześnie wymagania związane z ochroną środowisk [9]. W kontekście koszty ponoszone w związku z nowymi inwestycjami optymalizującymi wykorzystanie UiO, stają się priorytetowe. Ocena efektów ekonomicznych działań producenta związanych z gospodarką UiO, powinna być dokonywana w stosunku do kosztów ponoszonych, planowanych i prognozowanych, uwzględniając brak zewnętrznego zagospodarowania. Po analizie można wnioskować że, zagospodarowanie energetyczne, chemiczne, czy jakiegokolwiek inne, z całą pewnością przyniesie przedsiębiorcy wymierne wskaźniki ekonomiczne. Pozyskanie szczegółowych informacji o kosztach wykorzystania UiO, jest jednak trudne ze względu na ich złożony charakter.

4.2. Nowy kierunek zagospodarowania produktów ubocznych i odpadów (współspalanie z odwodnionymi osadami)

Ze względu na Unijne wymagania dotyczące osadów z oczyszczalni komunalnych, jak i przemysłowych zawierające >5% zanieczyszczeń organicznych (zakaz składowania), oraz posiadające ciepło spalania większe niż 6 MJ/kg suchej masy, będą musiały zostać poddane recyklingowi (Dyrektywa Unijna i rozporządzenia Ministra Gospodarki)[10]. Rozsądnym wydaje się wykorzystanie wysokokalorycznych właściwości produktów ubocznych utleniania cykloheksanonu (powyżej skomponowanych mieszanin MEAKu, alkoholi i pogonów pode-

stylacyjnych [Tabela 2]) w celu podniesienia kaloryczności składu wsadu, przeznaczonych do utylizacji metodami termicznymi. Wysokie koszty ponoszone przez przedsiębiorcę związane z logistyką i opłatami za odbiór odwodnionych osadów, skłaniają do zastosowania odwodnionych osadów do odzyskania energii, tym samym dalszym ograniczeniem kosztów wytwarzania produktów końcowych.

5. Wnioski

Produkcja cykloheksanonu z benzenu pociąga za sobą powstawanie produktów ubocznych i odpadowych. Obecnie stosowane technologie nie są idealne, proces utleniania cykloheksanu nie jest zbyt selektywny i wynosi około 75% i jest tym mniejszy im większa zachodzi w nim konwersja. Pozostałą ilość produktów ubocznych trzeba racjonalnie wykorzystać, czyniąc produkcję cykloheksanonu bardziej opłacalną z punktu widzenia ekonomii oraz bardziej proekologiczną, w myśl idei produkcji bezodpadowej. Jako główne zastosowanie produktów ubocznych na chwilę obecną uznać można wykorzystanie w celach energetycznych. Odpowiednio skomponowane mieszanki z produktów ubocznych w niczym nie ustępują olejom opałowym pod względem wartości opałowych, a przez brak siarki w składzie są paliwem bardziej ekologicznym. Mieszanki te mogą również przyczynić się do pozbywania osadów z oczyszczalni, usytuowanych w wytwórniach chemicznych, zwiększając ich wartość energetyczną celem autonomicznego spalania, a tym samym podnosząc rentowność produkcji. Rozwiązanie drażliwych problemów związanych z powstawaniem i utylizacją UiO staje się coraz bardziej istotne i stanowić może determinantę przyszłości ekonomicznej zakładów chemicznych, nie tylko tych zajmujących się produkcją kaprolaktamu.

Literatura

- [1] Wais J., Izydorczyk K.: Polski Proces Wytwarzania Kaprolaktamu. Przemysł Chemiczny. 1987, 66/7.
- [2] Zimowski A., Balcerzak K. i inni.: Badania Charakteryzujące Mieszaninę Estrów i Kwasów. Warszawa, Instytut Chemii Przemysłowej im. Prof. I. Mościckiego w Warszawie, 1999.
- [3] Zakłady Azotowe "Puławy" S.A.: Karta charakterystyki i danych bezpieczeństwa - pogony podestylacyjne. Puławy, Zakłady Azotowe "Puławy" S.A., 1999.
- [4] Vogt O. Stanisławczyk A.: Synteza związków powierzchniowo czynnych w oparciu o frakcje odpadową z procesu Cyclopol. Przemysł Chemiczny. 2005, 84/3(2005).
- [5] Włodarczyk M., Witek E. Janisz M.: Sposób wytwarzania żywic poliamidoaminowych, Politechnika Łódzka, Polska, Opis patentowy 109341. Opubl. 31.01.1981.
- [6] Kozieł S.J.: Zagospodarowanie produktów ubocznych otrzymywania cykloheksanonu z benzenu, Praca magisterska, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu, 2014.

- [7] <https://www.mintecglobal.com/market-news/> {dostęp 25.04.2016 r.}.
- [8] <http://www.chemiabiiznes.com.pl/aktualnosc/grupa-azoty-identyfikuje-wyzwania-na-rynku-tworzyw-sztucznych/> {dostęp 26.04.2016 r.}.
- [9] Hycnar J.: Czynniki stymulujące wykorzystanie odpadów poprodukcyjnych jako surowców wtórnych. *Gospodarka Materiałowa* 1981, nr 4.
- [10] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 8 stycznia 2013r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania do składowania na składowisku odpadów danego typu (Dz.U. z 2013 r. poz. 38).

ECONOMIC REASONS FOR THE DISPOSAL OF BY-PRODUCTS CHEMICAL SYNTHESIS – CAPROLACTAM PRODUCTION

Summary

Production of cyclohexanone from benzene is an important in Polish Great Chemical Synthesis. It is one of the first steps in the preparation of caprolactam synthesis. The largest share in the production of caprolactam in Poland and in the world is a mixture of cyclohexanol-cyclohexanone with hydrogenated benzene, 90% of the global product are based on that method. The elimination of by-products is not possible. The other hand important for the economics of these processes is the amount and the manner of their use. There are two ways to solve these problems. The first of these is to reduce the formation by-products. The second way is an efficient use. In this study focused on describing methods of disposal in relation to the economy and the overall cost of manufacturing products. Described raw materials, by-products and waste, places of their formation in the technological process. Were chosen compositions of by-products to enable the preparation of such fuel composition, based MEAK, alcoholic heads and alcohol distillation tails which may constitute a so-called alternative fuels, relatively to coal and heating oil. The use of high-calorie properties and oxidation by-products composed of these mixtures to improve the calorific value of the composition batch of dehydrated sediments industrial, intended for recycling by thermal methods. The search for new solutions in these areas force currently changing regulations EU and Minister for the Economy, on the treatment of excessive sediments from the wastewater treatment of industrial and municipal. Skilful handle of by-products and waste (BaW) it may even have to bring measurable economic effects, in the form of lower production costs chemical products, among other things the plastic caprolactam. Topic of the study has not been exhausted because the by-products have great potential for use in the future.

Keywords: chemical waste, cyclohexane, cyclohexanone, byproducts, MEK, MEAK, alcoholic heads, alcoholic tails, dehydrated sediments, reprocessing, recycling, caprolactam cheaper

Przesłano do redakcji: 20.12.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Joanna GWOŹDZIEJ-MAZUR¹

ANALIZA PRZEPŁYWÓW WODY W BUDYNKACH WIELOLOKALOWYCH PRZY WYKORZYSTANIU WODOMIERZY STATYCZNYCH

Wszelkie zmiany, wprowadzane w praktycznie każdej sferze związanej z działalnością człowieka, bardzo często wiążą się z różnego rodzaju problemami i pytaniami dotyczącymi tego zagadnienia. Okazuje się, że rozliczanie zużycia wody w budynkach wielolokalowych niesie za sobą szereg komplikacji, m.in. rozbieżność bilansu zużycia wody, a także problemy związane z niedoborami w kwestii rozliczania się z dostawcami wody przez zarządców nieruchomości.

W artykule zostały zaprezentowane wielkości przepływów rzeczywistych w ujęciu dobowym na przyłączy wodociągowym określone przy wykorzystaniu wodomierzy statycznych.

Słowa kluczowe: przyłącze wodociągowe, przepływ obliczeniowy, wodomierz, natężenie przepływu, wodomierz statyczny

1. Wprowadzenie

Wielkość zużycia wody zależna jest od przyzwyczajień, wieku oraz charakteru pracy wykonywanej przez człowieka w domu, a także poza nim. Ilość wody, która jest zużywana w gospodarstwie domowym wykazuje nierównomierność w ciągu doby.

W 2002 roku w związku z ustawą z 7 czerwca 2001 roku (o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków) zostało wydane rozporządzenie, w którym określono średnie wielkości zużycia wody dla poszczególnych grup odbiorców. Przyjęte normy mogą być traktowane, jako podstawa do określenia ilości wody pobranej z wodociągu w przypadku, gdy nie istnieje wodomierz główny. Rozporządzenie to zawiera także dane dotyczące średnich wielkości zużycia wody dla obsługi pojazdów mechanicznych, prac budowlanych, zakładów zajmujących się przetwórstwem rolno-spożywczym, chemicznej ochrony roślin, a także obiektów wojskowych[1,2].

¹ Joanna Gwoździej-Mazur, Politechnika Białostocka, Katedra Technologii i Systemów Inżynierii Środowiska, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok, j.mazur@pb.edu.pl

Realne zużycie wody w budynkach wielolokalowych ma swoje podłoże także w wielkościach strat wody, których przyczyną jest m.in. niesprawna lub nieszczelna armatura sanitarna, bądź też nieprawidłowo dobrany wodomierz na przyłączy wodociągowym (strata pozorna). Dostrzega się również, że na poziom zużycia wody wpływ ma także świadomość lokatorów na ten temat oraz coraz wyższe opłaty za wodę.

Powyższe czynniki określić można, jako zmienne nakreślające zjawisko poboru wody wykorzystywane w celach bytowo gospodarczych.

2. Czynniki mające wpływ na wielkość zużycia wody w budynkach wielolokalowych

Na poprawność działania systemu wodociągowego ma wpływ właściwy dobór wodomierza do przewidywanego zużycia wody w budynku. Według polskiego prawa błędy graniczne dopuszczalne przy prawnej legalizacji wodomierzy wynoszą odpowiednio [3]:

± 2% w przedziale górnym zakresu obciążeń ($Q_2 \leq Q \leq Q_4$), dla wodomierzy do wody o temperaturze od 0,1 °C do 30 °C;

± 2% w przedziale dolnym zakresu obciążeń ($Q_1 \leq Q \leq Q_2$), niezależnie od temperatury wody.

W sytuacji kwestionowania wskazań wodomierza przez odbiorcę, nie jest możliwe dokonanie ekspertyzy na miejscu wbudowania wodomierza, jako urządzenia pomiarowego objętego prawną kontrolą. Odbiorca powinien wystąpić do przedsiębiorstwa z pisemnym wnioskiem o ekspertyzę. Niezbędne jest wymontowanie takiego wodomierza i zabezpieczenie go zgodnie z wytycznymi i wysłanie do ekspertyzy na normatywnym stanowisku pomiarowym. W przypadku stwierdzenia odstępstw od dopuszczalnych błędów granicznych wodomierz nie może być w dalszej eksploatacji, a zakład wodociągowy pokrywa opłaty związane z wykonaniem ekspertyzy oraz nalicza opłatę za zużytą wodę ze średniej zużycia z trzech miesięcy przed stwierdzeniem niesprawności działania wodomierza, a gdy jest to niemożliwe to na podstawie średniego zużycia w analogicznym okresie roku ubiegłego lub iloczynu średniomiesięcznego zużycia wody w roku ubiegłym i liczby miesięcy nieprawidłowego działania wodomierza [3]. W sytuacji „odwrotnej” użytkownik pokrywa wszystkie koszty związane z ekspertyzą oraz naliczana jest opłata za zużytą wodę zgodnie ze stanem na licydle z dnia wymontowania wodomierza z przyłącza.

3. Podział, przyczyny strat wody

Problem strat wody w sieciach wodociągowych jest dylematem wszystkich wodociągów. Stratą nazywamy różnicę między wodą wtłoczoną do sieci wodociągowej i wodą sprzedaną odbiorcom wraz z wodą na potrzeby wodociągu. Wielkość strat wskazuje na niezawodność działania systemu wodociągowego.

Bilans wody w sieci wskazuje na poprawność działania całego układu wodociągowego w aspekcie jego zużycia. Analizowanie strat wody powinno być podstawą do działań naprawczych i modernizacyjnych, a jednocześnie powinna mieć wpływ na zmniejszanie kosztów z produkcją i dystrybucją wody [4, 5, 6]:

Głównymi czynnikami występowania strat w wewnętrznych instalacjach wodociągowych są:

- kradzieże i nielegalny pobór wody,
- wewnętrzne wycieki spowodowane nieszczelnościami instalacji lub niesprawnością armatury wodociągowej,
- ryczałtowe rozliczanie zużycia wody na osobę,
- nieterminowa wymiana wodomierzy przed upływem legalizacji,
- nieprawidłowy dobór wodomierza ze względu na przepływ.

W dotychczasowym prawie jak i w normatywach brak jest określenia dopuszczalnych wielkości strat występujących w instalacjach wodociągowych. Odwiecznym problemem jest konflikt między dystrybutorem wody, jakimi są zakłady wodociągowe, a zarządcami budynków o pokrycie strat w wewnętrznych instalacjach. Ponadto zakłady wodociągowe odpowiadają za dostarczoną wodę do budynku oraz za przyłącze wodociągowe do budynku. Przyłącze wodociągowe, czyli odcinek przewodu łączącego sieć wodociągową z wewnętrzną instalacją wodociągową w nieruchomości odbiorcy usług wraz z zaworem za wodomierzem głównym.

Temat monitoringu przyłączy wodociągowych pojawia się od czasów, gdy w Polsce zaczęto opomiarowywać zużycie wody w budynkach. Odbiorcy od tego czasu zaczęli mieć wątpliwości co do zarejestrowanego zużycia wody. Wraz z rozwojem techniki nastąpił rozwój monitoringu. Pierwszym monitoringiem przyłącza wodociągowego było pozostawienie montera, który obserwował przez kilka godzin ruch i zachowanie wodomierza. Należy w tym miejscu wspomnieć, że wodomierze miały bardzo prostą konstrukcję. Nie były odporne na działanie pola magnetycznego oraz na działanie zanieczyszczeń występujących w mierzonej wodzie. W dobie rozwoju techniki na świecie zaczęto myśleć nad rozwojem monitoringu liczników. Kolejnym etapem monitoringu był zdalny odczyt, czyli technologia polegająca na automatycznym pobieraniu danych m.in. z wodomierzy i przesyłaniu ich do głównej bazy danych w celu analizy i dokonania rozliczeń. Zaletą jest to, że rachunki opierają się na rzeczywistym zużyciu, nie na obliczeniach szacunkowych na podstawie prognoz. Dostęp do aktualnych informacji połączone z analizą mogą pomóc zarówno zarządcy budynku, jak i lokatorom w utrzymaniu kontroli nad zużyciem wody. Na technologię zdalnego odczytu składają się rozwiązania (w tym systemy przenośne, obwoźne oraz sieci stacjonarne) oparte na platformach telefonicznych (zarówno przewodowych jak i bezprzewodowych), transmisji radiowej (RF) lub transmisji PLC [4] Priorytetowym powodem wprowadzenia automatycznego odczytu liczników nie była minimalizacja kosztów związana z odczytem, lecz uzyskanie możliwości dostępu do danych z pracy licznika, których nie dałoby się uzyskać w inny spo-

sób. Wiele wodomierzy jest montowanych w trudnodostępnych miejscach, czy też mało komfortowych do odczytu studniach wodomierzowych, a zarazem możliwych do kontroli tylko przy spotkaniu z właścicielem nieruchomości, do której jest dostarczana woda spowodowało rozwój inwestowania zakładów wodomierzowych w systemy zdalnego odczytu. Rozwój zdalnych odczytów wprowadził monitoring na przyłączach wodociągowych nie tylko danych zużycia wody. Wraz z postępem techniki możliwa była rejestracja dodatkowych danych z wodomierza oraz ich archiwizacja oraz transmisja do komputera zakładu wodociągowego. Dodatkowo wprowadzenie wodomierzy z modułami zdalnego odczytu popularnie zwane nakładką wodomierzową, dało możliwość zdalnej kontroli nad wodomierzem. Nakładka wodomierzowa może być zaprogramowana, aby alarmować o manipulacji przy wodomierzu, nieszczelnościach, wstecznych przepływach, zużyciu baterii. Zarejestrowane sygnały mogą służyć do sporządzania profili zużycia wody, rozliczania w oparciu o częstotliwość użytkowania, monitorowania przepływu czy też egzekucji opłat za wodę, a nawet zdalnego odcinania dostarczanej wody.

Rozwój zaawansowanej struktury pomiarowej zdalnego odczytu wypiera szeroko stosowane nakładki wodomierzowe przez wprowadzenie nowego typu wodomierzy ultradźwiękowych oraz elektromagnetycznych. Połączenie tradycyjnego wodomierza oraz modułu odczytów danych, spowodowało do powstania jednego nowoczesnego urządzenia pomiarowego, stając się narzędziem do zdalnego sterowania i monitorowania zużycia wody. Ciągły rozwój nad strukturą pomiarową doprowadził do ewoluowania definicji zdalnego odczytu w zaawansowaną infrastrukturę pomiarową

Zaawansowana infrastruktura pomiarowa - to zintegrowany zbiór elementów: inteligentnych liczników modułów i systemów komunikacyjnych, koncentratorów i rejestratorów, umożliwiających dwukierunkową komunikację, za pośrednictwem różnych mediów i różnych technologii, pomiędzy systemem centralnym a wybranymi licznikami. Sieć taka umożliwia gromadzenie danych o zużyciu określonych odbiorców, wysyłanie sygnałów sterujących do urządzeń oraz zdalne ich konfigurowanie. Różni się od tradycyjnych tym, że [4]:

- umożliwia komunikację dwukierunkową z wodomierzem,
- jest przygotowany do współpracy z siecią inteligentnego domu,
- charakteryzuje się większą złożonością sieci,
- może współpracować z siecią inteligentną.

Wodomierze w zaawansowanej infrastrukturze pomiarowej określane są jako inteligentne liczniki, ponieważ przetwarzają one zebrane dane. Opomiarowanie tego typu wodomierzami przyłączy wodociągowych tworzy całą sieć metrologiczną ułatwiającą zarządzaniem zużyciem wody. Funkcjonowanie takiej sieci monitoringu pozwala na oszczędności dzięki szybkości odczytu stanu wodomierza.

Korzyści wynikające z systemu zaawansowanego monitoringu przyłączy to:

- dokładny odczyt wodomierzy,
- usprawnienie rozliczeń zużycia,

- wykrywalność wycieków w instalacji,
- wykrywalność kradzieży wody przez nieuczciwych kontrahentów,
- jednoczesny odczyt wielu wodomierzy w budynku, co pozwala na zbilansowanie zużycia wody w budynku,
- wyeliminowanie konieczności wchodzenia do nieruchomości w celu odczytu,
- brak możliwości odczytu spowodowanego brakiem dostępu do wodomierza.

4. Metodyka badań

Celem badań było określenie rozkładu przepływów charakterystycznych w postaci minimalnego oraz maksymalnego strumienia objętości wody na przyłączy wodociągowym w okresie doby oraz próba wyznaczenia wielkości strat pozornych, wynikających z niewłaściwego doboru urządzenia pomiarowego.

Do wykonania badań został użyty wodomierz statyczny, elektromagnetyczny iPERL firmy Sensus. Urządzenie charakteryzuje się dużą dokładnością pomiaru bez względu na pozycję jego pracy oraz konieczności zapewnienia odcinków prostych rurociągu przed i za nim.

Wodomierz iPERL składa się z trwałych elementów i nie zawiera mechanicznych części kontaktujących się z wodą, ani też elementów wykończonych z metalu. Urządzenie to jest kompatybilne z zabudowami wewnętrznymi i zewnętrznymi. Posiada zabezpieczenie przed zalaniem wodą, zaparowaniem i spełnia wymagania klasy temperaturowej T50.

Zakres pomiarowy iPERL wynosi R800 dla całego typoszeregu urządzeń dla Q_3 od 2,5 do 16 m³/h, a zarazem jego parametry użytkowe nie są zależne od warunków panujących w sieci. Pozwala na dokonywanie pomiarów w instalacjach z trudnym do uchwycenia przepływem. Zapewnia pełen dostęp do powiadomień na temat zużycia wody, które są konieczne przy inicjowaniu odpowiednich decyzji w kwestii eksploatacji sieci wodociągowej (wyszukiwanie nieszczelności, ingerencji zewnętrznych, przepływów wstecznych itp.), gdyż wyposażony jest w niskiej mocy zintegrowany moduł radiowy o częstotliwości 868 MHz lub 433 MHz. W odróżnieniu od tradycyjnych wodomierzy iPERL wykorzystuje technologię szczątkowego pola magnetycznego, która umożliwia liniowy zakres pomiarowy nawet w przypadku najmniejszych wartości przepływu.

Komunikację zapewnia innowacyjna technologia odczytów inkasenckich „walk-by”/„drive-by” oraz możliwość odpytywania urządzenia w celu pozyskania aż do 2880 punktów z danymi z rejestracji oraz alarmów. Dzięki tym wodomierzom uzyskano informacje na temat zarówno przepływów minimalnych, maksymalnych oraz zużycia w badanych obiektach [7].

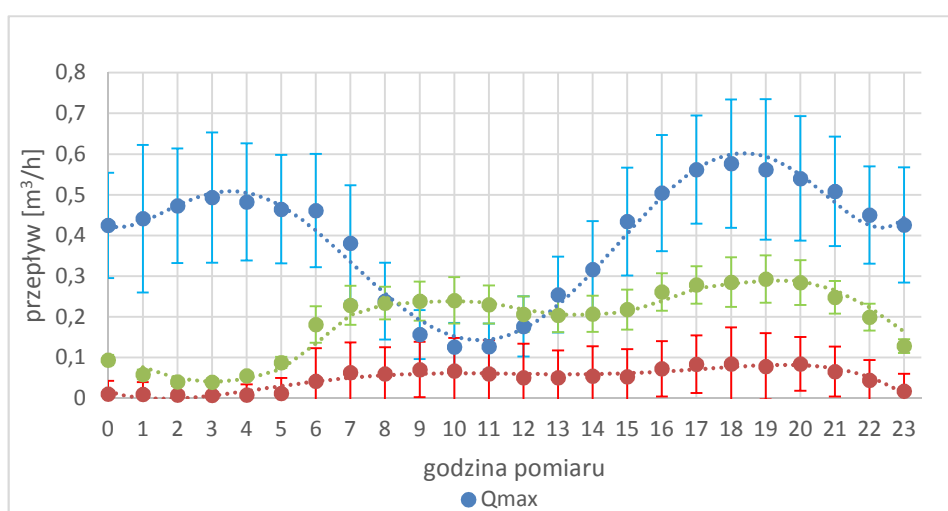
Do badań wytypowano dwa budynki wielolokalowe o zbliżonej wielkości (ilość lokali oraz punktów czerpalnych).

Pomiarów dokonano w czasie:

- 21 X 2015÷14 III 2016 dla Budynku A (liczba lokali 30),
- 31 III 2016÷29 V 2016 dla Budynku B (liczba lokali 35).

5. Analiza wyników badań

Dla wszystkich przeprowadzonych pomiarów w Budynku A wyznaczono średnie dzienne zużycie wody, które kształtowało się na poziomie $4,54 \pm 0,37 \text{ m}^3$. Niepewność oszacowania jest na poziomie 8,1%. Dodatkowo oszacowano średnią ilość wody zużywaną w weekend i dnia roboczym. Wynosiły one odpowiednio dla weekendu – $0,1947 \text{ m}^3/\text{h}$, a dla dnia roboczego – $0,1871 \text{ m}^3/\text{h}$. Różnica jest na poziomie 3,9%. Szczegółowy rozkład przepływów charakterystycznych w ciągu doby przedstawia rysunek 1.



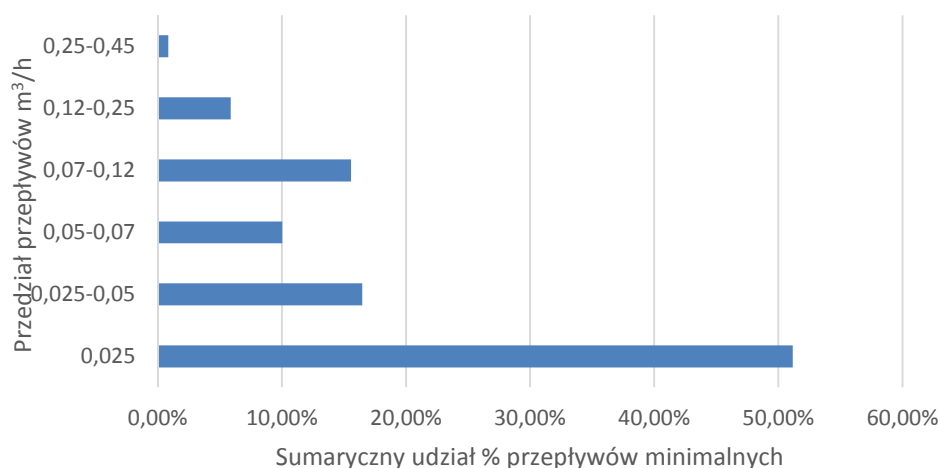
Rys. 1. Rozkład przepływów charakterystycznych na przyłączy wodociągowym w poszczególnych godzinach doby

Fig. 1. Distribution of characteristic flows at the water supply connection in each hours of the day

Z wykresu widać, że wzrost poboru wody przypada na godzinę 4:00 – 5:00 rano i osiąga swoje maksimum o godzinie 19:00. Można to wytłumaczyć dzienną rutyną statystycznego mieszkańca bloku. Istotnie różnica jest widoczna w przypadku weekendów, gdzie zauważalny wzrost poboru wody rozpoczyna się o godzinie 6:00, a swoje maksimum osiąga o godzinie 22:00.

Dodatkowo dokonano analizę minimalnych przepływów na przyłączy wodociągowy ze względu na przedziały opisujące klasę urządzeń pomiarowych instalowanych na przyłączy wodociągowym. Wyniki w oparciu o monitoring przepływu przedstawiono na rysunku 2.

Całkowity sumaryczny udział przepływów minimalnych w ogólnym zużyciu wody jest w tym wypadku duży i stanowi ponad 50%. Zatem wydaje się słuszne montowanie na przyłączy wodomierza o wysokiej klasie metrologicznej, który będzie w stanie zarejestrować występujące minimalne przepływy.



Rys. 2. Procentowe zużycie godzinowe wody w wybranych przedziałach przepływu

Fig. 2. Percentage of hourly water consumption in selected flow rates

Na podstawie procentowego zużycia godzinowego wody dokonano próby oszacowania strat pozornych wynikających z precyzji rejestracji przepływów w budynku wielolokalowym, biorąc pod uwagę głównie przepływy, które nie są rejestrowane przez wodomierze o niskim współczynniku R, opisujący klasę wodomierzy. Szczegółowe zestawienie przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Średnie wartości przepływów minimalnych oraz ich koszt miesięczny

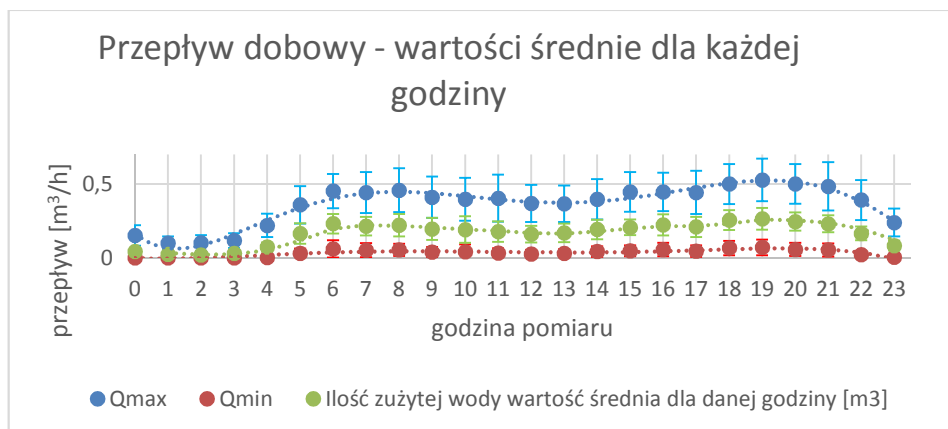
Table 1. Average values of minimum flows and their monthly cost

Średnia wartość przepływów minimalnych	0,034 m³/h
Średnia wartość przepływów minimalnych z przedziału <0,025 m³/h	0,017 m³/h
Miesięczna wartość przepływów minimalnych wody z przedziału <0,025 m³/h	12,24 m³
Miesięczny koszt wody z przedziału <0,025 m³/h, przy obowiązującej cenie za 1 m³ (woda + ścieki) – 6,60zł netto (dla miasta Białego-stoku)	82,70 zł netto / miesiąc

W budynku B średnie dzienne zużycie wody kształtowało się na poziomie $4,02 \pm 0,35\text{m}^3$. Niepewność oszacowania jest na poziomie 8,76%. Średnia ilość wody zużywana w weekend i dni robocze wynosiły odpowiednio:

- weekendu – 0,1766 m³/h,
- dzień roboczy - 0,1627 m³/h.

Różnica jest na poziomie 7,85%. Szczegółowy rozkład przepływów w ciągu doby przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3 Rozkład przepływów charakterystycznych na przyłączu wodociągowym w poszczególnych godzinach doby

Fig. 3. Distribution of characteristic flows at the water supply connection in particular hours of the day

Z wykresu widać, że wzrost poboru wody przypada na godzinę 4:00 – 5:00 rano i osiąga swoje maksimum o godzinie 6:00. W przypadku weekendów, gdzie zauważalny wzrost poboru wody rozpoczyna się o godzinie 5:00 a swoje maksimum osiąga o godzinie 20:00.

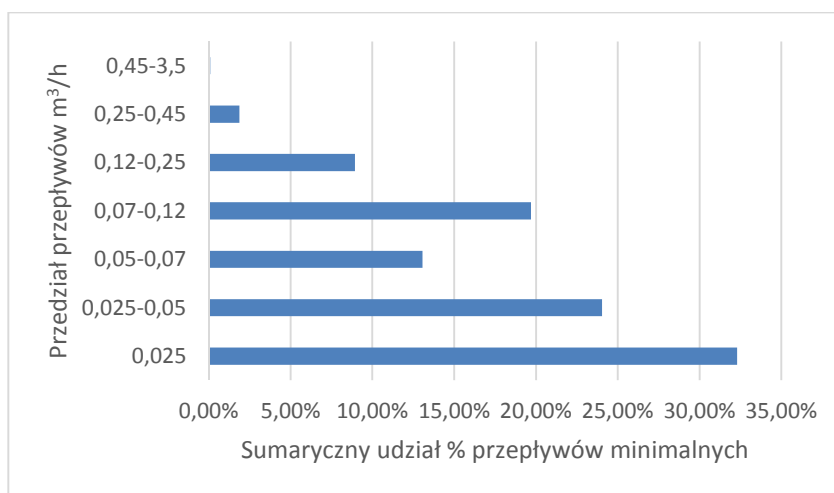
Również w tym budynku wyznaczono procentowy udział przepływów minimalnych ze względu na przedziały opisujące klasę wodomierzy (rysunek 4).

Ocenę strat pozornych wyznaczoną na podstawie rzeczywistego rozkładu minimalnego strumienia objętości z rejestracji przepływów przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Średnie wartości przepływów minimalnych oraz ich koszt miesięczny

Table 2. Average values of minimum flows and their monthly cost

Średnia wartość przepływów minimalnych	0,057 m ³ /h
Średnia wartość przepływów minimalnych z przedziału <0,025 m ³ /h	0,018 m ³ /h
Miesięczna wartość przepływów minimalnych wody z przedziału <0,025 m ³ /h	13,25 m ³
Miesięczny koszt wody z przedziału <0,025 m ³ /h, przy obowiązującej cenie za 1 m ³ (woda + ścieki) – 6,60zł netto (dla miasta Białego-stoku)	87,45 zł netto / miesiąc



Rys. 4. Procentowe zużycie godzinowe wody w wybranych przedziałach przepływu

Fig. 4. Percentage of hourly water consumption in selected flow rates

6. Podsumowanie

Prawidłowy dobór wodomierza zapewnia rzetelność i sprawiedliwość wskazań, co daje odbiorcy pewność uczciwego traktowania przez przedsiębiorstwo wodociągowo-kanalizacyjne. Ze względu na dokładność pomiaru ilości zużytej wody (w tym również wszystkich przepływów minimalnych) wodomierz powinien być dobierany ze szczególną uwagą, a nie jedynie na podstawie parametrów hydraulicznych panujących w przewodzie, tj. wartości nominalnego i maksymalnego strumienia objętości przepływającej wody. To właśnie wodomierz zapewnia przedsiębiorstwu główne źródło przychodów, i jest podstawowym wyznacznikiem do zafakturowania ilości sprzedanej wody oraz ścieków.

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy nr S/WBiŚ/2/2014 i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW.

Literatura

- [1] Chudzicki J., Sosnowski S.: Instalacje wodociągowe, projektowanie, wykonanie, eksploatacja, Seidel – Przywecki Sp. z o.o., 2009.
- [2] Ustawa z dnia 7 czerwca 2001 roku o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzeniu ścieków (Dz.U. 2015 poz. 139).
- [3] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 23 października 2007r. W sprawie wymagań, którym powinny odpowiadać wodomierze, oraz szczegółowego zakresu sprawdeń wykonywanych podczas prawnej kontroli metrologicznej tych przyrządów pomiarowych. (Dz.U. 2007 poz. 1513).

- [4] Billewicz K.: Smart metering - Inteligentny system pomiarowy, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2011.
- [5] Cichoń T, Królikowska J.: Problematyka opomiarowania dostawy wody w budynkach wielorodzinnych na tle przyczyn rozbieżności bilansu zużycia wody, Ecological Engineering Vol. 48, 2016.
- [6] Tuz P., Dobór i eksploatacja wodomierzy. Wybór typu licznika. Część 1, Rynek instalacyjny 9/2009.
- [7] Materiały firmy Sensus.

ANALYSIS OF WATER FLOWS IN MULTIFAMILY BUILDINGS USING STATIC WATER METERS

S u m m a r y

Any changes, introduced in practically every sphere of human activity, very often involves various problems and questions related to this issue. It turns out that accounting for water consumption in multifamily buildings carries a number of complications, such as divergence in water balance, also problems with deficiencies in the settlement of water suppliers by property managers.

The article will show the actual flow rates in daily terms at the water connection determined using static water meters.

Keywords: water supply connection, calculation flow, water meter, flow rate, static water meter

Przesłano do redakcji: 27.12.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Wojciech GOSK¹
 Krzysztof CZECH²

OCENA KOMFORTU WIBRACYJNEGO LUDZI W BUDYNKU W ASPEKCIE ZMIANY JEGO FUNKCJI Z BIUROWEJ NA MIESZKALNĄ WEDŁUG NORM PN I ISO

W pracy przedstawiono problematykę oceny komfortu wibracyjnego ludzi w budynkach. Omówiono metody wyznaczania parametrów służących do oceny wpływu drgań na ludzi: widmo częstotliwościowe wartości skutecznej przyspieszenia lub prędkości w pasmach 1/3 oktawowych, wartość skuteczna przyspieszenia lub prędkości drgań skorygowana w pełnym zakresie analizowanych częstotliwości, dawka wibracji. Dokonano przeglądu wybranych metod umożliwiających ustalenie poziomu odczuwalności bądź szkodliwości propagowanych w otoczeniu drgań. Omówiono podejścia stosowane w wybranych normach krajowych i zagranicznych zwracając uwagę na podobieństwa i różnice. Stwierdzono, że poziomy dopuszczalności drgań są zasadniczo zbliżone w normie PN-B-02171:2017 i ISO 10137. Wybór odpowiedniego poziomu dopuszczalnych drgań zależy od przeznaczenia budynku (szpital, mieszkanie, biuro, warsztat), czasu trwania wibracji (ciągłe i przerywane albo sporadyczne) oraz pory występowania drgań (dzień, noc). Przedstawiono przykładowe wyniki oceny szkodliwości drgań na podstawie pomiarów wykonanych w budynku biurowym. Pomiary przeprowadzono za pomocą akcelerometrów zamocowanych w środku rozpiętości stropu nad pierwszą kondygnacją budynku. Założono możliwość zmiany przeznaczenia budynku z biurowego na mieszkalny. Ocenę przeprowadzono w oparciu o metodę analizy za pomocą widma częstotliwościowego wartości skutecznej przyspieszenia w pasmach 1/3 oktawowych. Komfort wibracyjny oceniono zarówno według normy PN-B-02171:2017 jak i ISO 10137. Stwierdzono przekroczenie wartości dopuszczalnych przyspieszeń drgań w analizowanym budynku. Zaproponowano wprowadzenie środków zaradczych w celu zmniejszenia poziomu drgań.

Słowa kluczowe: drgania, szkodliwość drgań, pomiar drgań, analiza tercjowa

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Wojciech Gosk, Politechnika Białostocka, Katedra Geotechniki i Mechaniki Konstrukcji, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok; tel. +48 501704894; w.gosk@pb.edu.pl

² Krzysztof Czech, Politechnika Białostocka, Katedra Geotechniki i Mechaniki Konstrukcji, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok; tel. +48 604662660; k.czech@pb.edu.pl

1. Wprowadzenie

Ocena szkodliwości drgań przekazywanych na obiekty budowlane jest jednym z aktualnych problemów inżynierii lądowej. Najczęściej analizie podlegają drgania będące wynikiem propagacji za pośrednictwem podłoża gruntowego od źródła wibracji do obiektu. Źródeł drgań może być wiele, w większości przypadków wibracje są wynikiem działalności człowieka. Przeważająca liczba opracowań, w których przeprowadzano ocenę szkodliwości drgań dotyczyła terenów zurbanizowanych. Jednym z głównych powodów tej oceny są drgania wywołane ruchem pojazdów, zarówno kołowych jak i szynowych. Drugą ważną grupę stanowią drgania wywoływane pracą maszyn budowlanych. Są to bardzo często maszyny stosowane w procesie zagęszczania gruntu. Drgania o szczególnie dużej intensywności są wzbudzane w czasie wbijania pali fundamentowych, przez co bardzo często zastosowanie tej technologii jest niedopuszczalne w sąsiedztwie bliskiej zabudowy. Istotne wartości przyspieszeń drgań generowane są również w trakcie zagłębiania i wyciągania elementów ścianek szczelnych.

Coraz częściej ocenie szkodliwości drgań na obiekty budowlane towarzyszy również ocena wpływu drgań na ludzi. O ile o wpływie drgań na budynki napisano wiele prac to znacznie mniej miejsca poświęca się temu drugiemu problemowi. W literaturze polskiej znaleźć można przede wszystkim opracowania pochodzące z Politechniki Krakowskiej. W Polsce, do momentu pojawienia się monografii [1], praktycznie nie istniały bardziej całościowe opracowania z tego zakresu.

2. Przegląd parametrów i kryteriów oceny komfortu wibracyjnego ludzi w budynkach

Nieodzownym elementem wiarygodnej oceny wpływu drgań na człowieka są właściwie przeprowadzone pomiary. Ponieważ ocena szkodliwości drgań w przeważającej mierze bazuje na wibrogramach przyspieszeń lub prędkości drgań do tego celu wykorzystywane są przede wszystkim akcelerometry i geofony. Zarejestrowane sygnały w postaci przebiegów czasowych przyspieszeń bądź prędkości drgań muszą zostać poddane odpowiedniemu cyfrowemu przetworzeniu (m.in.: filtracja dolnoprzepustowa, wyznaczenie wartości skutecznych – tzn. średnich kwadratowych wartości chwilowych, analizy tercjowe). Zgodnie z [1] najczęściej stosowane są trzy parametry będące wynikiem tego przetwarzania i służące do oceny wpływu zarejestrowanych drgań na ludzi w budynkach:

- widmo częstotliwościowe wartości skutecznej przyspieszenia lub prędkości drgań w pasmach 1/3 oktawowych (tercjowych, od 1 do 80 Hz),
- wartość skuteczna przyspieszenia lub prędkości drgań skorygowana w pełnym zakresie analizowanych częstotliwości (od 1 do 80 Hz),
- dawka wibracji.

W zasadzie najpełniejszy obraz analizy szkodliwości drgań uzyskamy, gdy w ocenie uwzględnimy wszystkie trzy powyżej wymienione elementy. Najwięcej

informacji o poziomie zagrożenia wywołanego drganiami, które oddziałują na ludzi w budynkach podlegających nadmiernym wibracjom uzyskamy na podstawie widma częstotliwościowego drgań. Dzięki takiemu podejściu możliwe jest ustalenie poziomu komfortu wibracyjnego w różnych pasmach częstotliwości oraz przedsięwzięcie odpowiednich środków zaradczych ukierunkowanych na minimalizację wpływu drgań na użytkowników budynków. Środki te charakteryzują się zróżnicowaną skutecznością w poszczególnych zakresach częstotliwości, więc informacja zawarta w widmie drgań pozwala na optymalny ich dobór.

Wartość skuteczna przyspieszenia lub prędkości drgań skorygowana w całym paśmie częstotliwości wyznaczana jest w wyniku zastosowania podczas rejestracji sygnałów odpowiedniego filtru korekcyjnego, na przykład zgodnego z normą [2]. Taka metodyka prowadzi do uzyskania jednej wartości skutecznej przyspieszenia bądź prędkości drgań, a nie ich widma jak w poprzednim przypadku. Jest to więc wartość uśredniająca cały profil częstotliwościowy, która może być wykorzystywana do identyfikacji występowania lub nie problemu negatywnego wpływu drgań na ludzi w budynkach.

Innym kryterium sumującym oddziaływania różnorodnych drgań na człowieka jest dawka wibracji, która jest w zasadzie parametrem w największym stopniu uwzględniającym spośród omawianych czas narażenia ludzi na drgania. Wiedza o wartości dawki wibracji pozwala ustalić prawdopodobieństwo wystąpienia skarg mieszkańców (mało prawdopodobne, możliwe oraz prawdopodobne skargi mieszkańców) [1].

Wpływ drgań na ludzi w budynkach jest oceniany poprzez odniesienie analizowanego parametru uzyskanego w danym miejscu pomiarowym do odpowiedniej wartości, najczęściej normowej, która to opisuje poziom odczuwalności, czy też szkodliwości wibracji na człowieka. Istnieją unormowania wydane przez instytucje krajowe jak i zagraniczne, w których zamieszczono szczegółowe informacje odnośnie poziomów odczuwalności drgań przez ludzi w budynkach. Wynika z nich, że drgania naruszające komfort wibracyjny zawsze ten próg przekraczają. Krótki przegląd najczęściej stosowanych metod oceny ewentualnego wpływu drgań na ludzi przebywających w budynkach przeprowadzono poniżej.

Ocenę wpływu drgań na ludzi przebywających w budynkach przeprowadza się na podstawie normy PN-B-02171:2017 [2] w oparciu o wartości skuteczne przyspieszenia lub prędkości drgań skorygowane w całym paśmie częstotliwościowym albo za pomocą widma częstotliwościowego wartości skutecznych przyspieszenia lub prędkości w pasmach 1/3 oktawowych (tercjowych). W obydwu przypadkach sprawdzeniu podlegają przede wszystkim warunki nieprzekraczalności wartości dopuszczalnej przyspieszenia lub prędkości drgań, niezależnie dla kierunku pionowego drgań (z) i kierunków poziomych (x i y) (por. rys. 1).

W przypadku analizy bazującej na wartościach skorygowanych dopuszczalną wartość przyspieszenia lub prędkości otrzymuje się poprzez przemnożenie odpowiedniej wielkości, uważanej za próg odczuwalności drgań przez człowieka, przez współczynnik n . Przykładowo, podane w normie [2] wartości progowe przyspieszenia dla pionowego kierunku odbioru drgań (z) oraz kierunków poziomych (x i y)

wynoszą odpowiednio 0,00500 m/s² i 0,00357 m/s². Natomiast wartość współczynnika n , będącego mnożnikiem podanej wartości progowej wynosi od 1 do 128. Przyjęcie adekwatnej do ocenianej sytuacji wartości współczynnika n zależy od tego, czy mamy do czynienia z drganiami ciągłymi czy sporadycznymi, pory dnia (dzień, noc) oraz od przeznaczenia budynku. Przykładowo, w pomieszczeniach mieszkalnych dla drgań ciągłych, wartości współczynnika n wynoszą odpowiednio 1,4 w nocy oraz 4,0 w dzień.

W przypadku analizy prowadzonej w pasmach 1/3 oktaowych o częstotliwościach środkowych f_i [Hz] w celu oceny komfortu wibracyjnego należy skorzystać z odpowiednich nomogramów (por. rys. 1 w Rozdziale 3 pracy). Nomogramy zostały wyrażone w układzie współrzędnych: wartość skuteczna amplitudy przyspieszenia (oś pionowa) – częstotliwość drgań (oś pozioma), niezależnie dla kierunku pionowego (z) i kierunków poziomych (x i y). Kolejne dwa analogiczne nomogramy dotyczą oceny w odniesieniu do prędkości drgań (oś pionowa). Najniżej położona linia łamana traktowana jest jako próg odczuwalności drgań przez człowieka (wartość współczynnika n dla tej linii wynosi 1, por. rys. 1). Drgania o wartościach wpisujących się poniżej tej linii norma [2] opisuje jako nieodczuwalne przez człowieka. Linie położone wyżej, oznaczone wartościami od 1,4 do 128 odpowiadają adekwatnym współczynnikom n . Wartość dopuszczalna przyspieszenia bądź prędkości drgań jest więc po prostu krotnością wartości odpowiadającej progowi odczuwalności. Metodyka przyjmowania odpowiedniej wartości współczynnika n jest identyczna z omówioną wcześniej. Wygodnym sposobem przeprowadzania oceny jest graficzne nanoszenie wyników w postaci „słupków” przypisanych odpowiednim częstotliwościom środkowym pasm 1/3 oktaowych.

Metodyka oceny szkodliwości drgań na ludzi w budynkach proponowana w normie ISO [3] jest zgodna ze sposobem analizy w pasmach 1/3 oktaowych prezentowanym w polskiej normie [2]. W omawianej normie [3] można odnaleźć w załączniku C wykresy progów odczuwalności drgań w układzie współrzędnych: wartość skuteczna amplitudy przyspieszenia (oś pionowa) – częstotliwość drgań (oś pozioma), niezależnie dla kierunku pionowego (z) i kierunków poziomych (x i y). Linie te praktycznie pokrywają się z analogicznymi liniami zawartymi w normie polskiej [2] (linie $n = 1$ na rys. 1). Pierwszą z różnic w stosunku do normy [2] jest brak wykresów opisujących progi odczuwalności wyrażone prędkościami. Zasadniczą różnicą jeżeli chodzi o zawartość wykresów pomiędzy normą ISO [3], a PN [2] jest również fakt braku linii odpowiadających wartościom współczynnika n większym od jedności (tak jak ma to miejsce w polskiej normie [2]). Linie takie korzystający z normy jest niejako zmuszony „dorysować” samodzielnie, przyjmując wartości współczynnika n podane w tabeli C.1 załącznika C opisywanej normy ISO [3]. Brak jest jakościowych różnic pomiędzy współczynnikami n zawartymi w obydwu normach. Współczynniki w normie PN są podane bardziej jednoznacznie, natomiast współczynniki w normie ISO w niektórych przypadkach wymagają przyjęcia wartości z przedziału (np. 30-90). Przy wyborze odpowiedniej wartości z przedziału pomaga obszerny komentarz pod tabelą. Można z niego wywnioskować, że o przyjęciu adekwatnej do analizowanej sytuacji

wartości omawianego współczynnika n decydują czynniki kulturowe i społeczne oraz lokalizacja budynku (strefa miejska, pozamiejska). Należy oczywiście wziąć pod uwagę, czy mamy do czynienia z drganiami sporadycznymi czy ciągłymi bądź długotrwałymi (podobnie jak w normie PN [2]).

Zarówno norma ISO [3] jak i PN [2] wprowadza dodatkowo ocenę w postaci wyznaczenia dopuszczalnej dawki wibracji (ang. VDV). Inaczej przedstawia się problem oceny na podstawie wartości skutecznych przyspieszenia i prędkości drgań skorygowanych w całym zakresie częstotliwościowym – ocena ta jest z kolei nieobecna w normie ISO [3].

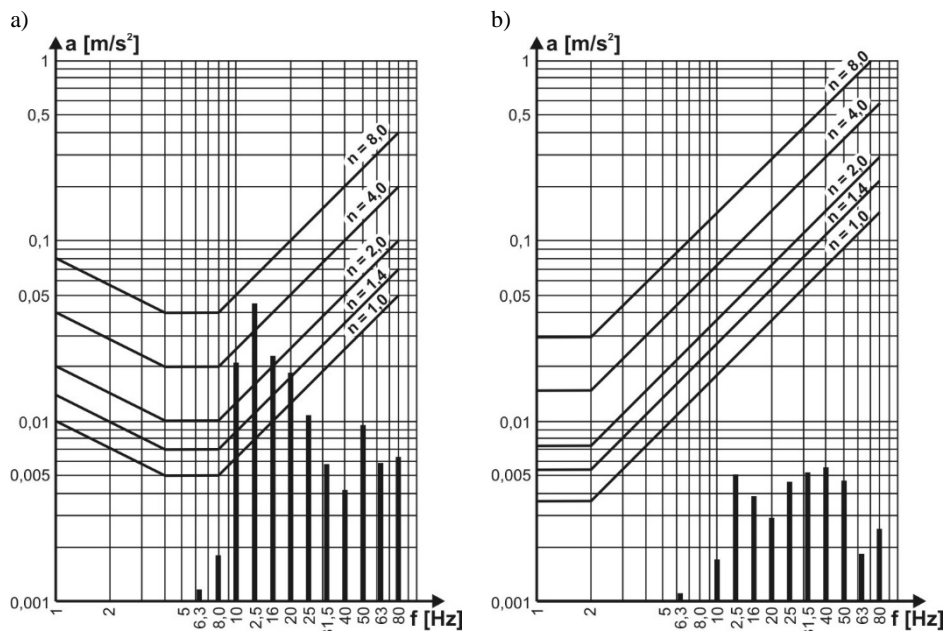
Z uwagi na ograniczenia objętościowe autorzy pracy ograniczyli się tylko do omówienia najczęściej stosowanych w Polsce procedur służących do oceny komfortu wibracyjnego ludzi w budynkach. Bardziej obszernie przedstawienie tej tematyki, rozszerzone o odpowiednie normy niemieckie DIN i brytyjskie BS, autorzy planują w kolejnych pracach.

3. Przykład oceny komfortu wibracyjnego ludzi w budynku narażonym na drgania komunikacyjne

3.1. Budynek biurowy

Ocena komfortu wibracyjnego ludzi w budynku biurowym została przeprowadzona na podstawie pomiarów drgań wywołanych poruszającymi się samochodami ciężarowymi. Przedmiotowy dwukondygnacyjny niepodpiwniczony budynek był wzniesiony w technologii tradycyjnej. Stan techniczny budynku oceniono jako dobry. W bezpośrednim sąsiedztwie obiektu, w odległości około 2,5 metra, przebiega ulica o nawierzchni z kostki granitowej. W wyniku przeprowadzonych obserwacji występujące wibracje zakwalifikowano do grupy drgań występujących w sposób ciągły i przerywany. Rejestrowanych wibracji nie można było zakwalifikować do drgań sporadycznych. Pomiary wykonano w związku ze skargami użytkowników budynku i ludności zamieszkującej w pobliżu drogi. Użyto szesnastobitowego systemu pomiarowego KSD-400 z niskoczęstotliwościowymi piezoelektrycznymi akcelerometrami firmy Dytran.

Ocena komfortu wibracyjnego ludzi w przedmiotowym budynku bazowała na widmie częstotliwościowym w pasmach tercjowych. Odniesiono się do wartości dopuszczalnych podanych w normie PN [2] i ISO [3]. Wyniki oceny komfortu wibracyjnego przedstawiono na rysunku 1. Stwierdzono, że kluczowe w ocenie komfortu wibracyjnego w analizowanym przypadku są składowe pionowe przyspieszeń drgań (rys. 1a). Składowe poziome, zarówno w kierunku x jak i w kierunku y osiągają wartości leżące stanowczo poniżej progu odczuwalności drgań przez człowieka (oznaczonego na wykresach linią $n = 1$). Z tego powodu przedstawiono na rysunku 1b tylko wyniki analizy tercjowej uzyskane dla składowej poziomej przyspieszeń drgań w kierunku x . Na rysunku nie przedstawiono rezultatów uzyskanych dla składowej y . Drgania rejestrowane w płaszczyźnie poziomej nie naruszają komfortu wibracyjnego ludzi w budynku.



Rys. 1. Wyniki oceny komfortu wibracyjnego ludzi w budynku - kierunek pionowy drgań z (a) oraz poziomy x (b): a – przyspieszenie (wartość skuteczna, RMS) [m/s^2], f – częstotliwość środkowa pasma [Hz]

Fig. 1. The results of evaluation of vibration comfort on people in buildings - vertical direction of vibrations z (a) and horizontal x (b): a – acceleration (Root Mean Square RMS) [m/s^2], f – frequency [Hz]

Odmienne przedstawia się sytuacja w przypadku składowej pionowej drgań. Należy tu wyraźnie stwierdzić naruszenie komfortu wibracyjnego ludzi w przedmiotowym budynku. W paśmie środkowym o częstotliwości drgań 12,5 Hz przekroczona jest linia oznaczona jako $n = 4$, będąca granicą komfortu wibracyjnego ludzi przebywających w budynku o przeznaczeniu biurowym. Uzyskana wartość skuteczna przyspieszenia drgań jest niedopuszczalna jeśli chodzi o ludzi przebywających w analizowanym budynku, zarówno według normy PN jak i normy ISO. Wniosek generalny jest taki, że należy podjąć stosowne działania w kierunku zmniejszenia poziomu drgań.

3.2. Budynek mieszkalny

Dokonując zmiany funkcji budynku z biurowej na mieszkalną wymagania odnośnie dopuszczalnych wartości przyspieszeń drgań wzrastają. W przypadku pasma środkowego o częstotliwości 20 Hz przekroczona jest nieznacznie linia oznaczona jako $n = 1,4$. Linia ta jest granicą komfortu wibracyjnego w budynku mieszkalnym w przypadku drgań ciągłych i przerywanych dla pory nocnej. Próg ten jest zdefiniowany identycznie zarówno w normie PN [2] jak i ISO [3]. W przypadku częstotliwości środkowych 10 i 16 Hz przekroczono linię oznaczoną

jako $n = 2$. Według normy PN w pasmach tych komfort wibracyjny, jaki powinien być zagwarantowany w ciągu dnia, nie został naruszony. Norma ISO nie jest w przypadku omawianych częstotliwości już tak jednoznaczna, gdyż dopuszcza wartości n z przedziału od 2 do 4. Wydaje się być generalnie bardziej ostrożna. Wybór odpowiedniej wartości z tego przedziału norma ISO uzależnia od czynników społecznych, kulturowych i psychologicznych oraz od oczekiwanego poziomu komfortu. W przypadku pasma środkowego 12,5 Hz przekroczona jest linia oznaczona jako $n = 4$. Pasma to najbardziej wpływa na ocenę generalną gdyż używano tam wartość przyspieszenia drgań niedopuszczalną jeśli chodzi o ludzi przebywających w budynkach nawet za dnia, zarówno według normy PN jak i ISO. Wniosek generalny jest w przypadku budynku mieszkalnego taki, że należy podjąć również działania zaradcze zmniejszające poziom drgań.

4. Wnioski

Ocena komfortu wibracyjnego ludzi w budynkach za pomocą normy PN-B-2171:2017 [2] w oparciu o analizę w pasmach tercjowych zasadniczo w niczym nie odbiega od metody proponowanej w normie ISO 10137 [3] wydanej w roku 2007. Z punktu widzenia prawnego norma polska jest podstawą do oceny komfortu wibracyjnego ludzi w budynkach, gdyż jest wymieniona w załączniku rozporządzenia [4]. Norma [2], w związku z wprowadzeniem do niej współczynnika dawki wibracji VDV, została w znacznym stopniu zharmonizowana z normą ISO [3]. Jest więc spójna z systemem norm europejskich.

Zmiana funkcji budynku z biurowej na mieszkalną zasadniczo nie wpłynęła na ocenę komfortu wibracyjnego ludzi, gdyż w obydwu przypadkach poziom drgań dopuszczalnych był przekroczony. O ile w budynku biurowym to przekroczenie było niewielkie i dotyczyło tylko pasma o częstotliwości środkowej 12,5 Hz, to w przypadku analizy przeprowadzonej przy założeniu funkcji mieszkalnej budynku naruszenie komfortu wibracyjnego było o wiele bardziej istotne, gdyż dotyczyło także pasm o częstotliwościach środkowych 10, 16 i 20 Hz.

W odniesieniu do problemu związanego z użytkowaniem budynku i stwierdzonym nadmiernym poziomem drgań zaproponowano działania naprawcze. W pierwszym etapie zalecono wprowadzić ograniczenia odnośnie ruchu pojazdów kołowych typu ciężkiego. Na decyzję o sposobie ostatecznego rozwiązania problemu miały wpływ wymagania konserwatora zabytków, który nie wyraził zgody na wymianę nawierzchni na asfaltową. Zasugerowano więc przeprowadzenie naprawy nawierzchni z kostki granitowej poprzez jej rozebranie i ponowne staranne ułożenie na nowej podbudowie. Prace takie przeprowadzono. Z informacji uzyskanych od administracji lokalnej wynika, że wykonana naprawa okazała się skuteczna. Drgania komunikacyjne naruszające komfort wibracyjny ludzi przebywających w przedmiotowym budynku w znacznym stopniu zostały zredukowane.

Literatura

- [1] Kawecki J., Stypuła K.: Zapewnienie komfortu wibracyjnego ludziom w budynkach narażonych na oddziaływania komunikacyjne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2013.
- [2] PN-B-02171:2017. Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.
- [3] ISO 10137. Bases for design of structures - Serviceability of buildings and walkways against vibrations, 2007.
- [4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. Nr 75, poz. 690 z późniejszymi zmianami).

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy nr S/WBiŚ/6/2013 i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW

EVALUATION OF VIBRATION COMFORT OF PEOPLE IN BUILDING IN THE ASPECT OF CHANGING ITS OFFICE FUNCTION ON THE RESIDENT FUNCTION ACCORDING TO PN AND ISO STANDARDS

Summary

The paper presents the problem of the vibration comfort evaluation of people in buildings. It was presented the methods of determining the parameters for assessing the influence of vibration on humans: frequency spectrum of weighted root mean square acceleration or velocity in the 1/3 octave-bands, weighted RMS acceleration or velocity corrected in the full range of analyzed frequencies and vibration dose values. A review of selected methods to determine the level of perceptibility or harmfulness of vibration propagated in environment was made. There were discussed methods used in selected national and foreign standards noting the similarities and differences. It has been found that the levels of acceptability vibrations are substantially similar in the standard PN-B-02171:2017 and ISO 10137. Choosing an appropriate level of vibration limit depends on the place (hospital, flat, office, workshop), the duration of the vibration (continuous and intermittent or occasional) and the time of the vibrations (day, night). It was shown the examples of the results of assessing the harmfulness of vibration on the basis of measurements executed in an office building. Measurements were carried out using accelerometers mounted in the middle of the floor above the first storey of the building. It was assumed ability to change the use of the building from office on residential. The evaluation was based on the analysis method using a frequency spectrum of weighted root mean square acceleration in the 1/3 octave-bands. Vibration comfort was evaluated according to standards PN-B-02171:2017 and ISO 10137. It was found exceeding the limit values of vibration acceleration in the analyzed building. It was suggested to introduce changes to reduce the level of vibration.

Keywords: vibrations, harmfulness of vibrations, vibration measurement, one-third octave band

Przesłano do redakcji: 20.17.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Piotr WOLAŃSKI¹

RYZIKO MIKROBIOLOGICZNE W BUDYNKACH Z WENTYLACJĄ NATURALNĄ

W pracy opisano proces identyfikacji i metodykę prowadzenia badania laboratoryjnych jakości powietrza wewnętrznego pod kątem występowania zanieczyszczenia mikrobiologicznego i jego wpływu na samopoczucie człowieka. W opracowaniu przedstawiono również wybrane badania dotyczące pomiaru liczby zarodników grzybów występujących w powietrzu rozpatrywane w funkcji zmiennych warunków meteorologicznych. Badania wykonywano przy jednoczesnym odczycie poziomu nasycenia powietrza parą wodną zarówno wewnątrz budynku jak i na zewnątrz, stopnia nasłonecznienia, wartości siły wyporu termicznego w przewodach kominowych zlokalizowanych w pomieszczeniach higieniczno-sanitarnych oraz prędkości i kierunku wiatru. Opisano procesy i przemiany fizyko-chemiczne zachodzące w zamkniętych pomieszczeniach np. mieszanie czystego powietrza z zanieczyszczeniami. Zidentyfikowano i opisano problem jakości powietrza wewnętrznego w systemach z naturalną wentylacją, wpływ zanieczyszczeń na mikroklimat oraz potencjalnych ich przyczynach pojawiających się w trakcie pracy instalacji, których głównym powodem są mikroorganizmy zawarte w powietrzu. Omówiono zasadność: monitorowania parametrów powietrza zewnętrznego, wprowadzania do pomieszczenia powietrza zewnętrznego o odpowiedniej jakości i utrzymywanie jego składu chemicznego w odpowiednich proporcjach. Przedstawiono negatywne skutki złego użytkowania pomieszczeń mieszkalnych w których przebywają ludzie i sposoby zapobiegania im. Otrzymane wyniki badań laboratoryjnych przedstawiono przy użyciu wykresów oraz porównano ich stężenia z wartościami dopuszczalnymi.

Słowa kluczowe: Mikroklimat, wentylacja naturalna, jakość powietrza, zanieczyszczenie powietrza

1. Wstęp

Jednym z głównych czynników mających wpływ na mikroklimat pomieszczenia i komfort przebywających w nim osób jest jakościowa i ilościowa ocena działania naturalnej wentylacji kanałowej [1,2]. Powszechnie znany jest jej brak skuteczności eksploatacyjnej wynikający zarówno ze sposobu jej projektowania jaki i niewłaściwego użytkowania, co potwierdzono też w badaniach własnych [3,9,10]. Ujawnia się to głównie przez spadek strumieni powietrza

¹ Piotr Wolański, Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii środowiska i Energetyki ul. Akademicka 2A, 44-100 Gliwice; tel 694 587 262; piotrekwolan@interia.pl

wymienianych w mieszkaniach i wzrost zanieczyszczeń w okresie grzewczym. Sprzyja to pojawieniu się wpływu szeregu czynników ryzyka wystąpienia zmian chorobowych, a tym czynników mikrobiologicznych [2,4,5]. Zgodnie z zasadą wentylacji powietrze po zużyciu ma być usuwane przez kanały wywiewne i zastępowane powietrzem zewnętrznym, które jest ośrodkiem transportu zanieczyszczeń pochodzenia mineralnego i organicznego. Mogą one reagować z sobą i wywołać różne procesy i przemiany. Przebieg i produkty tych przemian zależą od stanu atmosfery (inwersji temperatury), wilgotności i nasłonecznienia. Tak więc napływające powietrze zewnętrzne jest już obciążone różnymi zanieczyszczeniami, które są dodatkowo wzbogacane zanieczyszczeniami wynikającymi z użytkowania pomieszczeń. Jednym z nich są różnego rodzaju mikroorganizmy biologiczne np. bakterie i wirusy oraz grzyby i pleśnie, często odpowiedzialne za nasilanie się chorób alergicznych.

2. Identyfikacja i rozpoznawanie zagrożeń

Doprowadzanie powietrza zewnętrznego o odpowiedniej jakości do pomieszczeń w których przebywają ludzie jest konieczne z uwagi na:

- rozcieńczenie i usuwanie zanieczyszczeń tła, tj. substancje emitowane przez meble i materiały budowlane, środki czyszczące, zapachy, metaboliczny CO₂, para wodna, zarodniki grzybów, wirusy i bakterii,
- rozcieńczenie i usuwanie zanieczyszczeń z dających się zidentyfikować,
- z miejscowych źródeł, tj. zapachy z toalet i kuchni, para wodna powstająca podczas gotowania i kąpieli, pojawiania się dymu tytoniowego i produktów spalania pochodzące z palenisk,
- zapewnienie powietrza do oddychania i spalania w paleniskach,
- kontrola wilgotności wewnętrznej.

Z uwagi na intensywne eksploatowanie mieszkań powietrze wewnętrzne narażone jest na różne zanieczyszczenia, stanowiące potencjalne zagrożenie dla zdrowia użytkowników, a nawet przyczynić się do uszkodzenia struktury mieszkań i ich wyposażenia [2,4,6–8]. Zanieczyszczenia wewnętrzne dzielone są na trzy główne grupy:

- zanieczyszczenia dające się usunąć za pomocą wentylacji miejscowej,
- zanieczyszczenia tła i zanieczyszczeni nie dające się usunąć przez wentylację miejscową,
- produkty spalania pochodzące z palenisk.

Uzyskanie racjonalnego poziomu jakości powietrza wewnętrznego bez wykorzystania energii wymaga:

- utrzymywania stężenia CO₂ na odpowiednim poziomie,
- utrzymywania wilgotności w odpowiednich granicach dla unikania zbyt suchego powietrza oraz kondensacji pary wodnej i rozwoju grzybów i pleśni,
- usuwania zapachów oraz innych zanieczyszczeń chemicznych i biologicznych poniżej racjonalnego poziomu.

Wilgotność powietrza wewnętrznego jest jednym z podstawowych wskaźników, które pozwalają oceniać sprawność systemu wentylacji jak i prawidłowość użytkowania mieszkania np.: widoczna para wodna skraplająca się na szybach, świadczy o dużej wilgotności powietrza, która może doprowadzić do powstawania pleśni i grzybów. Z drugiej strony, łatwość elektryzowania się różnych przedmiotów (ekranów monitorów komputerów czy telewizorów), może świadczyć o zbyt niskiej zawartości wilgoci, co również nie sprzyja dobremu samopoczuciu mieszkańców. Skutkami braku odpowiedniej wymiany powietrza jest nagromadzenie się zanieczyszczeń w ilościach przekraczających wartości dopuszczalne. Najczęściej negatywnie wpływającymi na organizm są następujące związki: para wodna, dwutlenek węgla, dym papierosowy, zanieczyszczenia emitowane przez meble i materiały wykończeniowe co powoduje bóle głowy, uczucie zmęczenia, choroby dróg oddechowych. Z kolei wzrost wilgoci wywołuje skraplanie pary wodnej na częściach przegród oraz rozwój pleśni i grzybów. Znaczne ograniczenie strumienia powietrza wentylacyjnego prowadzi do drastycznego pogorszenia się jakości powietrza wewnętrznego, w którym znajdują się zarodniki grzybów. Dla oznaczania jakości powietrza z nimi związanych powstało kilka metod, których wyniki podaje się jako liczbę mikroorganizmów w 1 m³ powietrza. Pierwsze normy dotyczące badań mikrobiologicznych powstały prawie sto lat temu i był to zestaw 5 aktów prawnych określających: wytyczne i postanowienia ogólne dotyczące pobierania próbek powietrza atmosferycznego (PN-84/Z-04008/02 i PN-89/Z-04008/08); metody badań mikrobiologicznych powietrza (PN-89/Z-04111/01), w tym sposoby oznaczania liczby bakterii i grzybów mikroskopowych w powietrzu atmosferycznym przy pobieraniu próbek metodą aspiracyjną i sedymentacyjną (PN-89/Z-04111/02 i PN-89/Z-04111/03). Wszystkie akty prawne dotyczą powietrza atmosferycznego (imisji). Zgodnie z nimi analiza mikrobiologiczna powietrza obejmuje:

A. Badania poligonowe.

1) Pobór prób:

- metodą sedymentacyjną i zderzeniową z jednoczesnym posiewem na gotowe podłoża,
- metodą filtracyjną;

2) Przygotowanie prób do posiewów:

- przeniesienie bakterii zatrzymanych na filtrze do cieczy, ich rozcieńczenie (powietrze „brudne”);

3) Posiew:

- rodzaj podłoża i czas inkubacji; w zależności od grupy mikroorganizmów jaka jest oznaczana;

4) Zliczanie mikroorganizmów wyrosłych na podłożach;

5) Analiza ilościowa i jakościowa (identyfikacja);

6) Opracowanie wyników.

B. Metody obliczeniowe: metoda bilansowa, metoda jakościowa, metoda wskaźnikowa.

W tabeli 1 zestawiono problemy, które mogą wystąpić w instalacjach wentylacyjnych oraz potencjalnych ich przyczynach pojawiających się w trakcie pracy instalacji, których powodem są także mikroorganizmy.

Tabela 1. Przyczyny i skutki wpływu zanieczyszczeń mikrobiologicznych na mikroklimat pomieszczenia

Table 1. Causes and consequences of the impact of microbiological contamination on the microclimate room

Potencjalny problem	Prawdopodobna przyczyna
Grzyby pleśniowe, inne drobnoustroje żyjące w materiale filtracyjnym; Zapchanie filtrów zanieczyszczeniami powodujące uniemożliwiające prawidłowy przepływ powietrza, Zanieczyszczenia cyrkulujące w powietrzu	Wilgotne/zabrudzone ponad miarę filtry
Zarodniki roślin, mikroskopowe fragmenty grzybów pleśniowych, itp., cyrkulujące w powietrzu w budynku; nieprzyjemne zapachy pochodzące z rozkładających się substancji organicznych recyrkulujące w instalacji wentylacyjnej lub klimatyzacyjnej	Wilgotne, rozkładające się substancje organiczne
Namnażanie się grzybów pleśniowych, rozwój mikroorganizmów wraz z bakteriami i algami; nieprzyjemne zapachy	Stojąca woda w wanience ociekowej lub/i w zbiorniku kondensatu
Nieprzyjemne zapachy, cząstki stałe cyrkulujące w powietrzu w budynku	Brudne, obłożone pyłem węzownice nagrzewnicy i chłodnicy
Nieprzyjemne zapachy, podrażnienie lub nadwrażliwość wywołana substancjami chemicznymi	Cząsteczki pochodzące z substancji chemicznych lub środków czyszczących
Brak przepływu powietrza lub zbyt mały strumień powietrza	Pasek klinowy przekładni wentylatora zsunięty lub zerwany
Brak przepływu powietrza lub zbyt mały strumień powietrza	Niedziałający silnik napędowy
Rozwój grzybów pleśniowych, bakterii; nieprzyjemne zapachy; stopniowa degradacja uszkodzonego materiału izolacyjnego skutkującą pojawieniem się zawieszonych w powietrzu cząstek cyrkulujących w powietrzu w budynku	Wilgotna, brudna lub uszkodzona izolacja przewodów
Sprzyjające warunki do rozwoju drobnoustrojów; nieprzyjemne zapachy	Stojąca woda/ objawy uszkodzeń w wyniku pojawienia się wody (zawilgocenia) (w jakimkolwiek miejscu w systemie wentylacyjnym, urządzeniu lub przewodzie)
Zabrudzenie/ plama na suficie wokół nawiewnika, wywiewnika	Dostanie się zwiększonej ilości pyłu do instalacji; obłożenie pyłem wnętrza przewodów; zła konserwacja filtrów

3. Metodyka badań i ich przebieg

W celu określenia jakości powietrza pod względem zagrożenia mikrobiologicznego wyróżnia się następujące metody: mikroskopowe, hodowlane i kombinowane. Jedną z najczęściej stosowanych metod polega na hodowli kolonii mikroorganizmów na płytkach Petriego na specjalnie wyselekcjonowanych podłożach. Podłoża mikrobiologiczne są to mieszaniny odpowiednio dobranych składników odżywczych, dostarczających hodowanym na nich organizmom niezbędnych pierwiastków chemicznych oraz źródła energii. Każde podłoże musi mieć odpowiednią dla danego gatunku wartość odżywczą, odpowiednie pH i ciśnienie osmotyczne. Jednym z koniecznych warunków, jaki muszą spełniać wszystkie podłoża, jest ich sterylność, co oznacza, że muszą być pozbawione wszelkich żywych organizmów zarówno ich form wegetatywnych jak i przetrwalnikowych. W ramach wykonanych badań stosowane było podłoże oparte na pożywce Agarowej Sabourauda. Proces sterylizacji ma na celu zabicie drobnoustrojów i ich form przetrwalnych w danym środowisku w wyniku działania: wysokiej temperatury (suszarka, autoklaw) oraz promieniowania UV lub jonizującego. Jałowienie w autoklawie przebiega w temperaturze 100°C. W autoklawie (hermetycznie zamkniętym kotle) stosując nadciśnienie 1 atm, uzyskuje się atmosferę nasyconej pary wodnej o temperaturze 121°C. W tej temperaturze wszystkie mikroorganizmy i ich przetrwalniki, a także wirusy, zostają zniszczone w ciągu około 30 minut. Czas trwania sterylizacji w autoklawie zależy od rodzaju jałowionego materiału i jego objętości. W autoklawie jałowi się podłoża (oprócz tych, które rozkładają się w tej temperaturze), sól fizjologiczną, bufor, wodę destylowaną, narzędzia chirurgiczne, opatrunki.

Przebieg eksperymentu

Badania przeprowadzono w mieszkaniu (m. Rzeszów) zlokalizowanym na 7 kondygnacji 10 piętrowego budynku. W mieszkaniu tym dokonano wcześniej pomiarów przepływów powietrza przy użyciu anemometru, elektronicznego czujnika temperatury, regulatora pomiaru ciśnienia i wilgotności względnej. Badania te prowadzone nieprzerwanie przez okres ponad roku przy zamkniętych oknach i drzwiach. Równocześnie wykonywano pomiary warunków zewnętrznych. Pomiary stężeń mikroorganizmów biologicznych prowadzono na stałej wysokości nad podłogą i w kratce wywiewnej pomieszczeń łazienki i kuchni. Wykonano je metodą sedymentacyjną zgodnie z normą PN-89/Z-04111/02 (pkt. 2.1.6.2) z wykorzystaniem płytek Petriego, które umieszczano w zamkniętym pomieszczeniu z odpowiednio przygotowaną pożywką agarową. Metodę zastosowano do celów porównawczych do pobierania próbek powietrza atmosferycznego w celu określenia liczby bakterii, w tym wytypowanych bakterii wskaźnikowych i przedstawicieli grzybów mikroskopowych. Pobieranie próbek metodą sedymentacyjną pozwoliło na ustalenie liczby mikroorganizmów występujących głównie w cząsteczkach gruboziarnistych bioareozolu. Próbkę pobiera-

no z częstotliwością w cyklu rocznym jeden raz w miesiącu, wykonano czynności wstępne, a mianowicie:

- opisano stan powietrza zewnętrznego podczas poboru próbki usytuowanie budynku względem stron świata
- wybrano miejsca poboru próbek w pomieszczeniach (na wysokości 1,30 m nad posadzką), wyjątek stanowią pomiary w kratce wywiewnej (na wysokości 2,20 m nad posadzką podłogi). Pomiar w kratce wywiewnej przeprowadzono bez sterylizacji z uwagi na chęć uzyskania wiarygodnych wyników. Przed badaniem zdezynfekowano powierzchnię na której położono próbkę alkoholem.

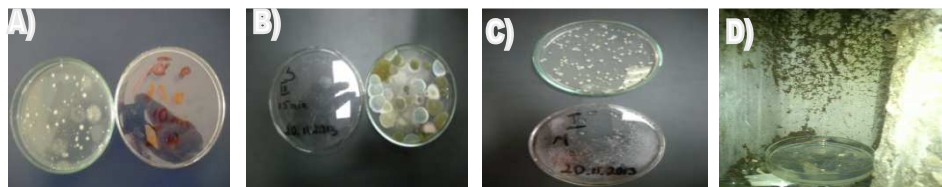
Z umieszczonych w pomieszczeniu zamkniętym płytek Petriego na określony czas (10 minut.) zdejmowano wieczko a wszystkie płytki przenoszono do laboratorium celem przeprowadzenia inkubacji w odpowiedniej temperaturze przez okres zależnie 24 i 48 h dla bakterii mezofilnych i prostofilnych. Uzyskane na pożywce kolonie reprezentują mikroorganizmy, które wraz z odpowiedniej wielkości cząstkami opadły z powietrza. Liczbę mikroorganizmów (A) zawartą w 1 m³ powietrza obliczono z zależności:

$$A = \frac{5 \cdot a \cdot 10^4}{\pi \cdot r^2 \cdot t} \quad (1)$$

gdzie:

- a – średnia liczb koloni na płytce,
- πr^2 – powierzchnia płytki (cm²),
- t – czas ekspozycji w minutach,
- 5 – współczynnik przeliczeniowy.

Po opisaniu opisać wieczka płytek Petriego z pożywką (patrz rys. 1A) zdejmowano z nich wieczka ustawiano je w wybranym miejscu (patrz rys. 1D), a po 10 minutach zamykano płytki. Następnie wstawiano je do termostatu: pierwszą do temperatury 37°C na okres 24 godzin, drugą do temperatury 20°C na 72 godziny. Po inkubacji próbek liczono wszystkie kolonie na obu płytkach oraz oddzielnie kolonie barwne (rys. 1B i C). W celu obliczenia udziału procentowego kolonii zabarwionych zawartych w ogólnej ich liczbie, wykorzystano powyższą zależność.



Rys. 1. Sposób pobierania próbek do badania

Fig. 1. Process for the test sample

Określanie liczby zarodników grzybów: próbki powietrza pobrano metodą sedymentacyjną w sposób opisany w PN-89/Z-04111/02 i PN-89Z-04008/08 następnie próbki poddano inkubacji w temperaturze 26°C przez 6 dni i policzono liczbę kolonii grzybów na szalkach następnie po podstawieniu do wzoru obliczono liczbę zarodników grzybów w 1 m³ powietrza.

4. Wyniki pomiarów

Do ustalenia jakości badanego powietrza wykorzystano relacje między stężeniami czynników biologicznych w próbach mierzonych jednocześnie w środowisku wewnętrznym i zewnętrznym a stężeniami normatywnymi. Przyjęto zasadę, że jeżeli wartości stężeń w środowisku wewnętrznym są mniejsze od tych w środowisku zewnętrznym oraz niższe od wartości dopuszczalnych, wówczas stan środowiska wewnętrznego jest oceniany jako dobry i do zaakceptowania. Stosunek stężeń wewnętrznych do zewnętrznych świadczy o istnieniu wewnętrznych źródeł emisji. Względne metody oceny stosuje się też podczas porównywania jakościowego bądź przy konfrontacji częstości występowania, np. określonych rodzajów czy gatunków mikroorganizmów. Ilościowe standardy, wartości norm, zaleceń i propozycje poszczególnych wartości zamieszczono w tabelach 2 i 3 oraz na rys. 2 i 3.

Stwierdzono występowanie przekroczeń dopuszczalnych poziomów stężeń mikroorganizmów zarówno w pomieszczeniu zamkniętym jak i w powietrzu zewnętrznym (rys. 2.), z wyłączeniem kuchennego przewodu wywiewnego, co może być spowodowane mniejszą wilgotnością względną panująca w badanym pomieszczeniu w momencie przeprowadzania pomiaru.

Tab. 2. Dopuszczalny stopień zanieczyszczenia mikrobiologicznego

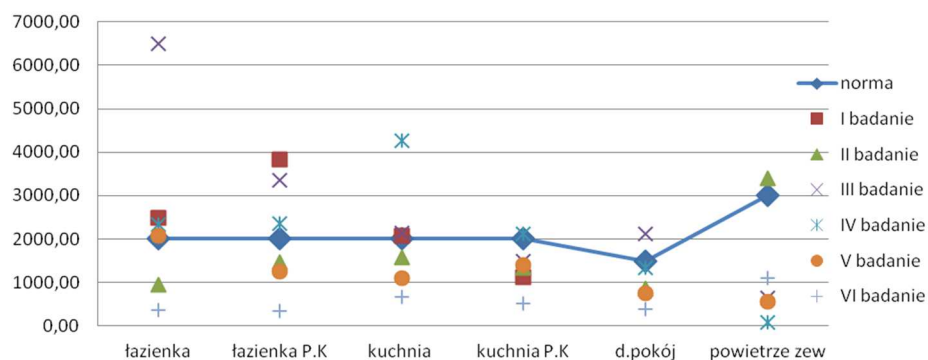
Tab. 2. The permissible level of microbiological contamination

Rodzaj pomieszczenia użytkowego	Dopuszczalna liczba mikroorganizmów w 1m ³ powietrza		
	Ogólna liczba mikroorganizmów na podłożu MPA	Liczba mikroorganizmów hemolizujących na agarze z krwią	Ogólna liczba grzybów na podłożu Sabourauda
Powietrze zewnętrzne	3,0 • 10 ³	1,0 • 10 ²	1,0 • 10 ³
Pom. domów mieszkalnych:			
– kuchnia i jadalnia	2,0 • 10 ³	1,0 • 10 ²	3,0 • 10 ²
– salon	1,5 • 10 ³	5,0 • 10 ¹	2,0 • 10 ²
– sypialnia	1,0 • 10 ³	5,0 • 10 ¹	1,0 • 10 ²

Tab. 3. Ocena stopnia zanieczyszczenia powietrza zarodnikami grzybów

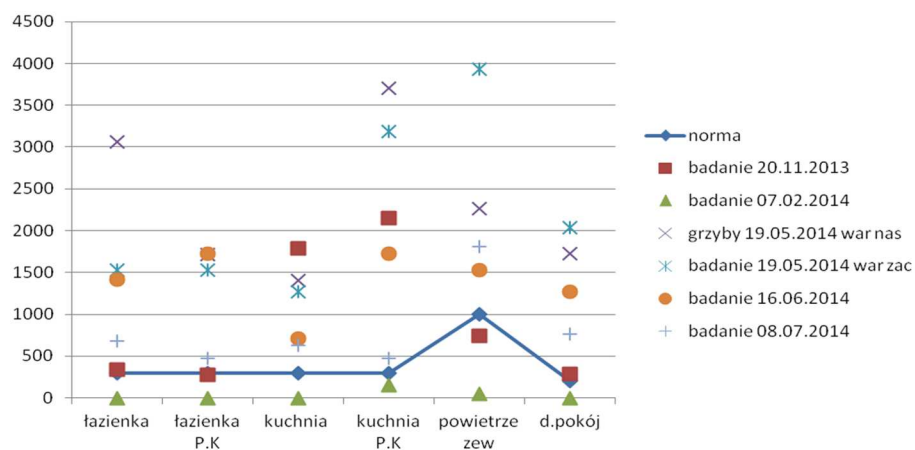
Tab. 3. Assessment of air pollution fungal spores

Ogólna liczba grzybów w 1 m ³ powietrza atmosferycznego	Stopień zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego
do $3,0 \cdot 10^3$	powietrze niezanieczyszczone
od $3,0 \cdot 10^3$ do $5,0 \cdot 10^3$	przeciętnie czyste powietrze atmosferyczne, zwłaszcza w okresie wczesnojesiennym i późnojesiennym
$5,0 \cdot 10^3$ do $1,0 \cdot 10^4$	zanieczyszczenie mogące negatywnie oddziaływać na środowiska naturalne człowieka
powyżej $1,0 \cdot 10^4$	zanieczyszczenie zagrażające środowisku naturalnemu człowieka



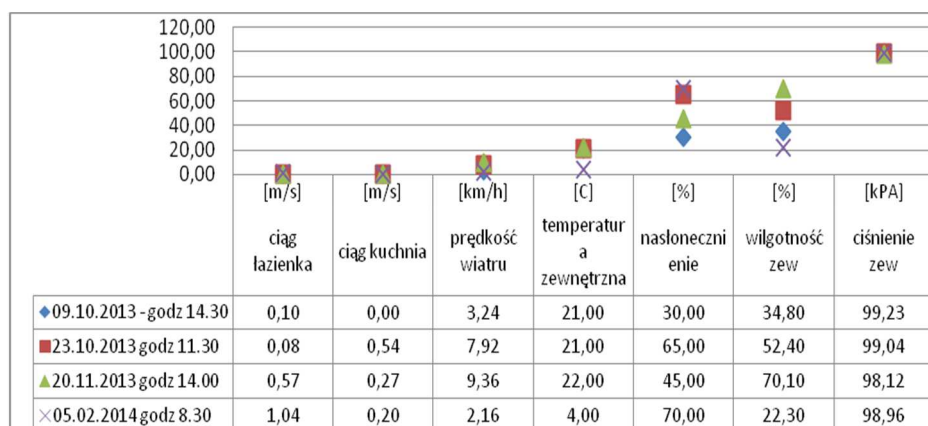
Rys. 2. Porównanie zanieczyszczeń powietrza mikroorganizmami (metodą sedymentacji)

Fig. 2. Comparison of microbial air pollution (by sedimentation)



Rys. 3. Porównanie zanieczyszczeń powietrza zarodnikami grzybów

Fig. 3. Comparison of air pollution fungal spores



Rys. 4. Pomiar charakterystycznych parametrów powietrza atmosferycznego

Fig. 4. Measurement of characteristic parameters of atmospheric air

Wyniki pomiarów ilości mikroorganizmów i analizy zawartości zarodników grzybów w 1 m³ powietrza przedstawione na rys. 2 obrazuje, iż powietrze wewnętrzne pomieszczenia jest doskonałym nośnikiem dla mikroorganizmów i zarodników grzybów, które w niesprzyjających warunkach zewnętrznych (rys. 4) prowadzi do znacznego przekroczenia wartości dopuszczalnych. Nasuwa to wniosek iż powietrze zewnętrzne samo w sobie nie stanowi dobrego medium do napływu powietrza do pomieszczeń. Należałoby poddać je wstępnemu oczyszczeniu co skutkowałoby czystszy powietrzem wewnętrznym pomieszczenia a tym samym lepszym samopoczuciem mieszkańców.

5. Podsumowanie

Ryzyko związane ze wzmożoną obecnością mikroorganizmami przekraczających dopuszczalne wartości nie ograniczają się tylko do przenoszenia bakterii i wirusów wywołujących choroby i alergię lecz przede wszystkim do zaburzenia mikroklimatu i komfortu osób przebywających w danym pomieszczeniu. Badanie wpływu zanieczyszczeń bioareozolami przy użyciu metody sedimentacyjnej w oparciu o obecność wskaźnikowego czynnika (zarodników grzybów) na stan sanitarny powietrza przy ciągłym analizowaniu parametrów panujących na zewnątrz i wewnątrz pomieszczenia, ukazało znaczne przekroczenia poziomu dopuszczalnych stężeń. Pomimo licznych badań mikrobiologicznych nad problematyką wpływu zanieczyszczeń powietrza na zdrowie człowieka wciąż nie ma ogólnie przyjętych norm prawnych, które jednoznacznie określałyby ich dopuszczalny poziom w powietrzu. Wobec przedstawionych danych słuszna wydaje się stwierdzenie, iż wentylacja naturalna nie jest w stanie zapewnić odpowiedniej jakości powietrza w pomieszczeniu w każdych warunkach zewn. a szczególnie przy niesprzyjających warunkach meteorologicznych w centrach dużych miast.

Literatura

- [1] Pełech A.: Wentylacja i klimatyzacja: podstawy, Oficyna Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008.
- [2] Nantka M. B.: Wentylacja z elementami klimatyzacji, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.
- [3] Wolański P.: Badania przepływów powietrza w wielorodzinnym budynku, prace własne niepublikowane.
- [4] Charkowska A i inni: Wilgoć, pleśnie i grzyby, Wydawnictwo Verlag Dashofer, Warszawa 2005.
- [5] Gąska-Jędruch U., Dudzińska, M.R.: Zanieczyszczenia mikrobiologiczne w powietrzu wewnętrznym, Polska Akademia Nauk, Monografie nr 59, Lublin 2009.
- [6] Müller J., Skrzyniowska D.: Jakość powietrza a wentylacja pomieszczeń, Czasopismo Techniczne – Technical Transcation, zeszyt 28, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2012.
- [7] Maryniak Z., Syczewska K. Fizykochemiczna analiza zanieczyszczeń powietrza 1997.
- [8] Skrypt Mikrobiologia Politechniki Rzeszowskiej.
- [9] Strzeszewski M; Określanie zapotrzebowania na ciepło do wentylacji w przypadku stosowania odzysku ciepła z powietrza wywiewanego, bez nagrzewnic powietrza.
- [10] PKN-CEN/TR 14788 Wentylacja budynków Projektowanie i wymiarowanie systemów wentylacji mieszkań kwiecień 2012.

MICROBIOLOGICAL RISK IN BUILDINGS WITH NATURAL VENTILATION

Summary

This article describes the identification process and methodology of research laboratory for indoor air quality for the presence of microbial contamination and its impact on human well-being. The study also presents selected research on the measurement of the number of fungal spores present in the air considered as a function of changing weather conditions. Tests were performed at the same time reading the saturation vapor air inside the building and outside, sun exposure, the buoyancy thermal chimney flues are located in public sanitary facilities and the speed and wind direction. Describes the processes and the transformation of physical chemistry in confined spaces, eg. Mixing clean air pollution. Identified and described the problem of indoor air quality in systems with natural ventilation, the impact of pollution on climate and their potential causes occurring during the operation of the plant, whose main reason for micro-organisms are in the air. Discuss the rationale of monitoring parameters of outside air entering the room to the outside air of appropriate quality and maintaining its chemical composition in appropriate proportions. Shows the negative effects of improper use of living spaces where people stay and how to prevent them. The results of laboratory tests are presented using graphs and compared their levels of limit values.

Keywords: microclimate, ventilation, air quality, air pollution

Przesłano do redakcji: 22.12.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.

Informacje dodatkowe

1. Lista recenzentów współpracujących będzie opublikowana w czwartym numerze *Czasopisma Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*: 64(4/17) oraz na stronie internetowej:
www.oficyna.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/czasopismo-inzynierii-ladowej-s/
(dotychczasowa nazwa: *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska*), strona internetowa:
www.oficyna.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/budownictwo-i/
2. Zasady recenzowania są udostępnione na stronie internetowej:
www.oficyna.prz.edu.pl/zasady-recenzowania/
3. Informacje dla autorów artykułów są udostępnione na stronie internetowej:
[oficyna.prz.edu.pl/informacje-dla-autorów/](http://oficyna.prz.edu.pl/informacje-dla-autorow/)
4. Formularz recenzji jest udostępniony na stronie internetowej:
www.oficyna.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/czasopismo-inzynierii-ladowej-s/
5. Instrukcja dla autorów omawiająca szczegółowo strukturę artykułu, jego układ, sposób przygotowywania materiału ilustracyjnego i piśmiennictwa jest zamieszczona na stronie internetowej:
[www.oficyna.prz.edu.pl/pl/instrukcja-dla-autorów/](http://www.oficyna.prz.edu.pl/pl/instrukcja-dla-autorow/)
oraz
www.oficyna.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/czasopismo-inzynierii-ladowej-s/ w zakładce „Instrukcja dla autorów”
6. Dane kontaktowe do redakcji czasopisma, adresy pocztowe i e-mail do przesyłania artykułów oraz dane kontaktowe do wydawcy są podane na stronie internetowej (Komitet Redakcyjny):
www.oficyna.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/czasopismo-inzynierii-ladowej-s/

Zasady recenzowania, informacje dla autorów, formularz recenzji, instrukcja dla autorów i dane kontaktowe do redakcji czasopisma i wydawcy będą również opublikowane w czwartym numerze *Czasopisma Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*, z. 64 (4/II/2017).

Ark. wyd. 40,18. Ark. druk. 35,50.

Oddano do druku w grudniu 2017 r. Wydrukowano w marcu 2018 r.

Zakład Poligrafii Politechniki Rzeszowskiej, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów
Zam. nr 59/18

CZASOPISMO INŻYNIERII LĄDOWEJ, ŚRODOWISKA I ARCHITEKTURY
JCEEA

Recenzenci współpracujący – 2017

ADAMCZYK Jerzy	DRYGAŁA Izabela
ADAMCZYK Zdzisław	DUBIŃSKI Józef
AJDUKIEWICZ Andrzej	DUCHAN David (Czechy)
ANDRUSIKIEWICZ Waclaw	DUDA Michał
BACŃ Zbigniew	DUDZIŃSKA-JARMOLIŃSKA Agnieszka
BAGIŃSKI Eugeniusz	DULIŃSKA Joanna
BAJDA Tomasz	DUŻY Stanisław
BAKALARCZYK Jerzy	FIC Stanisław
BALCERZAK Wojciech	FIEDUCIK Jolanta
BALINTOVÁ Magdalena (Słowacja)	FITTA-SPELINA Agnieszka
BARBUSIŃSKI Krzysztof	FITTA-SPELINA Agnieszka
BARTMAN Jacek	FLORKOWSKA Lucyna
BASZEŃ Michał	FRĄCZEK Janusz
BAZARNIK Mirosława	FURTAK Marcin
BAK Grzegorz	GACZOL Tomasz
BEZUSYAK Olexander (Ukraina)	GAJDEK Agata
BĘTKOWSKI Piotr	GARBALIŃSKA Halina
BIALIK Wojciech	GARGULA Tadeusz
BIAŁEK Jan	GAWIN Dariusz
BIEGUS Antoni	GIERGICZNY Zbigniew
BIENIASZ Józef	GIL Stanisław
BIEŃ Jan	GIŻEJOWSKI Marian
BIZON-GÓRECKA Jadwiga	ĞŁADYSZEWSKA-FIEDORUK Katarzyna
BLASCHKE Wiesław	GNIDEC Bohdan (Ukraina)
BOHATKIEWICZ Janusz	GOSK Wojciech
BRONIEWICZ Mirosław	GOSZTYŁA Marek
BRYJA Danuta	GRABARCZYK Sławomir
BRYT-NITARSKA Izabela	GROMYSZ Krzysztof
BUDA-OŻÓG Lidia	GRUCHOT Andrzej
BUJARKIEWICZ Adam	GRUDZIŃSKA Magdalena
BULSKA Ewa	GRYGIEREK Marcin
BYKOV Valentin (Ukraina)	GRYGO Robert
BYLYK Artem (Ukraina)	GUMEN Olena (Ukraina)
BZOWSKA Dorota	GUMUŁA Stanisław
CAUNER Peter (Słowacja)	GURANOWSKA-GRUSZECKA Krystyna
CHALAMOŃSKI Mariusz	GWIZDAŁA Kazimierz
CHERNIUK V. Volodymyr (Ukraina)	HALICKA Anna
CHLUDZIŃSKI Daniel	HEJMANOWSKI Ryszard
CHMIEŁOWSKI Krzysztof	HLAVÍNEK Petr (Czechy)
CHOLEWICKI Andrzej	IWAŃSKI Marek
CHOROWSKA Małgorzata	IZDEBSKI Waldemar
CIĄK Marek	JABŁOŃSKA-KRYSIEWICZ Agnieszka
CIUREJ Henryk	JABŁOŃSKI Krzysztof
CZEKALSKI Dariusz	JABŁOŃSKI Marek
CZEMPLIK Andrzej	JANICKA Joanna
DACKO Oleksandra (Ukraina)	JANKOWSKA-SANDBERG Joanna
DAWIDOWICZ Karol	JANKOWSKI Robert
D'OBRYRN Kajetan	JASICZAK Józef
DOLIPSKI Marian	JERGUS Martin (Słowacja)
DOSKOCZ Adam	JEŻOWIECKI Janusz
DREWNIĄK Józef	JĘDRZEJUK Hanna

JUSZCZYK Michał
KABSCH-KORBUTOWICZ Małgorzata
KADAJ Roman
KADELA Marta
KAMIENIARZ Marek
KANDEFER Stanisław
KAPALO Peter (Ukraina)
KASZOWSKA Olga
KATUNSKÝ Dušan (Słowacja)
KAWECKI Janusz
KAWULOK Marian
KAZIMIEROWICZ-FRANKOWSKA Krystyna
KHLAPUK Mykola (Ukraina)
KISILEWICZ Tomasz
KLEDYŃSKI Zbigniew
KLEMM Katarzyna
KLYMENKO Leonid (Ukraina)
KŁOSEK Kazimierz
KOCZYK Halina
KOGUT Janusz
KOHUT Piotr
KOŁODZIEJCZYK Urszula
KONCA Piotr
KONDERLA Piotr
KORNIICHUK Volodymir (Ukraina)
KORZENIOWSKI Piotr
KOTIV Roman (Ukraina)
KOVTURN Igor (Ukraina)
KOWALEWSKI Zbigniew
KOWALSKA-KOCZWARA Alicja
KOZŁOWSKI Aleksander
KRAUSE Paweł
KREJA Ireneusz
KROPYVNYTSKA Tetyana (Ukraina)
KRÓLIKOWSKA Jadwiga
KRUPA Michał
KRYZIA Katarzyna
KSIĄŻEK Marek
KUSIONOWICZ Teresa
KUŚNIERZ Kazimierz
KUŚNIERZ-KRUPA Dominika
KUŹNIAR Krystyna
KWINTA Andrzej
KYZIOŁ-KOMOSIŃSKA Joanna
LACH Joanna
LANGER Jerzy
LECHOWICZ Zbigniew
LEŃ Przemysław
LEŚNIAK Andrzej
LEVCENKO Oleg (Ukraina)
LEWANDOWSKI Roman
LICHOLAŁ Lech
LORENS Piotr
LUDWIG Bogna
LUPTAKOVA Alena (Słowacja)
ŁAKOMY Katarzyna
MACHELSKI Czesław
MACHOWSKA Dorota
MAJCHERCZYK Tadeusz
MAJCHRZAK Ewa
MAJEWSKA-NOWAK Katarzyna
MAŁACHOWICZ Anna
MAŁACHOWICZ Maciej
MAŁACHOWSKI Jerzy
MAŁKOWSKI Piotr
MANTERYS Tomasz
MARCINKOWSKI Robert
MARECKI Andrzej
MAŚLAK Mariusz
MATYSZKIEWICZ Jacek
MAZUR Rafał
MICHALSKA Grażyna
MIECZKOWSKI Paweł
MIEDZIAŁOWSKI Czesław
MIKA Wiesław
MIKRUT Sławomir
MILLER Bartosz
MIREK Adam
MOTYKA Zbigniew
MROZIŃSKI Adam
MRÓWCZYŃSKA Maria
MUTKE Grzegorz
MYŚLIBORSKI Vladimir (Ukraina)
NIEDBALSKI Zbigniew
NIEDOSTATKIEWICZ Maciej
NIEMCZYK Ernest
NIEMIEC Tomasz
NITYCHORUK Jerzy
NOCH Tadeusz
NOWAK Henryk
NOWOŚWIAT Artur
OBSTAWSKI Paweł
OKOŃSKI Ryszard
OLENIACZ Grzegorz
OMELCHUK Oksana (Ukraina)
ONDREJKA HARBULÁKOVÁ Vlasta (Słowacja)
ORCHOWSKA Anita
ORLIK-KOZDÓN Bożena
ORUBA Rajmund
OSIŃSKA-SKOTAK Urszula
OSTACHOWICZ Wiesław
PACHLA Filip
PACHUTA Andrzej
PARSZENKO Konstancin (Ukraina)
PAWLAK Zdzisław
PAWLICKI Bonawentura Maciej
PAWLICKI Maciej
PILECKA Elżbieta
PILECKI Zenon
PLATKO Peter (Słowacja)
PLEWA Franciszek
PNIEWSKI Andrzej
PODHORECKI Adam
POPIOLEK Edward
PREWEDA Edward
PRUSEK Stanisław
PYRA Józef
RADOMSKI Wojciech

RIABENKO Oleksandr (Ukraina)	TAJDUŚ Krzysztof
ROMANISZYNA Olga (Ukraina)	TATARA Tadeusz
RÓŻOWICZ Sebastian	TERLIKOWSKI Wojciech
RUCKA Magdalena	TOLŁOCZKO Zdzisława
RUNKIEWICZ Leonard	TOMASZEK Tomasz
RUSNAK Marta	TRACZEWSKA Teodora M.
RUSZAJ Adam	TYLIKOWSKI Andrzej
RYBACKI Piotr	UHL Tadeusz
RYBKA Adam	ULEWICZ Małgorzata
SABINIAK Henryk	URBAN Viktor (Słowacja)
SADOWSKA Beata	URBAŃSKA-GALEWSKA Elżbieta
SALAMAK Marek	URBAŃSKI Aleksander
SANECKI Józef	VENHRYN Iryna (Ukraina)
SELEJDAK Jacek	VOVK Oksana (Ukraina)
SHAPOVAL Stepan (Ukraina)	VRANAYOVÁ Zuzana (Słowacja)
SIČÁKOVÁ Alena (Słowacja)	WALASZCZYK Jan
SIEDLECKI Bogdan	WESOŁOWSKI Łukasz
SIKORA Anna	WICHLIŃSKI Michał
SIUTA-OLCHA Alicja	WIECZOROWSKI Michał
SIWOWSKI Tomasz	WILK-SŁOMKA Beata
SKOWROŃSKI Wojciech	WINZER Jan
SKRZYPCZAK Izabela	WIŚNIEWSKI Tomasz
SŁOŃSKI Marek	WIŚNIEWSKI Rafał
SŁOWIK Marta	WŁODARCZYK Barbara
SOKOŁOWSKA Monika	WŁODARCZYK-MAKUŁA Maria
SOLTYŚ Anna	WODYŃSKI Aleksander
SPODYNIUK Nadiia (Ukraina)	WOLIŃSKI Szczepan
SROKA Antoni	WOLNY Stanisław
STADNICKI Jacek	WÓJCIK Robert
STADNYK Bohdan (Ukraina)	WRANA Bogumił
STANISZ Katarzyna	WYCZALEK Ireneusz
STARAKIEWICZ Aleksander	WYSOKOWSKI Adam
STEC Krystyna	WYSZOMIRSKI Olgierd
STEIDL Tomasz	YASINSKA Liubov (Ukraina)
STOLARSKA (SIWIŃSKA) Agata	ZACHWIEJA Janusz
STRZAŁKOWSKI Piotr	ZALEWSKI Wojciech
STYSZKO Leszek	ZAPOROZHETS Aleksandr (Ukraina)
SUCHORZEWSKI Wojciech	ZARZYCKI Robert
ŠVAJLENKA Jozef (Słowacja)	ZELEŇÁKOVÁ Martina (Słowacja)
SZARATA Andrzej	ZEMBATY Zbigniew
SZERMER-ZAUCHA Renata	ZHELYKH Vasyl (Ukraina)
SZLENDAK Jerzy K.	ZHELYKH Volodymyr (Ukraina)
SZWEDA Stanisław	ZIEMIAŃSKI Leonard
SZYMANOWSKA-GWIŹDŹ Agnieszka	ZIÓŁKOWSKI Robert
ŚCIGAŁA Roman	ZOBEL Henryk
ŚCIUBIDŁO Aleksandra	ŻABA Antonina
ŚWIĘTOŃ Tomasz	ŻUKOWSKA Joanna

Afiliacja recenzentów (poza danymi podanymi w nawiasach):

Polska Lista recenzentów jest zamieszczona na stronie internetowej
Czasopisma Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, z. 64(4/II/17):
www.oficyna.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/czasopismo-inzynierii-ladowej-s/

Zasady recenzowania artykułów naukowych w Zeszytach Naukowych Politechniki Rzeszowskiej

Procedura recenzowania artykułów naukowych w Zeszytach Naukowych Politechniki Rzeszowskiej jest zgodna z zaleceniami MNiSzW opracowanymi w formie broszury „Dobre praktyki w procedurach recenzyjnych w nauce”, Warszawa 2011 r.

1. Do oceny każdego artykułu redaktorzy tematyczni (naukowi) powołują dwóch niezależnych recenzentów spoza jednostki naukowej afiliowanej przez autora artykułu.
2. W przypadku artykułów napisanych w językach obcych, co najmniej jeden z recenzentów jest afiliowany w instytucji zagranicznej innej niż narodowość autora artykułu.
3. Redaktorzy tematyczni (naukowi) dobierają recenzentów najbardziej kompetentnych w danej dziedzinie.
4. Między recenzentami i autorami artykułów nie występuje konflikt interesów; w razie potrzeby recenzent podpisuje deklarację o niewystępowaniu konfliktu interesów.
5. Procedura recenzowania przebiega z zachowaniem zasad poufności – recenzenci i autorzy nie znają swoich tożsamości (double-blind review process).
6. Każda recenzja ma formę pisemną i kończy się wnioskiem o dopuszczenie lub odrzucenie artykułu do publikacji.
7. Nie są przyjmowane recenzje niespełniające merytorycznych i formalnych wymagań.
8. Wstępnie zakwalifikowany przez redaktora naczelnego do wydania artykuł zostaje wysłany do recenzentów, którzy wypowiadają się na temat jego przyjęcia lub odrzucenia. Recenzenci mają prawo do powtórnej weryfikacji poprawionego tekstu.
9. W przypadkach spornych powoływani są dodatkowi recenzenci.
10. Uwagi recenzentów są przekazywane autorowi, który ma obowiązek poprawienia tekstu.
11. Ostateczną decyzję o zakwalifikowaniu lub odrzuceniu artykułu podejmuje redaktor naczelny czasopisma, zasięgając opinii członków Komitetu Redakcyjnego.
12. Kryteria kwalifikowania lub odrzucenia artykułu są zawarte w formularzu recenzji.
13. Formularz recenzji znajduje się na stronie internetowej Zeszytów Naukowych.
14. Nazwiska recenzentów współpracujących będą podawane raz w roku – w ostatnim numerze czasopisma, a także opublikowane na stronie internetowej czasopisma (nazwiska recenzentów poszczególnych publikacji lub numerów wydań czasopisma nie są ujawnione).
15. Szczegółowe informacje nt. recenzowania artykułów oraz przebiegu prac w redakcji czasopisma i Oficynie Wydawniczej są opisane w wytycznych dla autorów artykułów naukowych.

**Informacje dla autorów artykułów naukowych publikowanych
w Zeszytach Naukowych Politechniki Rzeszowskiej
zjawiska *ghostwriting* i *guest authorship***

Aby przeciwdziałać nierzetelności w nauce (*ghostwriting*, *guest authorship*), redakcje Zeszytów Naukowych Politechniki Rzeszowskiej prowadzą odpowiednie procedury charakterystyczne dla reprezentowanych dziedzin nauki i na bieżąco wdrażają podane rozwiązania:

1. Redakcja wymaga podania wkładu poszczególnych autorów w powstanie artykułu (z podaniem ich afiliacji i informacji, kto jest autorem koncepcji, założeń, badań itd.); główną odpowiedzialność ponosi autor zgłaszający artykuł.
2. Redakcja wyjaśnia autorom pojęcia *ghostwriting* i *guest authorship*, które są przejawem nierzetelności naukowej, a wszelkie wykryte przypadki tego typu działań ze strony autorów będą demaskowane, włącznie z powiadomieniem odpowiednich podmiotów (instytucje zatrudniające autorów, towarzystwa naukowe itp.).
3. Redakcja uzyskuje informacje o źródłach finansowania publikacji, wkładzie instytucji naukowo-badawczych i innych podmiotów (*financial disclosure*).
4. Redakcja będzie dokumentować wszelkie przejawy nierzetelności naukowej, zwłaszcza łamanie zasad etyki obowiązujących w nauce.

Z *ghostwriting* mamy do czynienia wówczas, gdy ktoś wniósł istotny wkład w powstanie artykułu, lecz ani jego udział jako jednego z autorów nie został ujawniony, ani nie wymieniono go w podziękowaniach zamieszczonych w publikacji.

Z *guest authorship* mamy do czynienia wówczas, gdy udział autora jest znikomy lub w ogóle nie miał miejsca, a jego nazwisko jest podane jako autora lub współautora.

Review Sheet / Blankiet recenzji

Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, JCEEA
Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture

Title / Tytuł:

A Please respond to the following questions

Prosimy o odpowiedzi na następujące pytania

	Yes Tak	No Nie	See comments Zobacz uwagi	
1. Is this a new and original contribution to the literature in this field? Czy jest to oryginalne opracowanie wśród publikacji z tego zakresu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2. Is the organization of the paper satisfactory? Czy układ opracowania jest zadowalający?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3. Is the length of the paper appropriate to the content? Czy objętość opracowania jest adekwatna do jego treści?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4. Is the language and presentation clear to readers familiar with the field? Czy język oraz sposób przedstawienia wyników jest jasny dla czytelnika?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5. Do the notation and nomenclature used meet the standards determined in the area which the paper deals with? Czy oznaczenia oraz terminologia odpowiadają standardom z określonej dyscypliny nauki?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6. Do the interpretation of the results and conclusions sound logical and justifiable in your opinion? Czy według Pani(a) opinii interpretacja wyników oraz wnioski są logiczne i uzasadnione?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7. Does the abstract contain sufficient and useful information? Czy streszczenie zawiera wystarczające oraz użyteczne informacje?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8. Does the title of the paper reflect sufficiently and clearly the content? Czy tytuł artykułu jest jasny i odpowiada jego treści?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9. Are the illustrations and tables all necessary and acceptable? Czy rysunki i tabele są potrzebne oraz odpowiednie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10. Final recommendation (to publishing purpose): paper Wniosek końcowy (rekomendacja do celów wydawniczych): praca	accepted przyjęta	accepted with minor changes przyjęta z małymi zmianami	accepted with major changes ¹ przyjęta z dużymi zmianami ¹	rejected ² odrzucona ²
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

verte

B Confidential/Poufne

Name and Surname/Imię i Nazwisko:

Address/Adres

.....
podpis / signature

¹ repeated review required / wymaga ponownej opinii Recenzenta

² write justification please / proszę uzasadnić

**C List here your detailed comments to support the responses you gave above.
Szczegółowy komentarz do udzielonych powyżej odpowiedzi.**

Instrukcja dla autorów artykułów naukowych publikowanych w Oficynie Wydawniczej Politechniki Rzeszowskiej

Dane podstawowe

1. Pole zadruku: 12,5 x 19 cm + 1 cm na numery stron
2. Marginesy: górny – 5,20 cm, dolny – 5,20 cm, lewy – 4,25 cm, prawy – 4,25 cm
3. Czcionka: Times New Roman 11 pkt
4. Edytor: Microsoft Word
5. Zapis tekstu: obustronnie wyjustowany, interlinia pojedyncza, wcięcie pierwszego wiersza 0,75 cm, nie należy zostawiać pustych wierszy między akapitami
6. Wszystkie kolumny artykułu powinny być w całości wypełnione; pierwsza strona nietypowa – zawiera nagłówek, nazwisko Autora (Autorów), tytuł artykułu, streszczenie i początek artykułu, kolejne strony zawierają dalszą część artykułu, w tym tabele (tablice), rysunki (ilustracje, fotografie, wykresy, schematy, mapy), literaturę i streszczenie
7. Należy wprowadzić automatyczne dzielenie wyrazów

Dane szczegółowe (układ artykułu)

1. Na pierwszej stronie (nieparzystej) należy umieścić nagłówek (do pobrania): 10 pkt, pismo grube
2. Na kolejnych stronach artykułu u góry należy umieścić paginę żywą: strona parzysta – numer strony do lewego marginesu, pismo podrzędne 10 pkt, inicjał imienia i nazwisko Autora (Autorów) do prawego marginesu, pismo podrzędne 10 pkt; strona nieparzysta – tytuł artykułu lub (w przypadku dłuższego tytułu) jego logiczny początek zakończony wielokropkiem, pismo podrzędne 10 pkt
3. W dalszym ciągu na pierwszej stronie należy umieścić pismem grubym (odstęp przed 42 pkt): imię (pismo podrzędne 10 pkt), nazwisko (wersaliki 10 pkt) Autora (Autorów)
4. Tytuł artykułu – wersaliki 15 pkt, pismo grube, do lewego marginesu (nie należy dzielić wyrazów w tytule), interlinia pojedyncza, odstęp przed 24 pkt, odstęp po 18 pkt
5. Streszczenie (w języku artykułu) – 200-250 słów, pismo podrzędne 9 pkt, wcięcie całości z lewej strony 2 cm, bez akapitu, interlinia pojedyncza, odstęp po 12 pkt
6. Słowa kluczowe – pismo podrzędne 9 pkt, bez akapitu, interlinia pojedyncza, odstęp po 24 pkt
7. Imię i nazwisko Autora do korespondencji oraz pozostałych Autorów, afiliacja, adresy pocztowe, numery telefonów, e-maile – na dole pierwszej strony, pod kreską, pismo podrzędne 9 pkt z odpowiednimi odnośnikami, odstęp przed 2 pkt
8. Śródtytuł 1. stopnia – pismo podrzędne 13 pkt, grube, do lewego marginesu, interlinia pojedyncza, odstęp przed 14 pkt, odstęp po 9 pkt
9. Tekst artykułu, a w nim tabele (tablice), materiał ilustracyjny, wzory oraz śródtytuły niższego stopnia

10. Śródtytuł 2. stopnia – pismo podrzędne 11,5 pkt, grube, do lewego marginesu, interlinia pojedyncza, odstęp przed 10 pkt, odstęp po 8 pkt
11. Śródtytuł 3. stopnia – pismo podrzędne 11 pkt, do lewego marginesu, interlinia pojedyncza, odstęp przed 8 pkt, odstęp po 6 pkt
12. Nagłówek Literatura – pismo podrzędne 11,5 pkt, grube, do lewego marginesu, odstęp przed 12 pkt, odstęp po 8 pkt
13. Spis literatury cytowanej – pismo podrzędne 10 pkt, interlinia pojedyncza, nie należy zostawiać pustych wierszy między pozycjami literatury, odstęp po 2 pkt
14. Tytuł artykułu w języku angielskim (lub polskim) – wersaliki 11 pkt, pismo grube, do lewego marginesu, interlinia pojedyncza, odstęp przed 20 pkt, odstęp po 12 pkt
15. Nagłówek Summary (lub Streszczenie) – pismo podrzędne 9 pkt, grube, odstępy między znakami rozstrzelone co 2 pkt, odstęp po 6 pkt
16. Streszczenie w języku angielskim (lub polskim) – 200-250 słów, pismo podrzędne 9 pkt, wcięcie pierwszego wiersza 0,75 cm, interlinia pojedyncza, odstęp po 12 pkt
17. Słowa kluczowe – pismo podrzędne 9 pkt, bez akapitu, interlinia pojedyncza
18. Numer identyfikacyjny DOI – pismo podrzędne 9 pkt, bez akapitu
19. Terminy przesłania artykułu do redakcji i przyjęcia do druku – pismo podrzędne 9 pkt, kursywa, bez akapitu, interlinia pojedyncza

Rozmieszczenie rysunków (ilustracji, fotografii, map, wykresów, schematów)

1. Materiał ilustracyjny należy umieszczać możliwie jak najbliżej miejsca jego powołania
2. Nie należy przekraczać pola zadruku (12,5 x 19 cm), w którym musi się zmieścić i materiał ilustracyjny, i podpis
3. Większe rysunki (i inny materiał ilustracyjny) wraz z podpisem powinny zajmować całe pole zadruku, mniejsze zaś należy przesunąć odpowiednio – do lewego marginesu (na stronach parzystych), do prawego marginesu (na stronach nieparzystych)
4. Podpis w dwóch językach: w języku artykułu i w języku angielskim, należy umieścić pod rysunkiem (i innym materiałem ilustracyjnym), w jego ramach, bez kropki na końcu (jeśli jest to materiał zapożyczony, należy podać źródło), pismo podrzędne 9 pkt
5. Odstęp między materiałem ilustracyjnym a podpisem – 9 pkt, interlinia pojedyncza, odstęp między podpisami 4 pkt, odstęp po 14 pkt
6. Opis słowny na rysunkach należy ograniczyć do minimum, zastępując go liczbami arabskimi, a objaśnienia przenieść do podpisu
7. Materiał ilustracyjny powinien mieć dobrą jakość, należy ujednoczyć formę i opisy w całym artykule (pismo podrzędne proste, od małej litery, maks. 9, min. 6 pkt w zależności od wielkości rysunku)
8. Materiał ilustracyjny należy ponumerować kolejno w ramach artykułu
9. Jeżeli w artykule występują różne rodzaje materiału ilustracyjnego, każdemu z nich należy nadać odrębną, ciągłą numerację

10. Materiał ilustracyjny należy przygotować w odcieniach czarno-szarych (do 20% czerni), ponieważ przy wydruku czarno-białym kolorowe rysunki są słabo lub całkowicie niereprodukowalne
11. Rysunki do druku kolorowego (za zgodą redaktora naczelnego czasopisma) należy przygotować w plikach .tif, .jpg

Rozmieszczenie tabel (tablic)

Tabela – zestawienie tekstów i liczb bądź samych liczb uszeregowanych w kolumny i wiersze

Tablica – zestawienie tekstów i liczb wzbogacone dodatkowo elementami graficznymi lub kolorystycznymi (niekiedy stanowią je tylko ilustracje)

1. Tabele (tablice) należy umieszczać możliwie jak najbliżej miejsca ich powołania
2. Nie należy przekraczać pola zadruku (12,5 x 19 cm)
3. Większe tabele (tablice) włącznie z tytułem zajmują całe pole zadruku, mniejsze zaś należy przesunąć odpowiednio – do lewego marginesu (na stronach parzystych), do prawego marginesu (na stronach nieparzystych)
4. Nad tabelą (tablicą) należy umieścić tytuł w dwóch językach: w języku artykułu i w języku angielskim. Tytuł rozpoczyna się całym słowem tabela (tablica)/table i umieszcza nad nią, w jej ramach, bez kropki na końcu; pismo podrzędne 9 pkt, interlinia pojedyncza; jeżeli tabela (tablica) jest zapożyczona, należy podać źródło
5. Odstęp przed tytułem tabeli (tablicy) 12 pkt, odstęp między tytułami 4 pkt, odstęp między tytułem a tabelą (tablicą) 8 pkt
6. Legenda po tabeli (tablicy) – odstęp od tabeli (tablicy) 6 pkt, interlinia pojedyncza, odstęp po 14 pkt
7. Teksty w główce tabeli (tablicy), tj. w górnej, wydzielonej części tabeli (tablicy), objaśniające treść kolumn zapisuje się pismem grubym, rozpoczynając od dużej litery, teksty w boczku tabeli, tj. w bocznej, wydzielonej części tabeli, objaśniające treść wierszy rozpoczyna się dużymi literami – teksty w pozostałych rubrykach składa się małymi literami
8. Tabele (tablice) należy numerować kolejno w ramach artykułu. W przypadku występowania i tabel, i tablic należy nadać im odrębną, ciągłą numerację
9. Jeżeli tabela (tablica) nie mieści się w jednym polu zadruku, można ją podzielić i przenieść na następną stronę czy strony – wówczas nad wszystkimi częściami tabeli (tablicy) należy powtórzyć jej numer i tytuł, ze skrótem (cd.)
12. Tabele (tablice) należy przygotować w odcieniach czarno-szarych (do 20% czerni), ponieważ przy wydruku czarno-białym kolorowe tabele (tablice) są słabo lub całkowicie niereprodukowalne
13. Tabele (tablice) do druku kolorowego (za zgodą redaktora naczelnego czasopisma) należy przygotować w plikach .tif, .jpg

Rozmieszczenie wzorów

1. Wzory należy umieszczać z lewej strony, z wcięciem 0,75 cm, pismo proste 11 pkt, wartości indeksów i potęg 7 pkt
2. Numery wzorów należy umieszczać w nawiasach okrągłych, wyrównując do prawego marginesu, pismo proste 11 pkt
3. Wzory powinny być opatrzone objaśnieniem występujących w nich elementów
4. Wzory, do których są odniesienia w tekście, należy numerować kolejno w ramach artykułu
5. Dłuższe wzory można dzielić na znakach relacji lub działania – znak, na którym się przenosi wzór, należy pozostawić na końcu pierwszego wiersza
6. Przed wzorem i po nim należy zachować odstęp 10 pkt

Rozmieszczenie pisu literatury

1. Spis literatury umieszcza się za treścią artykułu, w kolejności alfabetycznej nazwisk autorów
2. Powołania na literaturę należy zapisywać w tekście w nawiasie kwadratowym
3. W spisie literatury należy umieścić wyłącznie te publikacje, które są powoływane w tekście

PRZYKŁADY:

Książki

Lewandowski W.M.: Proekologiczne źródła energii odnawialnej, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2002.

Czasopisma

Pietrucha K.: Analiza czasu odnowy i naprawy podsystemu dystrybucji wody dla miasta Rzeszowa, Instal, nr 10, 2008, s. 113-115.

Dokumenty elektroniczne

Zanotti G., Guerra C.: Is tensegrity a unifying concept of protein folds? FEBS Letters, vol. 534, no. 1-3, 2003, pp. 7-10, <http://www.sciencedirect.com> [dostęp: 8 czerwca 2011 r.].

Rozmieszczenie streszczenia

1. Po literaturze umieszcza się tytuł artykułu, nagłówek Summary i streszczenie w języku angielskim
2. Gdy artykuł jest w języku angielskim, na początku należy umieścić streszczenie w języku angielskim, a na końcu w języku polskim
3. Gdy artykuł jest w innym języku kongresowym, na początku należy umieścić streszczenie w języku artykułu, a na końcu w języku angielskim
4. Po streszczeniu umieszcza się słowa kluczowe w tym samym języku co streszczenie

Rozmieszczenie numeru identyfikacyjnego i informacji dodatkowych

1. Po słowach kluczowych należy umieścić numer identyfikacyjny DOI
2. Pod numerem identyfikacyjnym zamieszcza się terminy przesłania artykułu do redakcji i przyjęcia do druku

Inne uwagi

1. W artykule można stosować wyliczenia – elementy wyliczeń należy oznaczać w całym artykule w sposób jednolity, np. za pomocą cyfr arabskich z kropką lub małych liter z nawiasem
2. W artykule należy stosować ogólnie przyjęte skróty, ale zdanie nie może się zaczynać od skrótu – należy go wówczas rozwinąć lub przeredagować zdanie
3. W artykułach każdy cytat musi być opatrzony informacją bibliograficzną (w formie przypisu na dole strony lub odwołania do spisu literatury)
4. Przypisy (pismo podrzędne 9 pkt) należy zapisywać w sposób jednolity w całym artykule, opatrując je odnośnikami gwiazdkowymi (gdy jest ich niewiele) lub liczbowymi, przyjmując ciągłą numerację w całym artykule i umieszczając każdy przypis od nowego akapitu

PRZYKŁADY:

- ¹ M. Hereźniak, *Kreowanie marki narodowej – rola idei przewodniej na przykładzie projektu „Marka dla Polski”*, [w:] H. Szulce, M. Florek, *Marketing terytorialny – możliwości aplikacji, kierunki rozwoju*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań 2005, s. 344-345.
 - ² L. Witek, *Wpływ ekologicznych funkcji opakowań na postawy rynkowe konsumentów*, *Opakowanie*, nr 5, 2006, s. 12-17.
 - ³ J. Strojny, *Zmiany gospodarcze i społeczne w integrującej się Europie*, *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej*, nr 225, *Zarządzanie i Marketing*, z. 5, 2006, s. 45-50.
5. Nie należy pozostawiać na końcu wiersza tytułów znajdujących się przed nazwiskiem, inicjału imienia, spójników, cyfr arabskich i rzymskich
 6. Należy stosować wyłącznie legalne jednostki miar

Zachęcamy Autorów do zapoznania się z archiwum artykułów naukowych zawartych w Zeszytach Naukowych Politechniki Rzeszowskiej oraz do wykorzystania ich w bibliografii swojego artykułu.

dotychczasowa nazwa (do 2012 r.):

czasopismo *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska*

(p-ISSN 0209-2646)

zmiana nazwy (od 2013 r.) na:

Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, JCEEA

(p-ISSN 2300-5130), (e-ISSN 2300-8903)

Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture

KOMITET REDAKCYJNY

Dane kontaktowe do redakcji:

Redaktor naczelny

dr hab. inż. Piotr KOSZELNIK, prof. PRz

Politechnika Rzeszowska

Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury

Zakład Inżynierii i Chemii Środowiska

Powstańców Warszawy 6

35-959 Rzeszów

e-mail: pkoszel@prz.edu.pl

tel. +48 17 865 1065, +48 17 865 1788

Osoby do kontaktu/adresy e-mail do przesyłania artykułów:

Redaktor tematyczny – naukowy (architektura)

dr hab. inż. Marek GOSZTYŁA, prof. PRz

Zakład Konserwacji Zabytków

e-mail: gosztyla@prz.edu.pl

tel. +48 17 865 1939

Redaktor tematyczny – naukowy (budownictwo)

dr hab. inż. Bartosz MILLER, prof. PRz

Zakład Mechaniki Konstrukcji

e-mail: bartosz.miller@prz.edu.pl

tel. +48 17 865 1623

Redaktor tematyczny – naukowy (inżynieria i ochrona środowiska)

prof. dr hab. inż. Janusz RAK

Zakład Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków

e-mail: rakjan@prz.edu.pl

tel. +48 17 865 1408

Redaktor statystyczny

dr hab. inż. Szczepan WOLIŃSKI, prof. PRz
e-mail: szwolkkb@prz.edu.pl
tel. +48 17 854 1937

Sekretarz redakcji

dr inż. Katarzyna PIETRUCHA-URBANIK
e-mail: kpiet@prz.edu.pl
tel. +48 17 865 1703

Członkowie

dr hab. inż. Renata GRUCA-ROKOSZ, prof. PRz
e-mail: renatagr@prz.edu.pl
tel. +48 17 865 1278

dr inż. Michał JUREK
e-mail: mjurek@prz.edu.pl
tel. +48 17 865 1713

dr inż. arch. Anna SIKORA
e-mail: sikora@prz.edu.pl
tel. +48 17 865 1049

mgr inż. Artur SZALACHA
e-mail: artusza@prz.edu.pl
tel. +48 17 865 1025

Adres pocztowy i afiliacja Komitetu Redakcyjnego

Politechnika Rzeszowska
Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury
Powstańców Warszawy 6
35-959 Rzeszów, Polska

Informacje dla autorów:

<http://www.oficyna.portal.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/budownictwo-i/>

Dane kontaktowe do wydawcy:

Kierownik Oficyny Wydawniczej
mgr inż. Joanna BIENIASZ
Politechnika Rzeszowska
Powstańców Warszawy 12
35-959 Rzeszów
e-mail: jbie@prz.edu.pl
tel. +48 17 865 1195