

JCEEA

Czasopismo
Inżynierii Lądowej,
Środowiska
i Architektury

Journal of Civil
Engineering,
Environment
and Architecture

Kwartalnik
tom XXXIII
zeszyt 63 (nr 2/1/2016)
kwiecień-czerwiec

(e-ISSN 2300-8903)

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

Wydano za zgodą Rektora

R e d a k t o r n a c z e l n y
Wydawnictw Politechniki Rzeszowskiej
prof. dr hab. inż. Leonard ZIEMIAŃSKI

R a d a N a u k o w a
prof. Mohamed Eid (Francja), prof. David Valis (Czechy)
prof. Nadežda Številová (Słowacja)
prof. Antonio João Carvalho de Albuquerque (Portugalia)
prof. Volodymyr V. Cherniuk (Ukraina)
prof. João Antonio Saraiva Pires da Fonseca (Portugalia)
prof. Dušan Katunsky (Słowacja), prof. Vincent Kvočák (Słowacja)
prof. Zinoviy Blikharsky (Ukraina), prof. Tomasz Winnicki (Polska)
prof. Czesława Rosik-Dulewska (Polska), prof. Krzysztof Knapik (Polska)
prof. Janusz A. Tomaszek (Polska), prof. Jerzy Ziółko (Polska)
prof. Ryszard L. Kowalczyk (Polska), prof. Stanisław Kuś (Polska)

K o m i t e t R e d a k c y j n y
(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

P r z y g o t o w a n i e m a t r y c

Artur SZALACHA

p-ISSN 2300-5130

e-ISSN 2300-8903

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.portal.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/czasopismo-inzynierii-ladowej-s/ (e-mail: kpriet@prz.edu.pl)

Wydawca: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, www.oficyna.portal.prz.edu.pl (e-mail: oficyna1@prz.edu.pl)

Informacje dodatkowe i stopka – str. 487

SPIS TREŚCI

Mariusz BARSZCZ, Zbigniew BARTOSIK, Sylwester RUKŚĆ, Jakub BATORY: Obliczenie przepływów maksymalnych i ich redukcji w zlewni zurbanizowanej	7
January BIENIŃ, Tomasz KAMIZELA, Anna GROBELAK, Anna GROSSER, Zbigniew DYK, Daniel SZTUCHLIK, Małgorzata KACPRZAK: Właściwości fizyczno-chemiczne biomasy otrzymanej w nowej technologii przetwarzania osadów ściekowych „Bionor Sludge”	21
Krzysztof CHMIELEWSKI, Bernadeta RAJCHEL, Magdalena KARNAS: Analiza skuteczności działania oczyszczalni ścieków „Kujawy”	31
Marek GOSZTYŁA, Tomasz GOSZTYŁA: Współczesna architektura Rzeszowa w opiniach osób mieszkających i studiujących w Rzeszowie	43
Barbara HONICKA, Adam SIDOR: Kolonizacja instalacji ciepłej wody bakteriami Legionella sp. w szpitalach i obiektach użyteczności publicznej w świetle badań prowadzonych na terenie powiatu przemyskiego i miasta Przemyśla.....	57
Galina KALDA, Izabela MIĘTUS: Ochrona środowiska w turystyce na Podkarpaciu.....	65
Galina KALDA, Małgorzata WILK: Analiza zanieczyszczenia gleby zakładami przemysłowymi na Podkarpaciu	75
Kamil KRASUSKI: Wykorzystanie programu Trimble RTX-PP do wyznaczenia współrzędnych stacji referencyjnej	87
Anna KRUPICZ, Adam MASŁOŃ: Zmienność ładunków zanieczyszczeń dopływających do oczyszczalni ścieków w Stalowej Woli.....	101
Stanisław KRZAKLEWSKI: Synergia kubicznych form budynków z urządzeniami ciągnowymi	115

Sabina KSIĄŻEK, Małgorzata KIDA, Piotr KOSZELNIK: Benzotriazole – występowanie i trwałość w środowisku.....	121
Justyna KWAŚNY, Wojciech BALCERZAK, Piotr REZKA: Biogaz i charakterystyka wybranych metod jego odsiarczania.....	129
Edyta ŁASKAWIEC, Joanna WYCZARSKA-KOKOT, Mariusz DUDZIAK: Analiza jakości wody basenowej w obiegach o różnych rozwiązaniach układów filtracyjnych.....	143
Katarzyna MAJ, Piotr KOSZELNIK: Metody zagospodarowania osadów dennych.....	157
Michał MUSIAŁ, Marcin KACZMARZYK: Thermal Properties of Transparent Barrier Modified with Organic PCM's.....	171
Anna MUSZ-POMORSKA, Małgorzata IWANEK, Paweł SUCHORAB, Agnieszka BRODACZEWSKA: Analiza strat wody na przykładzie wybranego wodociągu grupowego.....	179
Katarzyna OLBIŃSKA: Synagoga – ukryte miejsce pamięci.....	191
Grzegorz PALKI, Leszek KULESZA: Propozycja układu do pomiaru temperatury wody wewnątrz akumulacyjnego podgrzewacza wody o zbyt małej pojemności ciepłej wody	201
Agnieszka PEKALA, Ewa GŁOWIENKA: Badania korelacji pierwiastków śladowych w środowisku glebowo – roślinnym przy zastosowaniu metod GIS	209
Katarzyna PIETRUCHA-URBANIK, Aneta BERNACKA: Analysis of Water Infrastructure Development - a Case Study of the Exemplary Water Supply System	221
Katarzyna PIETRUCHA-URBANIK, Adrian SZELIGOWSKI: Analysis of Water Consumption Changeability in the Exemplary Water System....	231
Andżelika PIETRZYK, Dorota PAPCIAK: Materia organiczna w wodach naturalnych – formy występowania i metody oznaczania	241
Robert PŁOSKONKA: Automatyzacja wybranych procesów aktualizacji i kalibracji modelu sieci wodociągowej przy zmiennych warunkach eksploatacyjnych.....	253

Danuta PROSZAK, Patrycja BARŁOWSKA: Pelet czy węgiel? Ekonomiczne aspekty wyboru paliwa do ogrzania budynku jednorodzinnego	267
Barbara PRUS, Tomasz SALATA, Krzysztof GAWROŃSKI: Zastosowanie metod GIS do oceny stopnia presji inwestycyjnej w zakresie działalności deweloperskiej na przykładzie strefy podmiejskiej Krakowa	277
Janusz R. RAK: Zasady określania przynależności do infrastruktury krytycznej	291
Piotr REZKA, Wojciech BALCERZAK, Justyna KWAŚNY: Sztuczne substancje słodzące – występowanie w środowisku	299
Tomasz SIWOWSKI, Mateusz RAJCHEL: Kształtowanie mostowych dźwigarów hybrydowych typu „kompozyt FRP – beton”	307
Magdalena SZPYTMA, Adam RYBKA: Ecological Ideas in Polish Architecture – Environmental Impact	321
Marek URBANIK: Assessment of Diversity of Polish Voivodships By Level of Gas Pipeline Infrastructure Development Using Multidimensional Comparative Analysis	329
Marek URBANIK: Consequences of Failure of Gas Network Infrastructure	337
Paweł WAJSS, Mariusz FILIPOWICZ, Wiktor WESOŁOWSKI: Koncentracja bezpośredniego promieniowania słonecznego w układach nadążnych z wykorzystaniem nieobrazujących elementów optycznych	349
Magdalena WARZYBOK: Synteza zeolitów do adsorpcji acetonu	359
Robert WIERZBICKI: Zastosowanie modelowania matematycznego w projektowaniu modernizacji systemów zaopatrzenia w wodę na przykładzie systemu wodociągowego gminy Zator (część II)	373
Magdalena WÓJCIK: Sezonowe zmiany parametrów fizykochemicznych i mikrobiologicznych wody zwirowni wykorzystywanej do rekreacji ..	387
Anna BAZAN-KRZYWOSZAŃSKA, Maria MRÓWCZYŃSKA, Marta SKIBA: Chłonność terenów zieleni w mieście – studium przypadku miasta Zielona Góra	401

Anna BIAŁECKA: Zmiany układów współrzędnych w praktyce geodezyjnej miasta Łodzi	413
Jolanta FIEDUCIK: Fotowoltaika skoncentrowana, osiągnięcia i perspektywy rozwoju	431
Kludia KUJAWSKA, Janusz RAK: Analiza i ocena strat wody wodociągu miasta Mielca	445
Paulina MICHALAK: Naturalna promieniotwórczość radonu – pochodzenie, zagrożenia oraz sposoby redukcji jego stężeń w budynkach mieszkalnych.....	455
Maria MRÓWCZYŃSKA: Deformacje konstrukcji komina stalowego w aspekcie zastosowania grupowej obróbki danych	465
Izabela SKRZYPCZAK, Janusz KOGUT, Lidia BUDA- OŻÓG, Joanna KUJDA: Projektowany okres użytkowania a docelowy poziom niezawodności według różnych zaleceń	475

Mariusz BARSZCZ¹
Zbigniew BARTOSIK²
Sylwester RUKŚĆ³
Jakub BATORY⁴

OBLICZENIE PRZEPIŹYWÓW MAKSYMALNYCH I ICH REDUKCJI W ZLEWNI ZURBANIZOWANEJ

W pracy przedstawiono wyniki zastosowania modelu SWMM do obliczenia przepływów o prawdopodobieństwach 50, 10, 2 i 1% w 8. przekrojach Potoku Służewieckiego na odcinku od km 0+000 do 6+576 oraz w 2. przekrojach Rowu Wolica. Zlewnia Potoku Służewieckiego jest zlokalizowana w południowej części Warszawy. Największe zagrożenie powodziowe występuje na odcinku Potoku Służewieckiego od km 0+000 do 3+875. Przepustowość koryta Potoku na tym odcinku kształtuje się na poziomie przepływu maksymalnego o prawdopodobieństwie 50%. Największe wartości przepływów w Potoku Służewieckim prognozowano w przekroju obliczeniowym numer V (km 4+267): $Q_{50\%} = 13,863$, $Q_{10\%} = 23,019$, $Q_{2\%} = 28,825$ i $Q_{1\%} = 30,500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Jedną z przyczyn występowania zagrożenia powodziowego w dolnym biegu Potoku Służewieckiego jest dopływ dużej ilości wód opadowych Rowem Wolica. Wartości przepływów w górnym odcinku Rowu Wolica (w przekroju VI) zawierały się w granicach od 8,005 do 12,402 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, w zależności od prawdopodobieństwa wystąpienia opadu obliczeniowego. W celu określenia możliwości redukcji przepływów w Rowie Wolica, przeprowadzono obliczenia w których uwzględniono zastosowanie kryzy na odcinku ujściowym kolektora do kanału otwartego. Zastosowanie kryzy w kolektorze pozwoli zredukować przepływy o prawdopodobieństwach 50, 10 i 2% odpowiednio o 61,0; 46,0 i 36,6%. Zastosowanie kryzy o stałej średnicy $\phi 1,08$ m, ustalonej dla przepływu o prawdopodobieństwie 2%, spowoduje znacznie mniejszą redukcję przepływów maksymalnych o prawdopodobieństwach 50 i 10%.

Słowa kluczowe: zlewnia zurbanizowana, model SWMM, przepływy maksymalne, zagrożenie powodziowe, redukcja przepływów

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Mariusz Barszcz, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Katedra Inżynierii Wodnej, ul. Nowoursynowska 159, 00-787 Warszawa, tel. 22 5935284, mariusz_barszcz@sggw.pl

² Zbigniew Bartosik, Specjalistyczna Pracownia Projektowa „WAGA-BART”, Warszawa

³ Sylwester Rukść, Specjalistyczna Pracownia Projektowa „WAGA-BART”, Warszawa

⁴ Jakub Batory, Specjalistyczna Pracownia Projektowa „WAGA-BART”, Warszawa

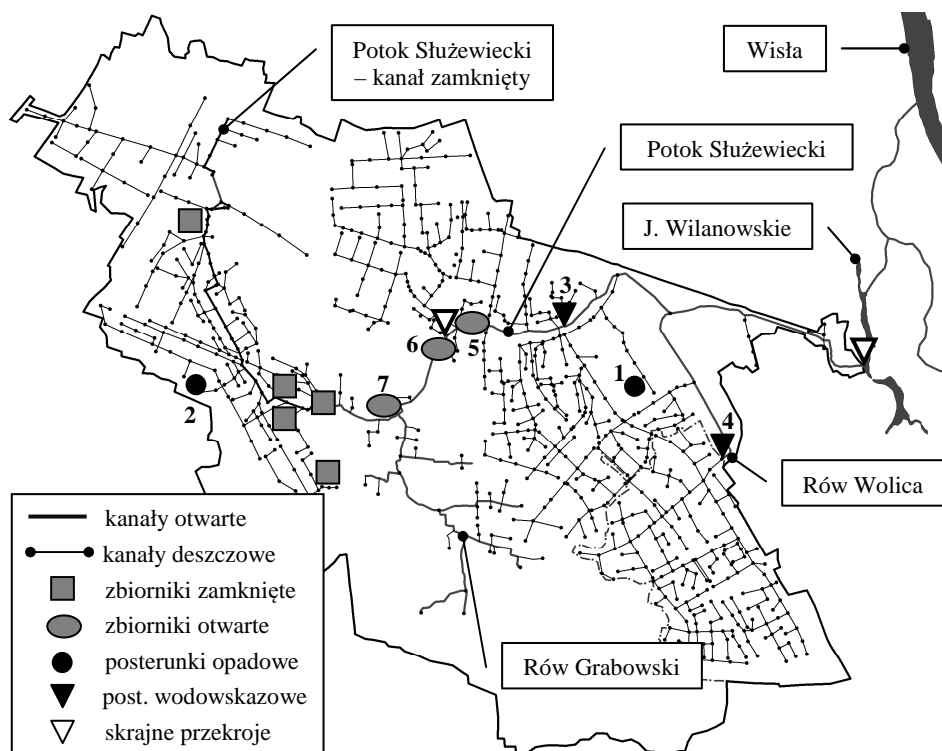
1. Wprowadzenie

W artykule przedstawiono wyniki obliczeń przepływów o prawdopodobieństwach przekroczenia 50, 10, 2 i 1% w dziesięciu przekrojach obliczeniowych (w 8. przekrojach Potoku Służewieckiego oraz w 2. przekrojach Rowu Wolica – będącego dopływem Potoku), które przeprowadzono za pomocą modelu SWMM (Storm Water Management Model). Model SWMM jest przeznaczony do symulacji odpływu wód w zlewniach miejskich w reakcji na pojedyncze lub ciągłe zdarzenia opadowe. Parametry modelu są fizycznie mierzalnymi charakterystykami zlewni i aktualnych warunków hydrometeorologicznych. SWMM jest złożonym modelem dynamicznym o znanej strukturze wewnętrznej (model „białej skrzynki”), o parametrach przestrzennie rozłożonych. Procedura obliczeniowa modelu bazuje na zbiorze zlewni cząstkowych z określonymi atrybutami, które transformują spadający na ich powierzchnię opad w odpływ. Powstający odpływ jest transportowany do profilu zamykającego zlewnię poprzez system hydrauliczny zlewni, który składa się z przewodów sieci kanalizacyjnej, kanałów otwartych, zbiorników retencyjnych, przepustów, pomp i regulatorów przepływu (takich jak zastawki, zwężki, itd.). W pracy zamieszczono również wyniki analizy, przeprowadzonej za pomocą modelu SWMM, która dotyczyła możliwości redukcji przepływów w Rowie Wolica za pomocą kryzy umieszczonej w kolektorze, w miejscu tuż powyżej wylotu kolektora do kanału otwartego. Przedstawione analizy zostały uwzględnione w koncepcji pt. „Przebudowa układu hydrologicznego obejmującego Potok Służewiecki i Rów Wolica w celu zabezpieczenia przeciwpowodziowego rejonu dolnego biegu Potoku Służewieckiego” [8].

2. Opis badanej zlewni

Na rys. 1 przedstawiono zlewnię Potoku Służewieckiego, zlokalizowaną w południowej części Warszawy. Powierzchnia badanej zlewni do ujścia w Jez. Wilanowskim wynosi 55,2 km². W górnej części zlewni Potok Służewiecki jest kanałem zamkniętym - do miejsca poniżej portu lotniczego „Okęcie”. Jego głównymi dopływami są Rów Grabowski i Rów Wolica. Drugi z wymienionych cieków jest zasilany wodami opadowymi odprowadzanymi za pomocą kanalizacji deszczowej ze zlewni o powierzchni 6,23 km². Na rys. 1 przedstawiono również lokalizację skrajnych przekrojów obliczeniowych, stanowiących początek i koniec badanego odcinka Potoku Służewieckiego (od km 0+000 do 6+576), jak również lokalizację głównych posterunków pomiarowych.

Posterunki wodowskazowe i opadowe (poza jednym opadowym „Okęcie”) zainstalowano w ramach projektu badawczego COST/210/2006. Hydrogramy stanów wody (później przeliczane na przepływy) i wysokości opadów były rejestrowane za pomocą elektronicznych urządzeń w przyjętych 10. minutowych przedziałach czasowych. Na rys. 2 przedstawiono widoki dwóch profili wodowskazowych w badanej zlewni.



Rys. 1. System odprowadzania wód opadowych w zlewni Potoku Sużewieckiego

Fig. 1. Rainwater drainage system in the Sużewiecki Stream catchment

Objaśnienia / Explanations: Posterunki opadowe i wodowskazowe / Rainfall and water gauge stations: 1 - SGGW, 2 - Okęcie, 3 - Rosoła, 4 - Płaskowicka; Zbiorniki otwarte/ Reservoirs: 5 - Staw Sużewiecki, 6 - Staw Wyścigi, 7 - Staw Berensewicza



Rys. 2. Profile wodowskazowe „Rosoła” i „Płaskowicka” (foto: M. Barszcz)

Fig. 2. The water gauge station of “Rosoła” and “Płaskowicka”

3. Model zlewni Potoku Służewieckiego

Do obliczania przepływów o określonym prawdopodobieństwie przekroczenia w badanej zlewni został wykorzystany model SWMM (Storm Water Management Model) w wersji 5.0.022, opracowany przez Agencję Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych (U.S. Environmental Protection Agency - EPA). Przykłady zastosowania tego modelu do analiz hydrologicznych można znaleźć w pracach Zawilskiego i Sakson [10], Warwick'a i Tadepalli [9], Jang'a i in. [4], Barco i in. [1]. Do ustalenia opadu efektywnego w przedstawianych analizach wybrano metodę CN-SCS [6], a do obliczenia transformacji fal wezbraniowych w kanałach zastosowano model fali dynamicznej [7].

Adaptacja modelu SWMM dla zlewni Potoku Służewieckiego polegała na utworzeniu w modelu obiektów, które reprezentują fizyczne składniki rzeczywistego systemu hydrologicznego i hydraulicznego zlewni, a następnie na określeniu wartości ich parametrów będących w większości przypadków fizycznie mierzalnymi charakterystykami (rys. 3). Model SWMM adaptowano dla trzech scenariuszy obliczeniowych, poprzez dostosowanie parametrów modelu do obliczenia przepływów o określonym prawdopodobieństwie. Model umożliwił wyznaczenie przepływów o prawdopodobieństwach 50% (scen. 1), 10% (scen. 2) oraz 2 i 1% (scen. 3). Pierwszą adaptację modelu dla badanej zlewni autor przeprowadził w 2009 r., publikując jej wyniki we wcześniejszej pracy [2]. W celu przeprowadzenia analiz, przedstawionych w niniejszej pracy, opracowano od podstaw model badanej zlewni.

Do oszacowania i identyfikacji parametrów obiektów modelu, wykorzystano pomierzone w terenie i zidentyfikowane na podstawie dostępnych opracowań charakterystyki rzeczywistych obiektów oraz wartości parametrów zalecane w tabelach podręcznika [5]. Obiekty, które uwzględniono w modelu zlewni:

- Dwa posterunki opadowe, które są zlokalizowane na obszarze lotniska „Okęcie” i kampusu SGGW w Warszawie.
- Obszary cząstkowe (3386 obszarów), które wydzielono w zlewni ze względu na charakter użytkowania i zmienną wielkość spływu z tych zlewni. Dla każdego obszaru cząstkowego określono wartości 13. parametrów, wykorzystywanych do obliczenia ilości spływu wód deszczowych.
- Kanały otwarte i przewody sieci kanalizacyjnej (2265 odcinków kanałów). Przekroje poprzeczne Potoku Służewieckiego na odcinku od km 0+000 do 6+576 oraz na całej długości Rowu Wolica uwzględniono w modelu na podstawie danych opracowanych przez firmę WAGA-BART.
- Przepusty drogowe i inne obiekty infrastruktury komunikacyjnej. Przepusty zlokalizowane w Potoku Służewieckim na odcinku od km 0+000 km do 6+576 oraz w Rowie Wolica uwzględniono w modelu na podstawie danych firmy WAGA-BART.
- Zbiorniki powierzchniowe i zbiorniki zamknięte. Charakterystyki zbiorników zamkniętych na obszarze portu lotniczego „Okęcie” i ich urządzeń do regula-

cji przepływu uwzględniono w modelu na podstawie dokumentacji powykonawczej.

- Klapy zwrotne w kanałach, urządzenia upustowe i przelewowe zbiorników, pompy i zastawki współpracujące ze zbiornikami.

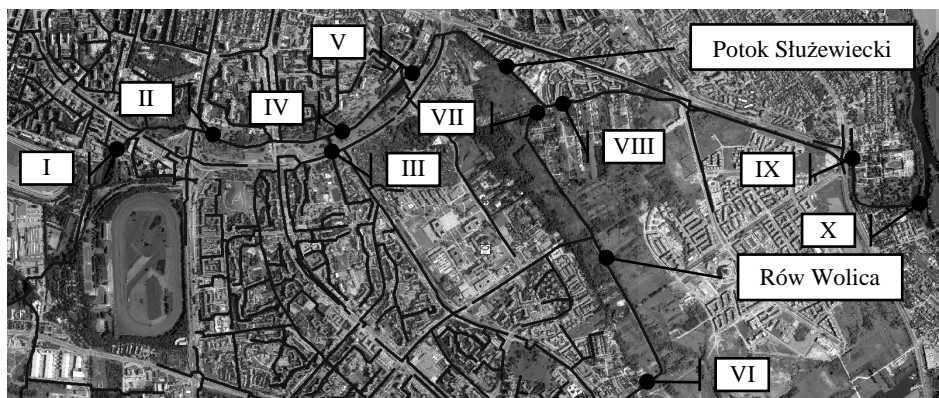


Rys. 3. Obszary cząstkowe i kanały na obszarze zlewni Potoku Służewieckiego w modelu SWMM
Fig. 3. Sub-areas and channels in the Służewiecki Stream catchment in the SWMM model

4. Wyniki analiz

4.1. Obliczenie przepływów o określonych prawdopodobieństwach

Wykorzystując model SWMM, adaptowany dla badanej zlewni, obliczono przepływy o prawdopodobieństwach przekroczenia 50, 10, 2 i 1% (wywołanych opadami deszczu o tym samym prawdopodobieństwie) w 8. przekrojach Potoku Służewieckiego (przekroje I-V, VIII-X) oraz w 2. przekrojach Rowu Wolica (VI, VII), zlokalizowanych w charakterystycznych punktach tych cieków. Lokalizację przekrojów obliczeniowych przedstawiono na rys. 4. Do obliczenia wysokości opadów wykorzystano formułę zaproponowaną przez Bogdanowicz i Stachyego [3]. Przyjęto założenie o równomierności wysokości opadu w całej zlewni.



Rys. 4. Lokalizacja przekrojów obliczeniowych w badanej zlewni

Fig. 4. Location of calculation's sections in the catchment

Skrajne przekroje obliczeniowe Potoku Służewieckiego, tj. I oraz X, znajdują się odpowiednio poniżej Stawu Wyścigi i w ujściu do Jez. Wilanowskiego. Przekrój numer II jest zlokalizowany poniżej „Stawu Służewieckiego”. Przekrój numer III znajduje się na wylocie kolektora deszczowego do Potoku, odprowadzającego dolną część obszaru dzielnicy Ursynów. Poniżej wylotu tego kolektora znajduje się przekrój obliczeniowy numer IV. Przekroje VI-VII znajdują się w Rowie Wolica, odpowiednio poniżej wylotu kolektora deszczowego i powyżej ujścia cieką do Potoku Służewieckiego. Przekrój VIII jest usytuowany poniżej ujścia Rowu Wolica do Potoku.

W każdym z dziesięciu przekrojów obliczono przepływy maksymalne o prawdopodobieństwach 50, 10, 2 i 1%, które odpowiadają największej wartości przepływu kulminacyjnego hydrogramu, obliczonej w reakcji na opad o krytycznym czasie trwania i określonym prawdopodobieństwie. Charakterystyki opadów obliczeniowych oraz wartości prognozowanych przepływów i objętości wezbrań, które obliczono za pomocą modelu SWMM, zestawiono w tab. 1. Zmiany wartości przepływów o prawdopodobieństwach 50 i 2% dla 7. przekrojów obliczeniowych w Potoku Służewieckim (I-II, IV-V, VIII-X), zlokalizowanych na całej długości badanego odcinka Potoku, przedstawiono na rys. 5.

Na wartości przepływów w przekroju obliczeniowym numer I (na początku badanego odcinka Potoku) miały wpływ zbiorniki na obszarze lotniska „Okęcie”, Staw Wyścigi oraz przepusty drogowe, zlokalizowane powyżej tego przekroju. W przekrojach II i IV obliczono znacznie większe przepływy niż w przekroju I. Gwałtowny wzrost przepływów w tych przekrojach jest spowodowany dopływem wód opadowych do Potoku Służewieckiego przez wyloty kanalizacji deszczowej. Przyczyną redukcji przepływów poniżej przekroju numer VIII jest transformacja przepływów w kanale, w której zasadnicze znaczenie ma wylewanie wód opadowych z koryta i redukcja przepływu przez przepusty drogowe.

Tabela 1. Charakterystyki opadów obliczeniowych i wartości odpływu

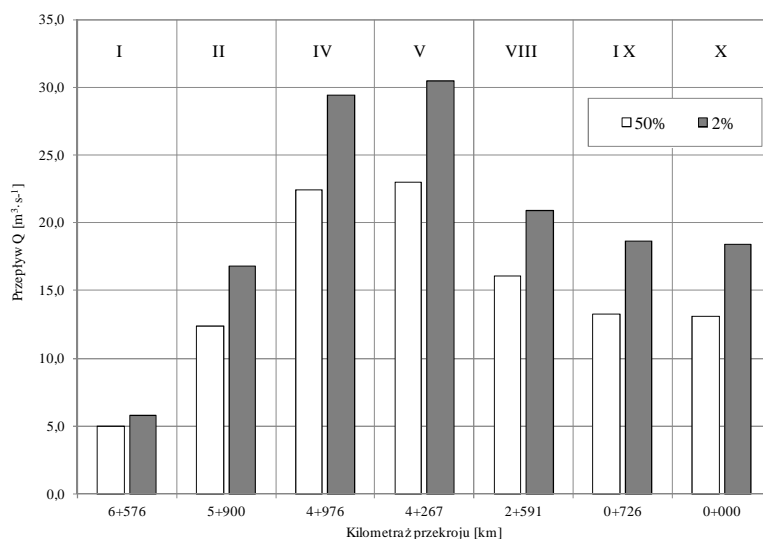
Table 1. Characteristics of calculating`s rainfalls and values of outflow

Nazwa kanału	Nr przekroju	Kilometraż [km]	Prawd.	Krytyczny czas trwania opadu	Wysokość opadu	Przepływ – SWMM	Objętość wezbrania
			[%]	[min]	[mm]	[m ³ ·s ⁻¹]	[tys. m ³]
Potok Służewiecki	I	6+576	50	180	25,8	2,137	92,5
			10	180	44,0	4,979	182,8
			2	170	56,7	5,702	234,6
			1	170	61,6	5,797	247,3
	II	5+900	50	150	25,0	6,981	165,3
			10	150	42,9	12,348	320,4
			2	150	55,8	15,860	431,1
			1	150	60,6	16,802	465,9
Kolektor	III	4+978	50	50	19,1	7,733	42,2
			10	40	31,1	11,648	72,0
			2	30	37,3	13,328	89,7
			1	30	40,6	13,924	99,1
Potok Służewiecki	IV	4+975	50	110	23,5	13,345	215,1
			10	120	41,5	22,451	428,0
			2	150	55,8	27,807	620,2
			1	150	60,6	29,387	677,3
	V	4+267	50	130	24,4	13,863	227,0
			10	140	42,5	23,019	449,9
			2	150	55,8	28,825	631,2
			1	150	60,6	30,500	691,2
Rów Wolica	VI	2+318	50	80	21,7	8,005	48,9
			10	80	37,6	9,770	81,7
			2	80	49,0	11,958	110,4
			1	80	53,3	12,402	121,8
	VII	0+000	50	130	24,4	2,373	56,2
			10	130	42,0	4,080	102,4
			2	160	56,2	5,563	166,1
			1	160	61,1	5,759	184,7
Potok Służewiecki	VIII	2+951	50	240	27,1	8,898	315,2
			10	240	45,8	16,075	603,9
			2	170	56,7	20,902	782,8
			1	120	58,8	20,907	794,8
	IX	0+726	50	260	27,5	8,027	317,0
			10	260	46,3	13,275	575,8
			2	240	59,3	18,025	797,9
			1	240	64,4	18,640	851,7
	X	0+000	50	260	27,5	7,811	315,7
			10	260	46,3	13,075	571,0
			2	240	59,3	17,833	793,6
			1	240	64,4	18,440	854,1
Wartość minimalna				30	19,1	2,137	42,2
Wartość maksymalna				260	64,4	30,500	854,1

Największe wartości przepływów maksymalnych hydrogramów prognozowano w Potoku Służewieckim w przekroju obliczeniowym numer V (km 4+267). Przepływy o określonym prawdopodobieństwie przekroczenia, obliczone za pomocą modelu SWMM, wynoszą: $Q_{50\%} = 13,863$, $Q_{10\%} = 23,019$, $Q_{2\%} = 28,825$ i $Q_{1\%} = 30,500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Objętości, które obliczono dla hydrogramów prognozowanych w różnych przekrojach, zawierały się w granicach od 42,2 tys. m^3 do 854,1 tys. m^3 . Największe objętości wzebrań prognozowano w przekrojach VIII-X Potoku Służewieckiego, zlokalizowanych poniżej ujścia Rowu Wolica.

Na odcinku Potoku Służewieckiego od km 3+875 do 0+000 (od ul. Dolinka Służewiecka - zlokalizowanej ok. 400 m poniżej przekroju V, do ujścia w Jez. Wilanowskim) występuje największe zagrożenie powodziowe. Przepustowość Potoku na tym odcinku kształtuje się na poziomie przepływu maksymalnego o prawdopodobieństwie 50%. Biorąc pod uwagę zagospodarowanie tego terenu – zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna i wielorodzinna wzdłuż ul. Arbusowej i Wilanowskiej, oraz Muzeum Pałacu w Wilanowie, jest to wielkość stanowczo za mała. Wyznaczony obszar, który może ulec podtopieniu w wyniku wystąpienia przepływów o prawdopodobieństwie 1%, wynosi $1,6 \text{ km}^2$.

Duży wpływ na zwiększenie zagrożenia powodziowego w dolnym biegu Potoku Służewieckiego ma dopływ wód opadowych Rowem Wolica. Wartości przepływów w górnym odcinku Rowu Wolica (w przekroju VI, zlokalizowanym poniżej wylotu kolektora) zawierały się w granicach od $8,005$ do $12,402 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, w zależności od prawdopodobieństwa wystąpienia opadu obliczeniowego.



Rys. 5. Wartości przepływów maksymalnych w przekrojach Potoku Służewieckiego

Fig. 5. Values of maximum flows in sections of the Służewiecki Stream

4.2. Redukcja przepływów przez zastosowanie kryzy w kolektorze

Wyniki analiz wskazują, że jedną z przyczyn występowania zagrożenia powodziowego w dolnym biegu Potoku Służewieckiego jest dopływ dużej ilości wód opadowych Rowem Wolica. W celu określenia możliwości redukcji przepływów w Rowie Wolica (zasilanym wodami opadowymi odprowadzanymi za pomocą kolektora ze zlewni o powierzchni 6,23 km²), przeprowadzono obliczenia w których uwzględniono zastosowanie kryzy (zwężki) na odcinku ujściowym kolektora do kanału otwartego. Obliczenia przeprowadzono za pomocą modelu SWMM, dla przepływów o prawdopodobieństwach 50, 10 i 2%.

Analizy polegały na przyjmowaniu do obliczeń kolejnych coraz mniejszych średnic kryzy, którą usytuowano w kolektorze (w miejscu znajdującym się ok. 250 m powyżej wylotu kolektora do Rowu Wolica - rys. 6), aż do momentu uzyskania największej redukcji przepływów poniżej kryzy przy jednoczesnym spełnieniu założonego kryterium: maksymalne wzniesienie zwierciadła wody w punktach węzłowych sieci kanalizacyjnej na obszarze zlewni Rowu Wolica, wywołane ograniczeniem przepływu przez kryzę, nie może przekroczyć poziomu 0,3 m od powierzchni terenu w każdym punkcie węzłowym modelu (odpowiadającym w rzeczywistości studzience kanalizacyjnej).

Ustalone na podstawie analiz w modelu średnice kryzy w przewodzie kolektora, w odniesieniu do przepływów o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia, zestawiono w tab. 2 (średnica kolektora wynosi $\phi 2,00$ m). W tabeli zamieszczono również wartości przepływów, prognozowanych w przekroju VI w Rowie Wolica (poniżej wylotu kolektora) dla scenariuszy bez zastosowania kryzy oraz z kryzą w kolektorze. Analiza wykazała, że zastosowanie kryzy w kolektorze pozwoli zredukować przepływy kulminacyjne wezbrania o prawdopodobieństwach 50, 10 i 2% odpowiednio o 61,0, 46,0 i 36,6%. Zastosowanie kryzy o stałej średnicy $\phi 1,08$ m, ustalonej dla przepływu o prawdopodobieństwie 2%, spowoduje znacznie mniejszą redukcję przepływów maksymalnych o prawdopodobieństwach 50 i 10%.

Tabela 2. Średnice kryzy w kolektorze i przepływy maksymalne dla różnych scenariuszy

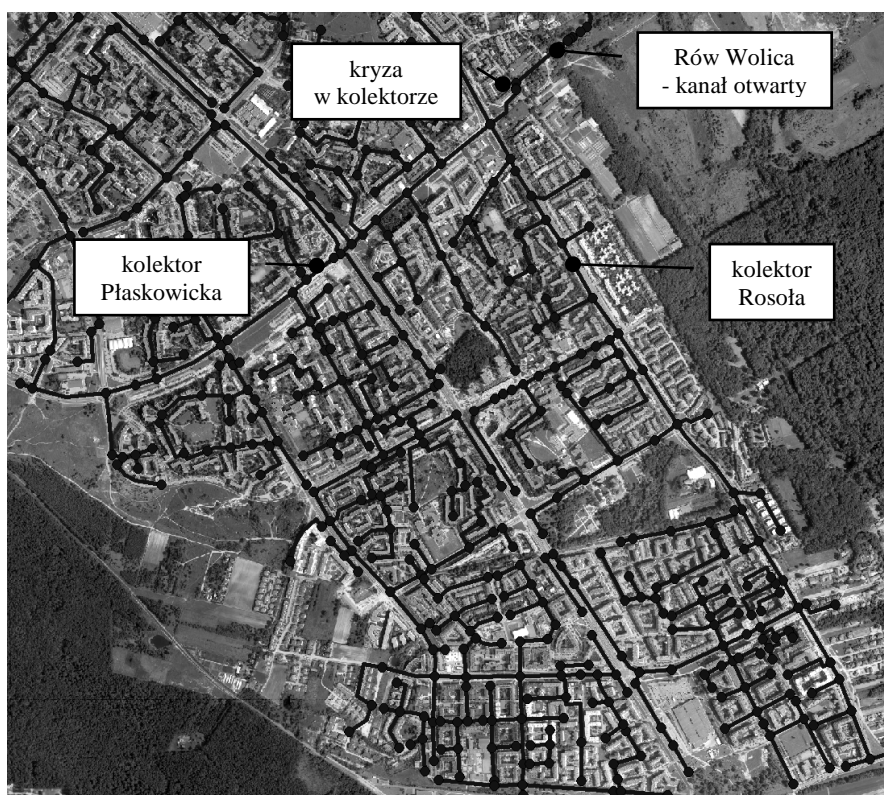
Table 2. Diameters of the orifice in the collector and maximum flows for different scenarios

Prawdopodobieństwo	Średnica kryzy	Przepływ bez kryzy	Przepływ z kryzą	Redukcja przepływu	Przepływ z kryzą $\phi 1,08$ m
[%]	[m]	[m ³ ·s ⁻¹]	[m ³ ·s ⁻¹]	[%]	[m ³ ·s ⁻¹]
50	0,66	8,005	3,120	-61,0	6,530
10	0,88	9,770	5,280	-46,0	6,980
2	1,08	11,958	7,580	-36,6	7,580

Przeprowadzono również obliczenia, mające na celu ustalenie możliwości redukcji przepływów o prawdopodobieństwach 50, 10 i 2% w przekroju

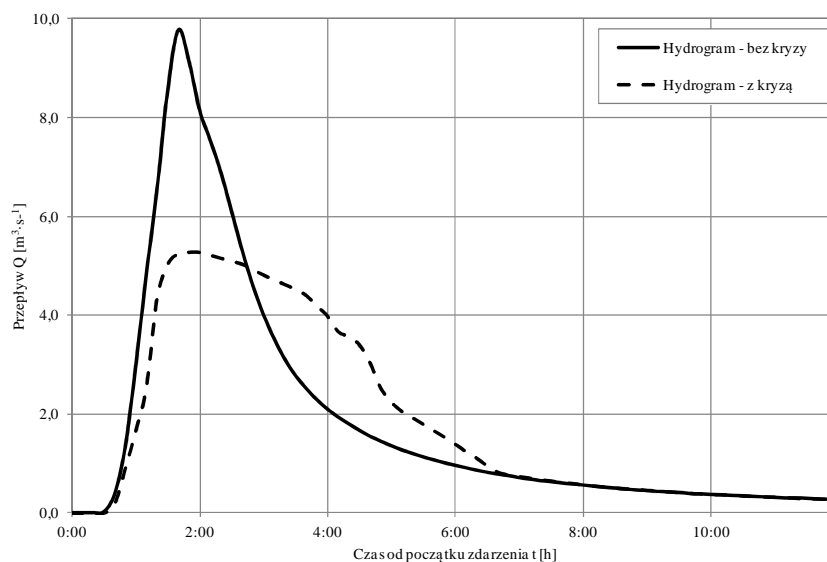
obliczeniowym III, poprzez zastosowanie kryzy na odcinku ujściowym kolektora do Potoku Służewieckiego (lokalizację przekroju III pokazano na rys. 4). Analizy wykazały, że nawet niewielkie ograniczenie przepływu przez kryzę spowoduje spiętrzenie wody w niektórych węzłach kanalizacyjnych, skutkujące podtopieniami na obszarze zlewni cząstkowej, obejmującym dzielnicę Ursynów. Oznacza to brak możliwości redukcji przepływów w przekroju III przez zastosowanie kryzy.

Przykładowe hydrogramy w przekroju VI Rowu Wolica, prognozowane w reakcji na opad o prawdopodobieństwie 10% dla scenariuszy z zastosowaniem kryzy i bez kryzy, przedstawiono na rys. 7. Zastosowanie kryzy spowodowało redukcję przepływu kulminacyjnego wezbrania i zmianę rozkładu odpływu w czasie. Natomiast na rys. 8-9 zamieszczono profile kolektorów w ulicach Płaskowicka i Rosoła (ich lokalizację pokazano na rys. 6), przedstawiające maksymalne położenie zwierciadła wody w studzienkach kanalizacyjnych przy scenariuszu zakładającym zastosowanie kryzy, w reakcji na opad o prawdopodobieństwie 10%.



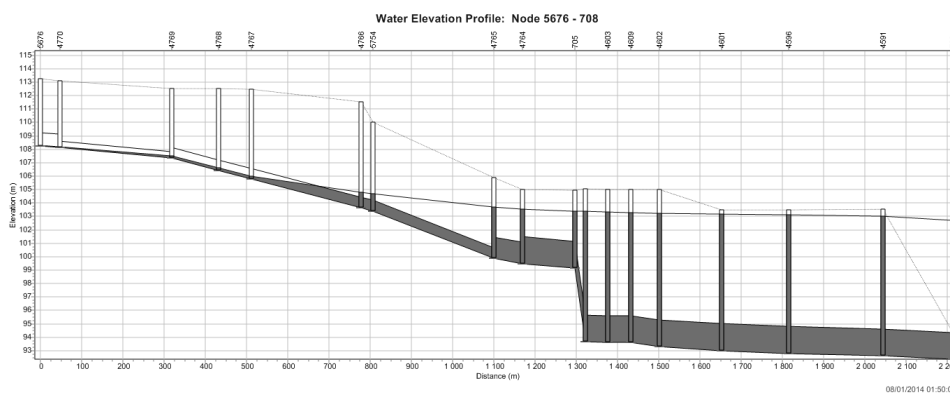
Rys. 6. Kanalizacja deszczowa w zlewni Rowu Wolica oraz lokalizacja kryzy w kolektorze

Fig. 6. Storm sewer system in the Wolica Ditch catchment and location of the orifice in collector



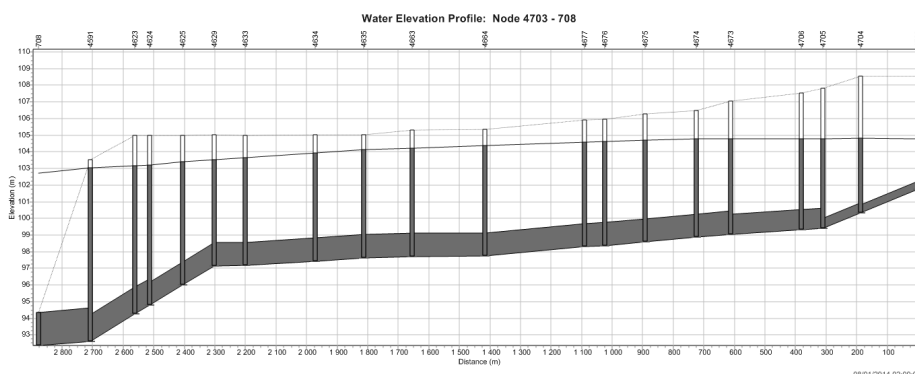
Rys. 7. Hydrogramy obliczone w przekroju VI dla scenariuszy z kryzą i bez kryzy

Fig. 7. Hydrographs calculated in the section VI for scenarios with the orifice and without orifice



Rys. 8. Maksymalny poziom wody w kolektorze w ulicy Płaskowickiej – scen. z kryzą (p = 10%)

Fig. 8. The maximum water level in the collector in the Płaskowicka – scenario with the orifice



Rys. 9. Maksymalny poziom wody w kolektorze w ulicy Rosoła – scen. z kryzą ($p = 10\%$)

Fig. 9. The maximum water level in the collector in the Rosoła st. – scenario with the orifice

5. Wnioski

- Największe wartości przepływów prognozowano w Potoku Służewieckim w przekroju obliczeniowym numer V (km 4+267). Przepływy o określonym prawdopodobieństwie przekroczenia, obliczone za pomocą modelu SWMM, wynoszą: $Q_{50\%} = 13,863$, $Q_{10\%} = 23,019$, $Q_{2\%} = 28,825$ i $Q_{1\%} = 30,500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
- Objętości wezbrań, prognozowanych w Potoku Służewieckim i Rowie Wolica, wynosiły od 42,2 tys. m^3 do 854,1 tys. m^3 . Największe wartości objętości obliczono dla wezbrań w przekrojach VIII-X Potoku Służewieckiego, zlokalizowanych poniżej ujścia Rowu Wolica.
- W przekrojach II-V obliczono znacznie większe przepływy niż w przekroju I, zlokalizowanym na początku analizowanego odcinka Potoku Służewieckiego. Gwałtowny wzrost przepływów w tych przekrojach jest spowodowany dopływem wód opadowych do Potoku Służewieckiego poprzez kolektory. Przepływy w przekroju III (w kolektorze odwadniającym część dzielnicy Ursynów) są tego samego rzędu wielkości jak przepływy prognozowane w profilu II.
- Przyczyną redukcji przepływów w Potoku Służewieckim poniżej przekroju VIII jest wylewanie wód opadowych z koryta i ograniczenie przepustowości przez przepusty drogowe.
- Największe zagrożenie powodziowe występują na odcinku Potoku Służewieckiego od km 3+875 do 0+000 (poniżej przekroju V). Przepustowość koryta Potoku na tym odcinku kształtuje się na poziomie przepływu maksymalnego o prawdopodobieństwie 50%. Biorąc pod uwagę zagospodarowanie przyległego terenu, jest to wielkość stanowczo za mała.
- Duży wpływ na zwiększenie zagrożenia powodziowego w dolnym biegu Potoku Służewieckiego ma dopływ wód opadowych Rowem Wolica. Wartości

przepływów w górnym odcinku Rowu Wolica (w przekroju VI) zawierały się w granicach od 8,005 do 12,402 m³·s⁻¹, w zależności od prawdopodobieństwa wystąpienia opadu obliczeniowego.

- Zastosowanie kryzy na odcinku ujściowym kolektora do kanału otwartego Rowu Wolica (powyżej przekroju VI), pozwoli zredukować przepływy kulminacyjne wezbrania o prawdopodobieństwach 50, 10 i 2% odpowiednio o 61,0, 46,0 i 36,6%. Zastosowanie kryzy o stałej średnicy $\phi 1,08$ m, ustalonej dla przepływu o prawdopodobieństwie 2%, spowoduje znacznie mniejszą redukcję przepływów maksymalnych o prawdopodobieństwach 50 i 10%.
- Nawet niewielkie ograniczenie przepływu przez kryzę umieszczoną w przekroju III (w kolektorze odwadniającym część dzielnicy Ursynów) spowoduje spiętrzenie wody w niektórych studzienkach kanalizacyjnych, skutkujące podtopieniami na obszarze zlewni cząstkowej.

Literatura

- [1] Barco J., Wong K.M., Stenstrom M.K.: Automatic calibration of the U.S. EPA SWMM model for a large urban catchment, *J. Hydraul. Eng.* 134(4), 2008, s. 466-474.
- [2] Barszcz M.: Prognoza maksymalnych przepływów prawdopodobnych wywołanych ulewami w zurbanizowanej zlewni Potoku Służewieckiego, *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, Vol. 4(46), 2009, s. 3-23.
- [3] Bogdanowicz E., Stachý J.: Maksymalne opady deszczu w Polsce, charakterystyki projektowe, *Materiały badawcze IMGW 23, Hydrologia i Oceanologia* 85, 1997.
- [4] Jang S., Cho M., Yoon Y., Kim S., Kim G., Kim L., Aksoy H.: Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment, *Desalination* 212, 2007, s. 344-356.
- [5] Rossman L.A.: Storm water management model user`s manual version 5.0, National Risk Management Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH 2010.
- [6] SCS (Soil Conservation Service): Urban Hydrology for Small Watersheds, Technical Release 55, Soil Conservation Service, Washington, D.C 1986.
- [7] Szymkiewicz R.: Modelowanie matematyczne przepływów w rzekach i kanałach, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
- [8] WAGA-BART: Koncepcja „Przebudowa układu hydrologicznego obejmującego Potok Służewiecki i Rów Wolica w celu zabezpieczenia przeciwpowodziowego rejonu dolnego biegu Potoku Służewieckiego. Etap II”, Waga-Bart, Warszawa 2014.
- [9] Warwick J.J., Tadepalli P.: Efficacy of SWMM application, *J. Water Resour. Plan. Manage.* 117, 1991, s. 352-366.
- [10] Zawilski M., Sakson G.: Wykorzystanie programu SWMM w modelowaniu systemów kanalizacyjnych, *Materiały konferencyjne (red. Łomotowski) „Problemy zagospodarowania wód opadowych”*, Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. z o.o., Warszawa, 2008, s. 155-169.

THE CALCULATION OF MAXIMUM FLOWS AND THEIR REDUCTION IN URBANIZED CATCHMENT

Summary

The article presents the results of an application of the SWMM model to calculating flows with probability of exceedance of 50, 10, 2 and 1% in eight profiles of the Służewiecki Stream on the section from km 0+000 to 6+576 as well in two profiles of Wolica Ditch. The Służewiecki Stream catchment is located in the southern part of Warsaw. The greatest flood hazard occurs on the section of the Służewiecki Stream from km 0+000 to 3+875. The capacity of the Służewiecki Stream in this section stands at a maximum flow with probability of 50%. The highest values of flows in the Służewiecki Stream predicted in the calculation cross-section number V (km 4+267): $Q_{50\%} = 13.863$, $Q_{10\%} = 23.019$, $Q_{2\%} = 28.825$ i $Q_{1\%} = 30.500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. One of reasons of occurrence of the flood hazard in lower part of the Służewiecki Stream is inflow of large amount of storm water by Wolica Ditch. The values of flows in the upper part of the Wolica Ditch (in the cross-section VI) ranged from 8,005 to 12,402 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, depending on the probability of rainfall. In order to identify opportunities for reduction of flows in the Wolica Ditch, calculations were carried out which included the application of a orifice in a collector located above open channel. The application of the orifice in the collector can reduce flows with probability of exceedance of 50, 10 and 1%, respectively by 61.0, 46.0 and 36.6%. The application of the orifice with constant diameter of $\phi 1.08 \text{ m}$, determined for the flow with probability of 2%, will result in a much smaller reduction of maximum flows with probability of 50 and 10%.

Keywords: urbanized catchment, SWMM model, maximum flows, flood hazard, orifice, reduction of flows

Przesłano do redakcji: 30.08.2015 r.

Przyjęto do druku: 1.03.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.105

January BIEN¹
Tomasz KAMIZELA²
Anna GROBELAK³
Anna GROSSER⁴
Zbigniew DYK⁵
Daniel SZTUHLIK⁶
Małgorzata KACPRZAK⁷

WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNO-CHEMICZNE BIOMASY OTRZYMANEJ W NOWEJ TECHNOLOGII PRZETWARZANIA OSADÓW ŚCIEKOWYCH „BIONOR SLUDGE”

Obecny stan prawny w pewien sposób generuje poszukiwania i rozwój nowoczesnych technologii pozwalających na rozwiązanie problemu zagospodarowania osadów ściekowych w Polsce nie tylko dla dużych obiektów, ale przede wszystkim dla instalacji małych i średnich, ponieważ to z nich głównie osady ściekowe obecnie trafiają na składowiska odpadów. Celem pracy jest ocena funkcjonowania prototypowej linii technologicznej do przetwarzania osadów ściekowych i ocena uzyskanej z tej technologii biomasy. Technologia Bionor Sludge stanowi rozwiązanie przeznaczone dla gminnych oczyszczalni o przepustowości do 1000 m³*d⁻¹. Powstające osady ściekowe odpowiednio przetworzone w instalacji mogą zostać zagospodarowane dwójako: jako kompost lub jako wsad do instalacji termicznej, gdzie mogą stanowić biomasę zgodnie z ustawą o OZE. W pracy przedstawiono materiały pozwalające na wstępną ocenę jakości uzyskiwanego produktu pod kątem potencjału nawozowego i energetycznego. Bionor Sludge to technologia, która polega na przekierowaniu, w możliwie największym stopniu, energii chemicznej zgromadzonej w ściekach komunalnych do osadów stanowiących rezerwar substancji organicznej. Cały układ technologiczny oczyszczania ścieków i przeróbki osadów charakteryzuje się również wysoką efektywnością i elastycznością pracy przy modułowej zabudowie. Możliwe i w pełni zasadne jest zastosowanie wybranych elementów omawianej instalacji w ramach modernizacji istniejących obiektów. Technologia Bionor Sludge dzięki swej innowacyjności i założeniom o możliwie najlepszym wykorzystaniu zasobów nawozowych i energetycznych, umożliwia racjonalne funkcjonowanie oczyszczalni i tym samym znaczące odciążenie budżetu gmin i ostatecznie ich mieszkańców.

¹ January Bień, Politechnika Częstochowska, ul. J.H. Dąbrowskiego, 42-200 Częstochowa, telefon 34 3250917, jbien@is.pcz.czest.pl

² Tomasz Kamizela, Politechnika Częstochowska, tkamizela@is.pcz.czest.pl

³ Autor do korespondencji/corresponding author: Anna Grobelak, Politechnika Częstochowska, ul. J.H. Dąbrowskiego, 42-200 Częstochowa, telefon 34 3250917, agrobelak@is.pcz.czest.pl

⁴ Anna Grosser, Politechnika Częstochowska, agrosser@is.pcz.czest.pl

⁵ Zbigniew Dyk, BIONOR Sp. z o.o., ul. Ściegiennego 26, 25-115 Kielce, tel. kom. 601 977 622, zbigniew.dyk@bionor.pl

⁶ Daniel Sztuchlik, BIONOR Sp. z o.o. Kielce, tel. kom. 601 977 622, daniel.sztuchlik@bionor.pl

⁷ Małgorzata Kacprzak, Politechnika Częstochowska, mkacprzak@is.pcz.czest.pl,

Słowa kluczowe: gospodarka osadowa, oczyszczanie ścieków, kompost, biomasa, OZE

1. Wprowadzenie

W Polsce w 2013 roku wyprodukowano ponad 555 tys. Mg s.m. osadów ściekowych [1]. W kraju pracuje ponad 3,2 tys. oczyszczalni ścieków [1], z czego około połowa to obiekty o wydajności 2000 RLM oraz poniżej. Ilość produkowanych przez nie osadów ściekowych jest relatywnie niewielka, jednak każda z oczyszczalni boryka się z problemem ich zagospodarowania. Zgodnie z obowiązującym prawodawstwem (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych) osady ściekowe mogą być zagospodarowane przyrodniczo [2]. Rozporządzenie to określa szczególne warunki stosowania komunalnych osadów ściekowych, w tym dawki osadów, które można stosować na gruntach oraz zakres, częstotliwość i metody referencyjne badań komunalnych osadów ściekowych i gruntów, na których osady mają być stosowane. Inną możliwością jest uzyskanie, po przeprowadzeniu procesów przetwórczych w tym np. przekompostowaniu, nawozu lub środka nawozowego zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 roku w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu [3]. Obecnie, osady ściekowe są także poddawane przekształceniu termicznemu lub składowaniu. Zgodnie z Rozporządzeniem [4] od 1.01.2016 r. jest niedopuszczalne ich składowanie na składowiskach odpadów. Natomiast ustawa o OZE z dnia 20 lutego 2015 dopuszcza stosowanie osadów ściekowych jako biomasy do procesów termicznych [5].

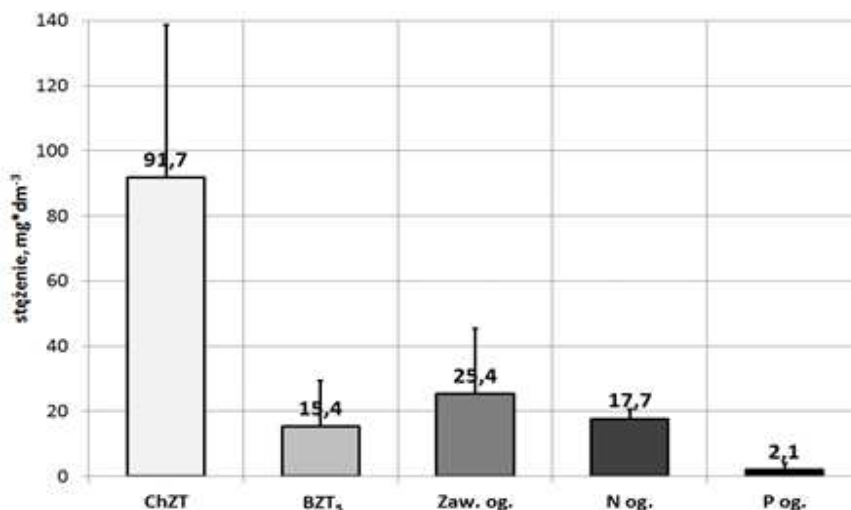
Obecny stan prawny w pewien sposób generuje poszukiwania i rozwój nowoczesnych technologii pozwalających na rozwiązanie problemu zagospodarowania osadów ściekowych nie tylko dla dużych obiektów, ale przede wszystkim dla instalacji małych i średnich, ponieważ to z nich głównie osady ściekowe obecnie trafiają na składowiska odpadów. Technologia Bionor Sludge [6] stanowi rozwiązanie przeznaczone dla gminnych oczyszczalni o przepustowości do $1000 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Powstające osady ściekowe odpowiednio przetworzone w instalacji mogą zostać zagospodarowane dwojako: jako kompost lub jako wsad do instalacji termicznej, gdzie mogą stanowić biomasę zgodnie z ustawą o OZE. W pracy przedstawiono materiały pozwalające na wstępną ocenę jakości uzyskiwanego produktu pod kątem potencjału nawozowego i energetycznego.

2. Opis technologii Bionor Sludge

Technologia Bionor Sludge jest testowana w gminnej oczyszczalni ścieków w Łubowie (woj. wielkopolskie) o przepustowości $250 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. W skład układu technologicznego oczyszczalni ścieków w Łubowie wchodzi stopień mechanicznego oraz biologicznego oczyszczania. Wstępnie, na sicie kanałowym oddzielana jest duża frakcja ciał stałych, a ścieki kierowane są na filtr taśmowy.

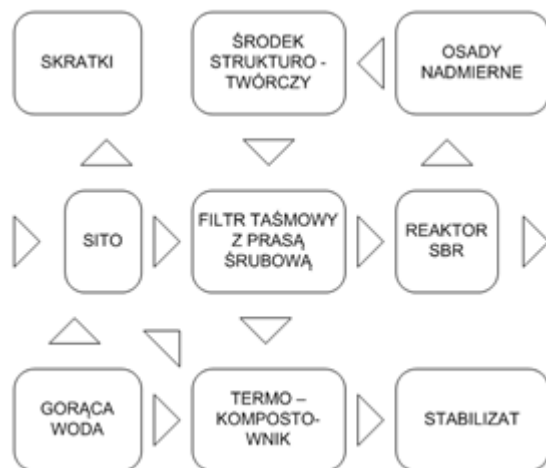
Zadaniem filtra taśmowego jest separacja pozostałych cząstek stałych, jak i osadów nadmiernych z biologicznego procesu oczyszczania ścieków. Filtr taśmowy posiada również system odwadniania osadów za pomocą prasy zintegrowanej z sitem szczelinowym. W całym procesie odwadniania nie ma potrzeby zastosowania kondycjonowania osadów przy pomocy polielektrolitów. Wyeliminowanie tego zabiegu znacząco obniża koszty eksploatacji takiej oczyszczalni. Stosowana technologia Bionor Sludge umożliwia redukcję obciążenia reaktorów biologicznych poprzez wysokowydajną filtrację na prasie filtracyjnej i usunięcie zawieszin ze ścieków. Pozostała substancja organiczna w formie związków rozpuszczonych i koloidów kierowana jest do reaktorów biologicznych SBR, które zasilane są łatwo biodegradowalnymi frakcjami ścieków. Efektem zastosowania technologii Bionor Sludge jest również zmniejszenie ilości osadów nadmiernych wymagających przetwarzania, w tym ich stabilizacji. Od strony eksploatacyjnej zminimalizowano również komplikacje ze stabilnością i efektywnością pracy reaktorów sekwencyjnych. Stężenia limitowanych zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych, w tym azotu i fosforu ogólnego, nie wykazują przekroczeń stężeń dopuszczalnych (Rys. 1).

Innowacyjnym w technologii Bionor Sludge jest rozwiązanie polegające na mieszaniu osadów nadmiernych z roztworem środka strukturotwórczego (Rys. 2). Uzyskana mieszanina kierowana jest następnie współ-strumieniowo ze ściekami do filtra taśmowego. Odwodnione osady nadmierne wraz z osadami surowymi stanowią wsad kompostowy (osady mieszane), transportowany do termo - kompostownika, który jest trójstrefowym termo-bioreaktorem. Poddanie osadów nadmiernych procesowi kompostowania zastępuje jego stabilizację w ciągu technologicznym oczyszczania ścieków (Rys. 2).



Rys. 1. Średnioroczne wartości wskaźników zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych w roku 2015, na podstawie [7]

Fig. 1. The average annual values of pollutants in the treated wastewater in 2015, based on [7]



Rys. 2. Schemat technologiczny oczyszczalni w Lubowie k \ Gniezna z wdrożoną technologią Bionor Sludge, na podstawie [6]

Fig. 2. Technological scheme of wastewater treatment plants in Lubowo near Gniezno with the implemented Bionor Sludge technology, based on [6]

Proces termo - kompostowania intensyfikowany jest poprzez zastosowanie układów: mieszania, podgrzewania oraz napowietrzania. Czas kompostowania (zatrzymania w termo - kompostowniku) wynosi zazwyczaj od 5 do 7 dni, przy zapewnieniu ciągłości procesu kompostowania. Temperatura minimalna rzędu 70°C w kompostowniku powoduje również higienizację powstałej biomasy oraz zmniejsza jej uwodnienie z 65% do blisko 15%, co jest ogromną zaletą całego procesu (Rys. 3).



Rys. 3. Produkt termo - kompostowania w technologii Bionor Sludge

Fig. 3. Product of the thermo - composting technology Bionor Sludge

3. Metodyka badań

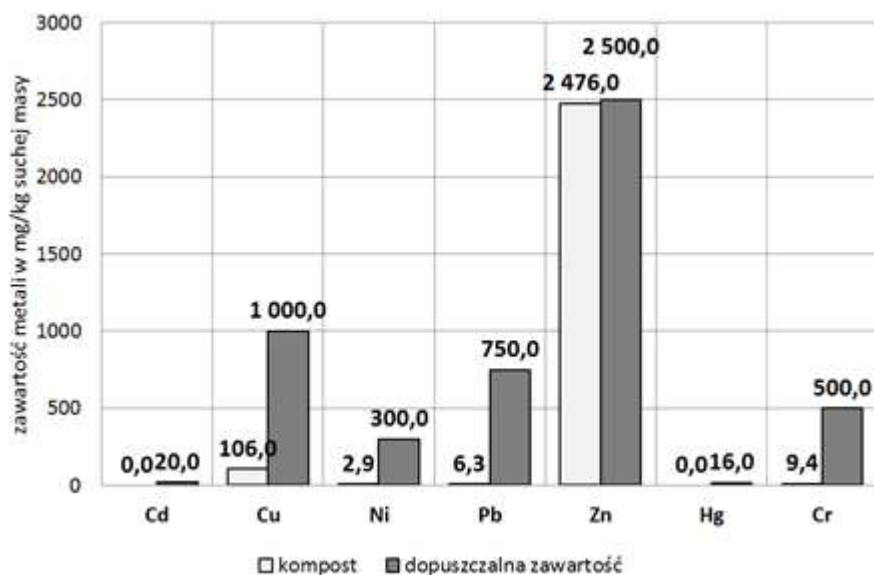
W pracy przeprowadzono wyniki analiz ścieków oczyszczonych w oparciu o kwartalne sprawozdania badań z roku 2015. Badania zostały wykonane przez akredytowane laboratorium na zlecenie firmy Bionor [7]. Przedmiotowe oznaczenia i metody badawcze były następujące: ChZT, (PN-ISO 6060:2006), BZT5 (PN-EN 1899-1:2002), zawiesina ogólna (PN-EN 872:2007 + Ap1:2007), Azot ogólny (PB/PFO-13 wyd. 3 z dnia 01/07/2013), fosfor ogólny (PN-EN ISO 6878:2006 + Ap1 + Ap2/2010)

W pracy zawarto wyniki badań ilościowo – jakościowych odwodnionych osadów mieszanych (wstępny oraz wtórny) i uzyskanego produktu termu – kompostowania oraz powstałych w czasie termicznej utylizacji popiołów. Oznaczenia wykonano na próbach pobieranych w odstępach miesięcznych w okresie czterech miesięcy. Analizy zostały wykonane w Instytucie Inżynierii Środowiska zgodnie z obowiązującymi normami:

- PN-EN 12879:2004 - Charakterystyka osadów ściekowych - Oznaczanie strat przy prażeniu suchej masy osadu,
- PN-EN 12880:2004 - Charakterystyka osadów ściekowych - Oznaczanie suchej pozostałości i zawartości wody,
- PN-Z-15011-3:2001 - Kompost z odpadów komunalnych -- Oznaczanie: pH, zawartości substancji organicznej, węgla organicznego, azotu, fosforu i potasu,
- PN-EN 11885:2009 - Oznaczanie wybranych pierwiastków metodą optycznej spektrometrii emisyjnej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICP-OES),
- PN-G-04571:1998 Oznaczanie zawartości węgla, wodoru i azotu automatycznymi analizatorami - Metoda makro,
- PN-G-04584:2001 - Paliwa stałe - Oznaczanie zawartości siarki całkowitej i popiołowej automatycznymi analizatorami,
- Zawartość tlenu i fosforu – wyliczone w oparciu o skład CHNS, oznaczony przy użyciu spektrometru XRF,
- PN-ISO 1928:2002 - Paliwa stałe - Oznaczanie ciepła spalania metodą spalania w bombie kalometrycznej i obliczanie wartości opałowej.

4. Wyniki badań i ich analiza

Analiza produktu powstającego w kompostowniku polegała na oszacowaniu parametrów nawozowych oraz energetycznych. Przeprowadzona analiza składu elementarnego, głównie w zakresie niebezpiecznych pierwiastków śladowych, wykazała niską zawartość badanych pierwiastków (Rys. 4). Porównując zawartość pierwiastków śladowych w uzyskanym kompoście z dopuszczalnymi zawartościami określonymi w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych, można stwierdzić, że uzyskany produkt spełnia pod tym względem obowiązujące normy i może zostać wykorzystany na cele przyrodnicze z zastosowaniem do gleby.

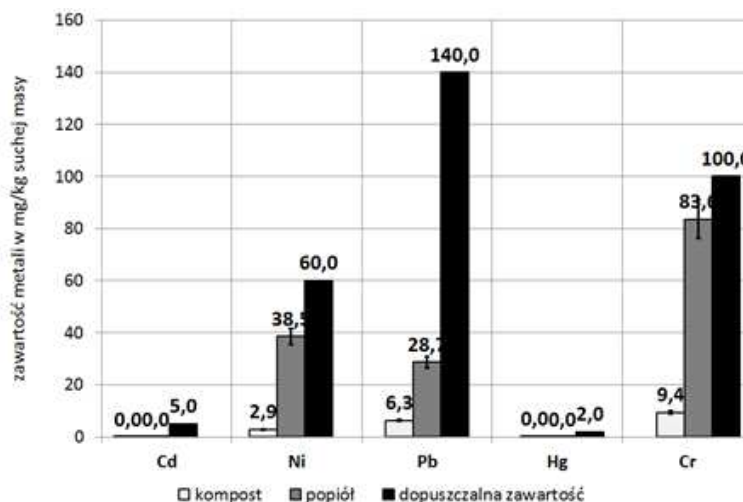


Rys. 4. Porównanie zawartości pierwiastków śladowych w uzyskanym kompoście z dopuszczalnymi zawartościami określonymi w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych

Fig. 4. Comparison of trace elements in the resulting compost with the limit values set out in the Regulation of the Minister of the Environment dated 6th February 2015. on municipal sewage sludge

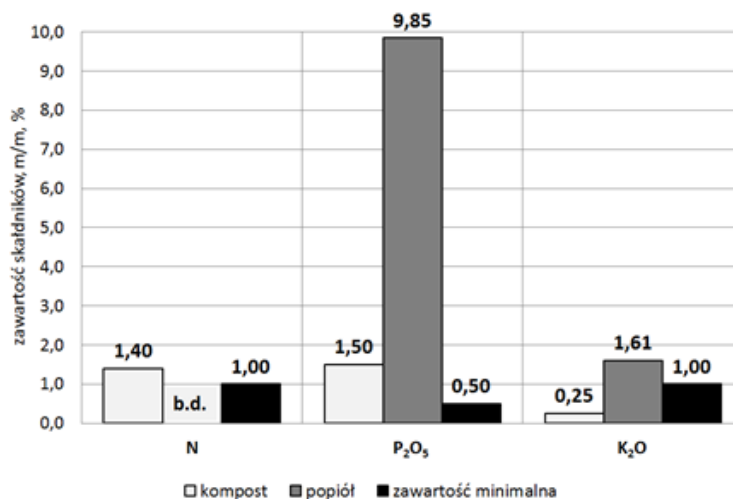
Biorąc pod uwagę możliwość uzyskania statutu nawozu, środka nawozowego lub środka wspomagającego uprawę roślin należy określić przede wszystkim jeden z najbardziej limitujących czynników jak zawartość metali ciężkich. W przypadku linii Bionor Sludge, takim nawozem może być zarówno uzyskany kompost, a także popiół powstający po jego spalaniu. Dopuszczalna zawartość zanieczyszczeń w nawozach organicznych i organiczno-mineralnych oraz organicznych i organiczno-mineralnych środkach wspomagających uprawę roślin nie jest w uzyskanym materiale przekroczone i spełnia dopuszczalne normy dla obu finalnych rozwiązań (Rys 5).

Analizując kluczowe składniki nawozowe, jak azot (N), fosfor (P) i potas (K), uzyskany materiał (kompost lub popiół, w zależności od zastosowanych rozwiązań) można uznać, że spełnia podstawowe wymagania jakościowe dla nawozów organiczno-mineralnych w postaci stałej (Rys. 6). Osady ściekowe stosowane jako nawozy znacznie zwiększają zawartość próchnicy w glebie oraz są cennym źródłem składników pokarmowych roślin. Taki sposób zagospodarowania może stanowić nawożenie uzupełniające bądź zastępuje nawożenie nawozami naturalnymi [8, 9]. Badania innych autorów także wskazują na możliwość zastosowania do produkcji nawozów popiołów ze spalania węgla brunatnego i wzbogacenia mieszanek siarczanem amonu, superfosfatem czy solami



Rys. 5 Porównanie zawartości pierwiastków śladowych w uzyskanym kompoście z dopuszczalnymi zawartościami określonymi w Rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 roku w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu

Fig. 5. Comparison of the content of trace elements in the resulting compost with content limit specified in the Regulation of the Minister of Agriculture and Rural Development of 18th June 2008 on the implementation of certain provisions of the Act on fertilizers and fertilization

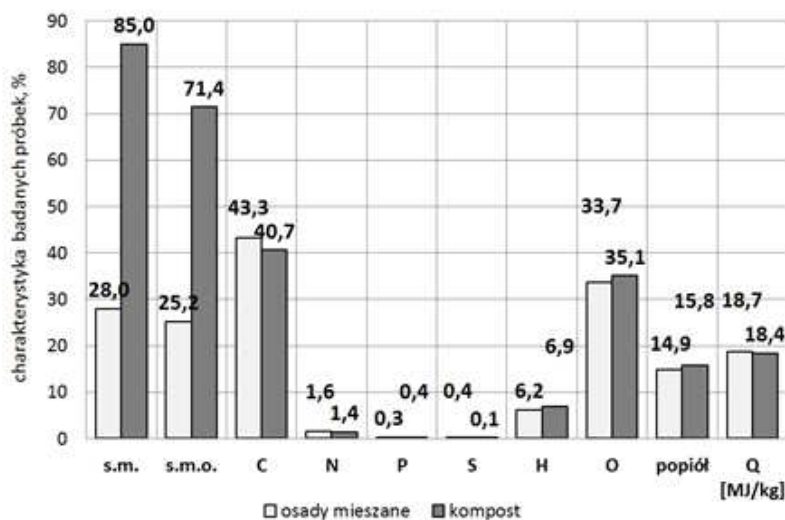


Rys. 6. Porównanie zawartości składników nawozowych w uzyskanym materiale z minimalnymi zawartościami określonymi w Rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 roku w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu

Fig. 6. Comparison of nutrient content in the resulting material with the minimum specified in the Regulation of the Minister of Agriculture and Rural Development of 18th June 2008 on the implementation of certain provisions of the act on fertilizers and fertilization

potasowymi [10]. Inne rozwiązanie proponuje granulację osadów z dodatkiem związków potasu. Osady ściekowe spełniałyby tu nie tylko rolę źródła materii organicznej, ale także inhibitora wymywania z gleby frakcji mineralnych nawozu [11]. Wykorzystanie osadów ściekowych w procesach rekultywacji przyczynia się do możliwości odzysku cennych pierwiastków, na przykład azotu, fosforu i innych składników odżywczych, które są istotne dla wzrostu roślin [12].

Rozważając natomiast charakterystykę energetyczną uzyskanego kompostu (biomasy), przy cieple spalania rzędu $18,4 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ i suchej masie rzędu 85% (Rys. 7), można badany materiał uznać za biomasę (zgodnie z ustawą o odnawialnych źródłach energii z dnia 20 lutego 2015), która podczas autotermicznego spalania wytwarza ciepło. W badaniach prowadzonych przez Zajonc uzyskano komposty o zawartości suchej masy 58 %, zawartości węgla 28 %, cieple spalania $11 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ [13]. Podobne wartości ciepła spalania $11 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ uzyskali inni autorzy [14]. W przeprowadzonych badaniach uzyskano natomiast komposty, których spalanie możliwe jest w procesie autotermicznym. Alternatywne przekształcanie odpadów komunalnych w biomasę jest cenne z uwagi na fakt włączenia przez UE odpadów komunalnych, ulegających biodegradacji do definicji odnawialnych źródeł energii – dyrektywa 2001/77/WE [14]. W badaniach innych autorów [15] stwierdzono, że w zakresie procedur przetwarzania biomasy proces jej biosuszenia jest najbardziej efektywny dla energetycznego wykorzystania kompostu. W proponowanym układzie uzyskane ciepło może zostać także odpowiednio zagospodarowane, jako dodatkowe podgrzewanie kompostownika.



Rys. 7 Ogólna charakterystyka odwodnionych osadów mieszanych (wstępny oraz wtórny) i uzyskanego produktu termo – kompostowania

Fig. 7. General characteristics of dewatered sewage sludge (preliminary and secondary) and the resulting product of thermo – composting process

5. Wnioski

Bionor Sludge to technologia, która polega na przekierowaniu, w możliwie największym stopniu, energii chemicznej zgromadzonej w ściekach komunalnych do osadów stanowiących rezerwar substancji organicznej. Cały układ technologiczny oczyszczania ścieków i przeróbki osadów charakteryzuje się również wysoką efektywnością i elastycznością pracy przy modułowej zabudowie. Umożliwia to dostosowanie do układu technologicznego istniejących, modernizowanych oraz nowo - projektowanych oczyszczalni. Możliwe i w pełni zasadne jest zastosowanie wybranych elementów omawianej instalacji w ramach modernizacji istniejących obiektów.

Według rozporządzenia 341/2008 kompost nie może być stosowany w rolnictwie czy rekultywacji gleby jeśli nie spełnia norm zawartości substancji niebezpiecznych, ale może być użyty w celach energetycznych. W przypadku omawianego rozwiązania uzyskany kompost można zastosować do obu rozwiązań. Wytwarzanie kompostu w proponowanym układzie jest procesem nie emitującym substancje odorowe a sam kompost jest suchym i bezzapachowym substratem. Spalanie uzyskanej biomasy nie powoduje emisji niebezpiecznych pierwiastków, z uwagi na fakt braku takich w materiale wyjściowym. Natomiast uzyskany w trakcie procesu popiół stanowi cenny surowiec do produkcji nawozów fosforowych, potasowych i wapniowych. Najważniejszą korzyścią z zastosowania technologii jest brak osadów ściekowych, które miałyby trafić na składowisko.

Technologia Bionor Sludge jest aktualną odpowiedzią rynku na istniejące potrzeby i obowiązujące uwarunkowania prawne dla gminnych oczyszczalni ścieków o przepustowości do $1000 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. Dzięki swej innowacyjności i założeniom o możliwie najlepszym wykorzystaniu zasobów nawozowych i / lub energetycznych, umożliwia racjonalne funkcjonowanie oczyszczalni i tym samym znaczące odciążenie budżetu gmin i ostatecznie ich mieszkańców.

Literatura

- [1] <https://bdl.stat.gov.pl/BDL/dane/temat>, Główny Urząd statystyczny, Bank Danych Lokalnych, Stan i Ochrona Środowiska, Komunalne oczyszczalnie ścieków, {dostęp 19.11.2015r.}.
- [2] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych.
- [3] Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 roku w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu.
- [4] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach.
- [5] Ustawa z dnia 20 lutego 2015 o odnawialnych źródłach energii.
- [6] Bionor Sludge, materiały informacyjne firmy Bionor Sp. z o.o.
- [7] Materiały przekazane przez firmę Bionor, analizy ścieków oczyszczonych.
- [8] Rosik – Dulewska C.: Podstawy gospodarki odpadami. PWN, Warszawa 2008.
- [9] Środa K., Kijo-Kleczkowska A., Otwinowski H.: Metody utylizacji osadów ściekowych. Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, vol. 15, nr 2, 2013, s. 33-50.

- [10] Krzywy E., Wołoszczyk C., Mozdzer E., Possibility of Producing Granulated Organic-Mineral Fertilizers from Some Municipal and Industrial Wastes, CHEMIK, vol. 69, no. 10, 2015, s. 684–697.
- [11] Wiater J., Łukowski A., Fitko H., Stelmach S., Sobolewski A., Figa J., Wstępne badania aplikacyjne granulowanych nawozów organiczno-mineralnych na bazie o sadów ściekowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Inżynieria Środowiska, Z. 16, t. 2, 2003, s. 233-237.
- [12] Kacprzak M, Grobelak A, Grosser A, Prasad MNV.: Efficacy of Biosolids in Assisted Phytostabilization of Metalliferous Acidic Sandy Soils with Five Grass Species. Int. J. Phytoremediation, vol. 16, no. 6, 2014, pp. 593–608.
- [13] Zajonc O., Raclavská H., Juchelková D., Volfová M.: Energetic properties of compost, Journal of the Polish Mineral Engineering Society, no 2(28), 2011, pp. 77-78.
- [14] Karcz H., Grabowicz M., Komorowski W.: Wykorzystanie biomasy pochodzącej z odpadów komunalnych do produkcji energii cieplnej i elektrycznej, Procesy Termiczne, Piece Przemysłowe i Kotły, nr 11-12, 2012, s. 8-18.
- [15] Skanderová K, J. Malat'ák, J. Bradna. Energy use of compost pellets for small combustion plants, Agronomy Research, no. 13(2), 2015, pp.413–419.

Podziękowania: *The research leading to these results has received funding from the Polish-Norwegian Research Programme operated by the National Centre for Research and Development under the Norwegian Financial Mechanism 2009-2014 in the frame of Project Contract No (POL NOR/201734/76)*

PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF BIOMASS AS ACHIEVED IN THE NEW SEWAGE SLUDGE PROCESSING TECHNOLOGY "BIONOR SLUDGE"

S u m m a r y

The current legal situation in a certain way generates exploration and development of modern technologies that allow to solve the problem of sewage sludge management in Poland not only for large, but most of all for the small and medium-sized installation, because most of the produced sewage sludge in such installations currently is going to landfill. The aim of the study is to assess the functioning of the prototype line for processing of sewage sludge and the assessment of obtained biomass. Bionor Sludge Technology is a solution for municipal wastewater treatment plants with the capacity of up to 1000m³ /day. The resulting sewage sludge is adequately treated in the installation and can be used in two ways: as compost or as a feedstock for the simple thermal installation, where it can be reused as the biomass in accordance with the law on renewable energy sources. The paper presents research allowing to a preliminary assessment of the quality of obtained product as potential fertilizer or energetic biomass. This technology involves redirection of the chemical energy stored in sewage sludge to constitute a reservoir of organic matter. The whole technological system allows to adjust to the technological system of existing, upgraded and newly designed waste water treatment plants. Bionor Sludge technology due to the innovation and assumptions about the best possible use of the resources of fertilizer and / or energy allows the rational functioning of the treatment plant, thus significantly reducing the load of the budget of municipalities and ultimately their inhabitants.

Keywords: sludge management, sewage treatment plants, compost, biomass, renewable energy

Przesłano do redakcji: 29.01.2016 r.

Przyjęto do druku: 1.06.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.106

Krzysztof CHMIEŁOWSKI¹

Bernadeta RAJCHEL²

Magdalena KARNAS³

ANALIZA SKUTECZNOŚCI DZIAŁANIA OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW „KUJAWY”

W pracy przedstawiono analizę skuteczności działania oczyszczalni ścieków „Kujawy”. Jest to mechaniczno-biologiczna oczyszczalnia ścieków z podwyższonym usuwaniem biogenów. Obiekt został zaprojektowany na 251 818 RLM i na przepływ średniodobowy wynoszący 80 000 m³·d⁻¹. W procesie biologicznym wykorzystywany jest trójfazowy reaktor biologiczny, w którym jest prowadzony proces niskoobciążonego osadu czynnego technologią Bardenpho (zmodyfikowaną). Badaniem objęto okres od stycznia 2009 roku do listopada 2014 roku. Analizie poddano następujące wskaźniki zanieczyszczeń: BZT₅, ChZT_{Cr}, zawiesina ogólna, Nog., Pog.. Uwzględniając wartości poszczególnych wskaźników obliczono stopień redukcji zanieczyszczeń. Dodatkowo obliczono współczynnik niezawodności oczyszczalni dla analizowanych wskaźników zanieczyszczeń. W pracy obliczono podstawowe statystyki opisowe dotyczące wartości badanych wskaźników w ściekach surowych, oczyszczonych oraz ich redukcji. Na podstawie zebranego i przeanalizowanego materiału należy stwierdzić, że oczyszczalnia ścieków „Kujawy” pod względem zmniejszania podstawowych wskaźników zanieczyszczenia ścieków działa poprawnie, natomiast należy zwiększyć skuteczność usuwania azotu ogólnego.

Słowa kluczowe: ścieki bytowe, oczyszczalnia, skuteczność oczyszczania, redukcja

1. Wprowadzenie

Oczyszczanie ścieków bytowych jest ważnym zagadnieniem dotyczącym większości aglomeracji. Nieoczyszczone ścieki powodują degradację środowiska naturalnego i stanowią poważny problem. Istnieją trzy podstawowe metody oczyszczania ścieków, jak: mechaniczna, biologiczna i chemiczna. W metodzie biologicznej najczęściej wykorzystywany jest osad czynny. Osad czynny to kolonie mikroorganizmów tworzące cząstki o średnicy 50÷100 μm. W zależności

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Krzysztof Chmielowski, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej, Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, tel. 12 6624187, k.chmielowski@ur.krakow.pl

² Bernadeta Rajchel, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Krośnie

³ Magdalena Karnas, absolwentka Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie

od zróżnicowania stopnia obciążenia następuje zmiana różnorodności gatunków w komorze osadu czynnego [1]. Głównymi składnikami usuwanymi ze ścieków są związki węgla, fosforu, azotu oraz zawiesina ogólna. Przykładem obiektu usuwającego ze ścieków wymienione związki jest oczyszczalnia ścieków „Kujawy” zlokalizowana w Krakowie, w województwie małopolskim. Wymagane wartości poszczególnych wskaźników zanieczyszczenia ścieków na odpływie z oczyszczalni do odbiornika, zostały określone przez Rozporządzenie [7] oraz pozwolenie wodno-prawne [6].

2. Cel pracy i metodyka badań

Celem pracy jest analiza skuteczności działania oczyszczalni ścieków „Kujawy”. Badaniami objęto okres od stycznia 2009 roku do listopada 2014 roku. Analizie poddano następujące wskaźniki zanieczyszczeń: BZT₅, ChZT_{Cr}, zawiesina ogólna, N_{og.}, P_{og.}. Próbki ścieków do analiz pobierano zgodnie z ustalonymi normami (PN-74/C-04620/00, PN-EN 25667-2: 1999). W sumie w latach 2009-2014 przeprowadzono ponad tysiąc serii analiz fizykochemicznych, podczas których zbadano ponad dwa tysiące próbek ścieków. Analizy prób ścieków wykonano zgodnie z obowiązującymi normami (PN-EN 1899-2:2002, PN-ISO 15705:2005, PN-EN 872:2007, PN-EN 11905-1:2001, PN-EN ISO 15681-2:2006). Metody oznaczania badanych wskaźników były następujące: BZT₅ - metoda manometryczna, ChZT_{Cr} - metoda dwuchromianowa, zawiesina ogólna - metoda wagowa bezpośrednia, azot ogólny – z użyciem spektrofotometru, fosfor ogólny - z użyciem spektrofotometru. Analizy fizykochemiczne wykonane były przez laboratorium oczyszczalni ścieków „Kujawy” oraz przez Centralne laboratorium w oczyszczalni w Płaszowie.

Uwzględniając wartości poszczególnych wskaźników obliczono stopień redukcji zanieczyszczeń.

$$\eta = \frac{S_p - S_k}{S_p} \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

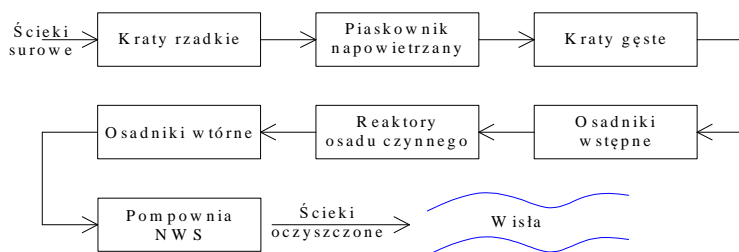
gdzie S_p – wartość wskaźnika w ściekach surowych [$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$],

S_k – wartość wskaźnika w ściekach oczyszczonych [$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$].

3. Charakterystyka obiektu badań

Oczyszczalnia ścieków „Kujawy” znajduje się w południowo-wschodniej części miasta Krakowa. Obiekt został zaprojektowany na 251 818 RLM i na przepływ średniodobowy wynoszący $80\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. „Kujawy” to oczyszczalnia mechaniczno-biologiczna, z podwyższonym usuwaniem związków azotu i fosforu oraz wspomaganie chemiczne w zakresie eliminacji fosforu ze ścieków przy użyciu siarczynu żelaza. W procesie biologicznym wykorzystywany jest trójfazowy reaktor biologiczny, w którym jest prowadzony proces niskoobciążonego osadu czynnego technologią Bardenpho (zmodyfikowaną). Proces prowa-

dzi się przy stosowaniu recykulacji wewnętrznej i zewnętrznej. Podczas zewnętrznej recykulacji wprowadzono predenitryfikację osadu recykulowanego, który ma na celu odtlenienie recykulowanego osadu i usunięcie zawartych w tym osadzie azotanów. Tlen, który jest niezbędny podczas oczyszczania biologicznego dostarczony zostaje za pomocą urządzeń napowietrzających w części tlenowej komór. Zgodnie z pozwoleniem wodno-prawnym [6] dopuszczalne stężenie zanieczyszczeń w oczyszczonych ściekach nie powinno przekroczyć następujących wartości: BZT_5 - $15 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$, $ChZT_{Cr}$ - $125 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$, zawiesina ogólna - $35 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, azot ogólny - $22,5 \text{ mgN}_{og} \cdot \text{dm}^{-3}$, fosfor ogólny - $1,5 \text{ mgP}_{og} \cdot \text{dm}^{-3}$. Poniżej na rycinie 1 przedstawiono uproszczony schemat blokowy przepływu ścieków przez główne obiekty na oczyszczalni ścieków „Kujawy”.



Rys. 1. Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków „Kujawy”

Fig. 1. Technological flow sheet of the “Kujawy” sewage treatment plant

4. Wyniki badań i dyskusja

W tabeli 1 przedstawiono wyniki badań dotyczące wartości analizowanych wskaźników zanieczyszczenia w ściekach surowych.

Tabela 1. Podstawowe charakterystyki zanieczyszczeń zawartych w ściekach surowych dopływających do oczyszczalni ścieków „Kujawy”

Table 1. Basic characteristics of pollutants contained in raw sewage flowing into the “Kujawy” sewage treatment plant

Parametr	Jednostka	BZT_5	$ChZT_{Cr}$	Zawiesina ogólna	N_{og}	P_{og}
Liczba próbek	szt.	1009	1008	1009	1007	1003
Średnia	$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$	305,77	670,11	277,98	74,10	7,19
Minimum	$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$	33,00	81,00	54,00	9,80	0,71
Maksimum	$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$	1100,00	2286,00	1000,00	195,00	20,90
Mediana	$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$	300,00	667,50	270,00	71,60	7,23
Rozstęp	$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$	1067,00	2205,00	946,00	185,20	20,19
Odchylenie standardowe	$\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$	103,06	222,25	112,09	20,14	1,71
Współczynnik zmienności	%	33,71	33,17	40,32	27,17	23,79

Na podstawie danych zawartych w tabeli 1 stwierdzono, że wartość BZT₅ ścieków surowych wynosiła od 33,00 do 1100,00 mgO₂·dm⁻³, przy wartości średniej wynoszącej 305,77 mgO₂·dm⁻³. Podobne wyniki przedstawiają inni autorzy [5, 8, 9, 10]. Według Hartmanna [4] wartość tego wskaźnika dla ścieków komunalnych wynosi ponad 200 mgO₂·dm⁻³. Wartość ChZT_{Cr} w ściekach surowych wahała się w przedziale od 81,00 do 2286,00 mgO₂·dm⁻³. Średnia wartość tego wskaźnika w badanym wieloleciu wyniosła 670,11 mgO₂·dm⁻³. Wartości dla ChZT_{Cr} dla ścieków komunalnych wynoszą poniżej 600 mg·dm⁻³, w ściekach przemysłowych mogą wzrosnąć do kilku tysięcy [4]. Stężenie zawiesiny ogólnej w ściekach dopływających do oczyszczalni wahało się w przedziale od 54,00 do 1000,00 mg·dm⁻³, przy wartości średniej wynoszącej 277,98 mg·dm⁻³. Zawartość azotu ogólnego w ściekach surowych wynosiła od 9,80 do 195,00 mgN_{og}·dm⁻³, a fosforu ogólnego od 0,71 do 20,90 mgP_{og}·dm⁻³. Średnia zawartość azotu ogólnego wynosiła 74,10 mgP_{og}·dm⁻³, a fosforu 7,19 mgP_{og}·dm⁻³. Ścieki surowe charakteryzowały się wysokimi wartościami rozstępu wynoszącymi dla BZT₅ – 1067 mg·dm⁻³, ChZT_{Cr} – 2205,00 mg·dm⁻³, zawiesina ogólna – 946,00 mg·dm⁻³.

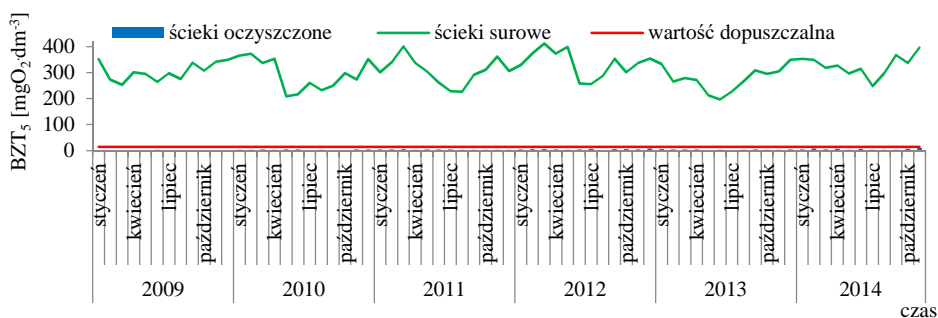
Tabela 2. Podstawowe charakterystyki zanieczyszczeń zawartych w ściekach odpływających z oczyszczalni ścieków „Kujawy”

Table 2. Basic characteristics of pollutants contained in sewage flowing out of the “Kujawy” sewage treatment plant

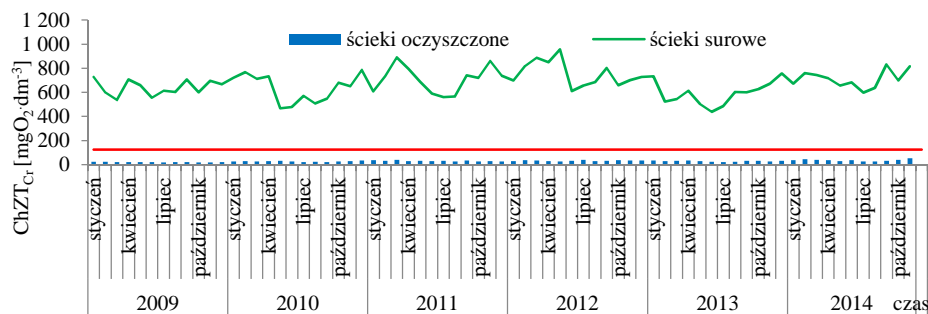
Parametr	Jednostka	BZT ₅	ChZT _{Cr}	Zawiesina ogólna	N _{og}	P _{og}
Liczba próbek	szt.	1009	1009	1008	1009	998
Średnia	mg·dm ⁻³	4,02	28,71	6,09	21,84	0,42
Minimum	mg·dm ⁻³	1,00	4,10	0,30	3,97	0,08
Maksimum	mg·dm ⁻³	22,00	89,00	33,00	107,00	2,78
Mediana	mg·dm ⁻³	3,30	27,60	5,00	17,10	0,35
Rozstępn	mg·dm ⁻³	21,00	84,90	32,70	103,03	2,78
Odchylenie standardowe	mg·dm ⁻³	2,46	9,15	4,09	15,67	0,26
Współczynnik zmienności	%	61,23	31,86	67,04	71,77	63,14

Na podstawie danych zawartych w tabeli 2 stwierdzono, że wartość BZT₅ w ściekach oczyszczonych kształtowała się na poziomie od 1,00 do 22,00 mgO₂·dm⁻³, a wartość średnia wyniosła 4,02 mgO₂·dm⁻³. Mediana tego wskaźnika wyniosła 3,30 mgO₂·dm⁻³. Wartość ChZT_{Cr} w ściekach wahała się od 4,10 do 89,00 mgO₂·dm⁻³, a średnio wynosiła – 28,71 mgO₂·dm⁻³. Średnie stężenie zawiesiny ogólnej wynosiło 6,09, wartość minimalna – 0,30, a maksymalna – 33,00 mg·dm⁻³. Wartość azotu ogólnego kształtowała się na poziomie od 3,97 do 107,00 mg·dm⁻³. Zawartość fosforu ogólnego w ściekach oczyszczonych wynosiła od 0,08 do 2,78, przy wartości średniej na poziomie 0,42 mg·dm⁻³.

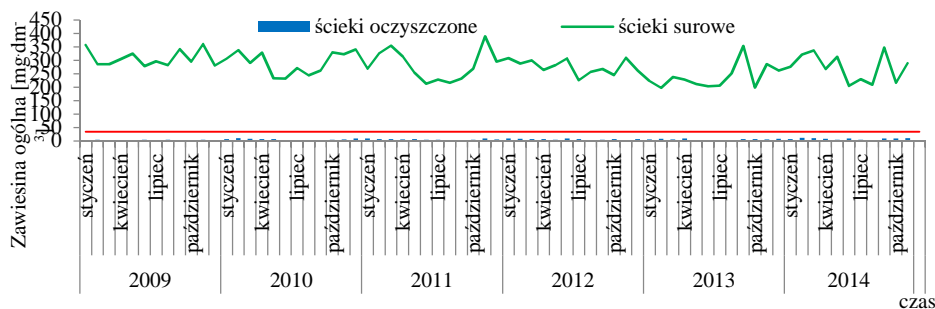
Na rysunkach 2–6 przedstawiono wyniki dotyczące ścieków surowych i oczyszczonych dla analizowanych wskaźników. W tabeli 3 przedstawiono stopień redukcji wraz z współczynnikiem niezawodności.



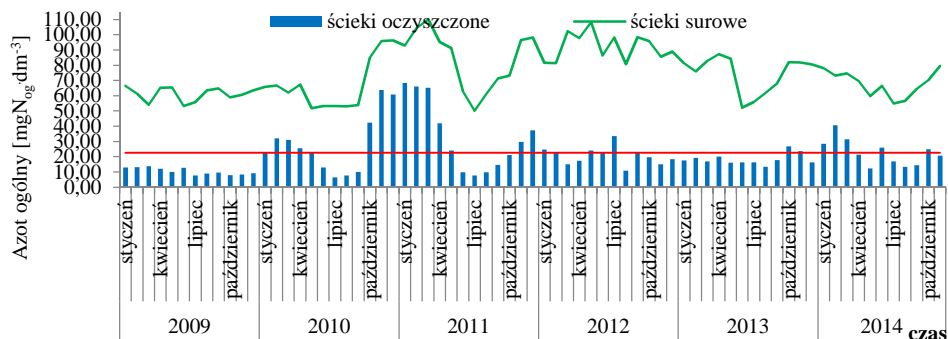
Rys. 2. Średnie miesięczne wartości BZT₅ ścieków surowych i oczyszczonych
 Fig. 2. Average monthly values of BOD₅ for raw and treated sewage



Rys. 3. Średnie miesięczne wartości ChZTCr ścieków surowych i oczyszczonych
 Fig. 3. Average monthly values of COD_{Cr} for raw and treated sewage

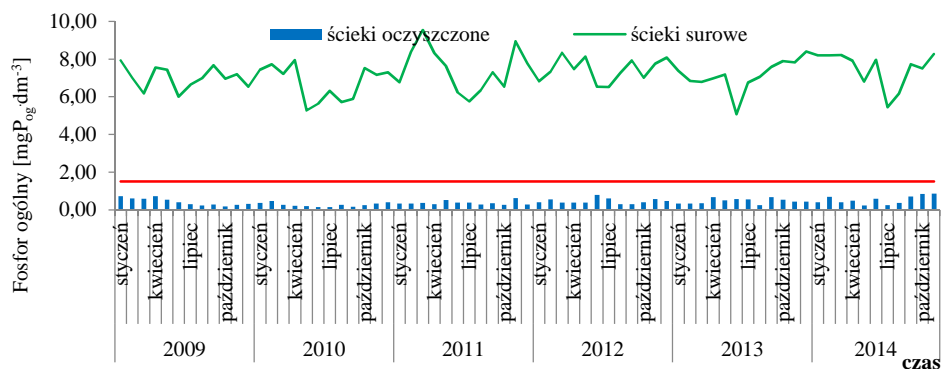


Rys. 4. Średnie miesięczne wartości zawiesiny ogólnej w ściekach surowych i oczyszczonych
 Fig. 4. Average monthly values of total suspended solids for raw and treated sewage



Rys. 5. Średnie miesięczne wartości azotu ogólnego w ściekach surowych i oczyszczonych

Fig. 5. Average monthly values of total nitrogen for raw and treated sewage



Rys. 6. Średnie miesięczne wartości fosforu ogólnego w ściekach surowych i oczyszczonych

Fig. 6. Average monthly values of total phosphorus for raw and treated sewage

Maksymalna dopuszczalna wartość wskaźnika BZT_5 w ściekach oczyszczonych wynosi $15 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ i zgodnie z rysunkiem 2 nie zaobserwowano przekroczeń tego wskaźnika. W przypadku wskaźnika ChZT_{Cr} dopuszczalny jego poziom wynosi $125 \text{ mgO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$ i również nie został przekroczony w analizowanym okresie (rysunek 3). Dla zawiesiny ogólnej dopuszczalne stężenie w ściekach oczyszczonych wynosi $35 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ i zgodnie z rysunkiem 4 nie zaobserwowano przekroczeń tej wartości. Sytuacja jest odmienna w przypadku azotu ogólnego w ściekach oczyszczonych. Na rysunku 5 widać wielokrotne przekroczenia wartości tego wskaźnika w ściekach oczyszczonych wynoszącej $22,5 \text{ mgN}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$. W stosunku do wartości średnich miesięcznych stwierdzono 28 przekroczeń azotu ogólnego w stosunku wartości dopuszczalnej, co stanowi 39,44% wartości. Zaobserwowane wysokie stężenia azotu ogólnego w ściekach surowych (zwłaszcza w okresie od października 2010 do kwietnia 2011) mogły się przyczynić do wystąpienia podwyższonych wartości tego wskaźnika w ście-

kach oczyszczonych. Przyczyną wysokich stężeń azotu ogólnego w ściekach surowych mogły być ścieki dowożone taborem asenizacyjnym. Dla fosforu ogólnego wartość dopuszczalna w ściekach oczyszczonych wynosi $1,5 \text{ mgP}_{\text{og}} \cdot \text{dm}^{-3}$ i jak widać na rysunku 6 w analizowanym okresie nie wystąpiło przekroczenie tej wartości. W tabeli 3 zestawiono stopień redukcji badanych wskaźników dla okresu badawczego od 2009 do 2014 roku.

Tabela 3. Analiza pracy oczyszczalni ścieków „Kujawy” w latach 2009-2014

Table 3. Analysis of operation of the “Kujawy” sewage treatment plant in the period of 2009-2014

Wskaźnik	Wymagany stopień redukcji	Stopień redukcji [%]		
		Wartość średnia	Wartość minimalna	Wartość maksymalna
BZT ₅	90	98,56	91,82	99,77
ChZT _{Cr}	75	95,25	64,20	99,45
zawiesina ogólna	90	97,45	80,67	99,70
azot ogólny	85	70,69	---	92,86
fosfor ogólny	90	93,93	59,46	100,00

Interpretując dane z tabeli 3 można stwierdzić, że oczyszczalnia ścieków „Kujawy” osiągnęła wymagany stopień redukcji zanieczyszczeń określany przez następujące wskaźniki: BZT₅, ChZT_{Cr}, zawiesinę ogólną oraz fosfor ogólny. Jedynie średnia redukcja azotu ogólnego przyjęła wartość mniejszą niż określona w pozwoleniu wodno-prawnym. Analizując wartości redukcji badanych wskaźników zanieczyszczenia ścieków należy stwierdzić, że są one wyższe niż te podawane w innych publikacjach [9,10] (za wyjątkiem azotu ogólnego).

W dalszej części w tabeli 4 przedstawiono stopień redukcji BZT₅ w latach 2009-2014.

Tabela 4. Stopień redukcji BZT₅ w latach 2009-2014 w oczyszczalni ścieków „Kujawy”Table 4. Degree of BOD₅ reduction in the period of 2009-2014 in the “Kujawy” sewage treatment plant

Lp.	Rok	Jednostka	Stopień redukcji BZT ₅			Odchylenie standardowe
			Wartość średnia	Wartość minimalna	Wartość maksymalna	
1.	2009	%	99,15	96,57	99,76	0,47
2.	2010		98,72	93,48	99,72	0,96
3.	2011		98,54	94,53	99,62	0,79
4.	2012		98,46	92,17	99,61	1,00
5.	2013		98,33	94,73	99,70	0,95
6.	2014		98,07	91,82	99,77	1,27

Analizując dane przedstawione w tabeli 4 można zauważyć, że w latach 2009-2014 skuteczność zmniejszenia BZT_5 była na wysokim poziomie. Średnia wartość zmniejszenia BZT_5 w roku 2009 wyniosła 99,15% i była najwyższa w badanych latach. W pozostałych latach za każdym razem przekroczyła 98%. Należy stwierdzić, że jest to wysoka redukcja i świadczy o poprawnej pracy oczyszczalni. Na uwagę zasługują niskie wartości odchylenia standardowego w poszczególnych latach (od 0,47 w roku 2009 do 1,27 w roku 2014). Niskie wartości odchylenia standardowego świadczą o stabilności zachodzących procesów i ustabilizowanej redukcji wskaźnika BZT_5 .

Kolejnym analizowanym wskaźnikiem było $ChZT_{Cr}$. Dokonano analizy redukcji tego wskaźnika w rozbiciu na lata 2009-2014. W tabeli 5 przedstawiono stopień redukcji $ChZT_{Cr}$ w latach 2009-2014 w oczyszczalni ścieków „Kujawy”.

Tabela 5. Stopień redukcji $ChZT_{Cr}$ w latach 2009-2014 w oczyszczalni ścieków „Kujawy”

Table 5. Degree of COD_{Cr} reduction in the period of 2009-2014 in the “Kujawy” sewage treatment plant

Lp.	Rok	Jednostka	Stopień redukcji $ChZT_{Cr}$			Odchylenie standardowe
			Wartość średnia	Wartość minimalna	Wartość maksymalna	
1.	2009	%	96,49	90,33	98,97	1,35
2.	2010		95,43	85,05	99,45	1,97
3.	2011		95,22	84,38	98,47	1,87
4.	2012		95,28	84,67	98,32	2,12
5.	2013		94,56	84,70	98,27	2,47
6.	2014		94,21	64,20	98,75	3,62

Biorąc pod uwagę dane przedstawione w tabeli 5 można zauważyć, że w latach 2009-2014 skuteczność zmniejszenia $ChZT_{Cr}$ była na niższym poziomie niż redukcja BZT_5 . Średnia wartość zmniejszenia $ChZT_{Cr}$ w roku 2009 wyniosła 96,49% i była najwyższa w badanych latach. W pozostałych latach za każdym razem przekroczyła 94%. Biorąc powyższe pod uwagę należy stwierdzić, że jest to wysoka redukcja i świadczy o poprawnej pracy oczyszczalni. Podobnie jak w przypadku BZT_5 na uwagę zasługują niskie wartości odchylenia standardowego $ChZT_{Cr}$ w poszczególnych latach (od 1,35% w roku 2009 do 3,62% w roku 2014). Niskie wartości odchylenia standardowego świadczą o ustabilizowanej redukcji wskaźnika $ChZT_{Cr}$.

Trzecim analizowanym wskaźnikiem z grupy podstawowej była zawiesina ogólna. Dokonano analizy redukcji zawiesiny ogólnej w rozbiciu na poszczególne lata badanego okresu. W tabeli 6 przedstawiono stopień redukcji zawiesiny ogólnej w latach 2009-2014 w oczyszczalni ścieków „Kujawy”.

Poddając analizie dane przedstawione w tabeli 6 można zauważyć, że w latach 2009-2014 skuteczność zmniejszenia zawiesiny ogólnej była na wysokim

poziomie. Średnia wartość zmniejszenia zawiesiny ogólnej w roku 2009 wyniosła 98,54% i była najwyższa w badanych latach. W pozostałych latach za każdym razem przekroczyła 97% za wyjątkiem roku 2014 gdzie średnia skuteczność zmniejszenia wyniosła 96,48% i była najniższa w badanym okresie. Można stwierdzić, że jest to wysoka redukcja i świadczy o poprawnej pracy oczyszczalni. Podobnie jak w przypadku BZT₅ i ChZT_{Cr} na uwagę zasługują niskie wartości odchylenia standardowego zawiesiny ogólnej w poszczególnych latach (od 1,01% w roku 2009 do 2,99% w roku 2014). Niskie wartości odchylenia standardowego świadczą o ustabilizowanej redukcji zawiesiny ogólnej.

W dalszej części przedstawiono skuteczność zmniejszenia wskaźników biogennych (azot ogólny, fosfor ogólny). Dokonano analizy redukcji azotu ogólnego w rozbiciu na poszczególne lata badanego okresu. W tabeli 7 przedstawiono stopień redukcji azotu ogólnego w latach 2009-2014 w oczyszczalni ścieków „Kujawy”.

Tabela 6. Stopień redukcji zawiesiny ogólnej w latach 2009-2014 w oczyszczalni ścieków „Kujawy”

Table 6. Degree of total suspended solids reduction in the period of 2009-2014 in the “Kujawy” sewage treatment plant

Lp.	Rok	Jednostka	Stopień redukcji zawiesiny ogólnej			Odchylenie standardowe
			Wartość średnia	Wartość minimalna	Wartość maksymalna	
1.	2009	%	98,54	92,20	99,67	1,01
2.	2010		97,74	86,47	99,48	1,71
3.	2011		97,45	87,27	99,46	1,74
4.	2012		97,20	87,50	99,70	2,25
5.	2013		97,01	90,00	99,68	1,90
6.	2014		96,48	80,67	99,58	2,99

Tabela 7. Stopień redukcji azotu ogólnego w latach 2009-2014 w oczyszczalni ścieków „Kujawy”

Table 7. Degree of total nitrogen reduction in the period of 2009-2014 in the “Kujawy” sewage treatment plant

Lp.	Rok	Jednostka	Stopień redukcji N _{og}			Odchylenie standardowe
			Wartość średnia	Wartość minimalna	Wartość maksymalna	
1.	2009	%	82,27	44,66	92,86	6,55
2.	2010		61,32	7,26	92,17	20,08
3.	2011		63,38	-46,98	89,93	22,42
4.	2012		77,33	34,75	90,00	9,57
5.	2013		74,46	50,00	90,34	8,12
6.	2014		62,64	-419,39	91,74	43,98

Analizując dane przedstawione w tabeli 7 można zauważyć, że w latach 2009-2014 skuteczność zmniejszenia azotu ogólnego była na średnim poziomie. Wartość redukcji tego wskaźnika określona przez rozporządzenie [7] nie powinna być niższa niż 85%. Średnia wartość zmniejszenia azotu ogólnego w roku 2009 wyniosła 82,27% i była najwyższa w badanych latach. W pozostałych latach kształtowała się na niższym poziomie (od 61,32% w roku 2010 do 77,33% w roku 2012). Można stwierdzić, że jest to niska redukcja i świadczy o okresowo wadliwej pracy oczyszczalni. Potwierdzają to wysokie wartości odchylenia standardowego azotu ogólnego w poszczególnych latach (od 6,55% w roku 2009 do 43,98% w roku 2014). Wysokie wartości odchylenia standardowego świadczą o nieustabilizowanej redukcji azotu ogólnego. Powodem tego stanu może być niska temperatura ścieków w okresie zimowym, co może spowalniać procesy nitrifikacji i denitrifikacji w reaktorze biologicznym. Dlatego w przyszłości należy wykonać dodatkowe badania w zakresie oddziaływania temperatury ścieków surowych na skuteczność usuwania związków biogenych.

Ostatnim analizowanym wskaźnikiem był fosfor ogólny. Dokonano analizę redukcji fosforu ogólnego w rozbiciu na poszczególne lata badanego okresu. W tabeli 8 przedstawiono stopień redukcji fosforu ogólnego w latach 2009-2014 w oczyszczalni ścieków „Kujawy”.

Tabela 8. Stopień redukcji fosforu ogólnego w latach 2009-2014 w oczyszczalni ścieków „Kujawy”

Table 8. Degree of total phosphorus reduction in the period of 2009-2014 in the “Kujawy” sewage treatment plant

Lp.	Rok	Jednostka	Stopień redukcji P _{og}			Odchylenie standardowe
			Wartość średnia	Wartość minimalna	Wartość maksymalna	
1.	2009	%	93,62	71,29	98,79	3,97
2.	2010		95,87	73,48	98,85	3,04
3.	2011		94,63	69,82	99,99	3,26
4.	2012		93,39	59,46	97,76	4,56
5.	2013		93,15	72,81	98,44	3,73
6.	2014		92,68	63,80	98,85	5,82

Biorąc pod uwagę dane przedstawione w tabeli 8 można zauważyć, że w latach 2009-2014 skuteczność zmniejszenia fosforu ogólnego była na wysokim poziomie. Wartość redukcji tego wskaźnika określona przez rozporządzenie [7] nie powinna być niższa niż 90%. Średnia wartość zmniejszenia fosforu ogólnego w roku 2010 wyniosła 95,87% i była najwyższa w badanych latach. W pozostałych latach za każdym razem przekroczyła 93% za wyjątkiem roku 2014 gdzie średnia skuteczność zmniejszenia fosforu ogólnego wyniosła 92,68% i była najniższa w badanym okresie. Można stwierdzić, że jest to wysoka redukcja

i świadczy o poprawnej pracy oczyszczalni. Tak wysoka redukcja fosforu ogólnego wynika z zastosowania odpowiednich środków do strącenia tego pierwiastka w procesie chemicznym. Wartości odchylenia standardowego redukcji fosforu ogólnego w poszczególnych latach kształtowały się od 3,04% w roku 2010 do 5,82% w roku 2014.

5. Podsumowanie i wnioski

Celem artykułu była analiza skuteczności działania oczyszczalni ścieków „Kujawy”. Badaniami objęto okres od stycznia 2009 roku do listopada 2014 roku. Analizie poddano następujące wskaźniki zanieczyszczeń: BZT₅, ChZT_{Cr}, zawiesina ogólna, N_{og}, P_{og}. Przeprowadzona analiza wyników pozwoliła na sformułowanie następujących stwierdzeń i wniosków:

- stwierdzono bardzo wysoką skuteczność zmniejszenia wskaźników zanieczyszczeń ścieków za wyjątkiem azotu ogólnego;
- średni stopień redukcji w badanym okresie dla poszczególnych wskaźników kształtował się następująco: dla BZT₅ – 98,56%, ChZT_{Cr} – 95,25%, zawiesiny ogólne – 97,45%. Dla wskaźników eutroficznych osiągnięto niższe wyniki: azot ogólny – 70,69%, fosfor ogólny – 93,93%, z czego dla fosforu ogólnego nie osiągnięto wymaganego stopnia redukcji 130 razy na 998 próbek, a dla azotu 812 razy na 1007 próbek;
- przyczyną wysokich stężeń azotu ogólnego w ściekach surowych mogły być ścieki dowożone taborem asenizacyjnym, a to z kolei mogło wpłynąć niekorzystnie na proces usuwania azotu ze ścieków;
- pod względem eksploatacyjnym należy zwracać szczególną uwagę na ilość i skład ścieków dowożonych i wprowadzanych do oczyszczalni, tak aby nie dopuszczać do sytuacji w której następuje zaburzenie procesu oczyszczania ścieków;
- w dalszych badaniach należy przeprowadzić szczegółowe analizy dotyczące podatności ścieków surowych na rozkład biologiczny i na tej podstawie odpowiedzieć, czy były sprzyjające warunki do usuwania związków biogenych;
- podsumowując należy stwierdzić, że oczyszczalnia ścieków „Kujawy” pod względem zmniejszania podstawowych wskaźników zanieczyszczenia ścieków działa poprawnie, natomiast należy zwiększyć skuteczność usuwania azotu ogólnego.

Literatura

- [1] Bever J., Stein A., Teichmann H.: Zaawansowane metody oczyszczania ścieków, Oficyna Wydawnicza Projprzem-EKO, Bydgoszcz 1997.
- [2] Chmielowski K., Kurek K., Bąk K.: Efektywność oczyszczania ścieków na przykładzie oczyszczalni w Lipnicy Wielkiej. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 3/I/2012. Kraków, s. 213-224.

- [3] Chmielowski K., Satora S., Wałęga A.: Ocena niezawodności działania oczyszczalni ścieków dla gminy Tuchów. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 9/2009. Kraków, s. 63-72.
- [4] Hartmann L.: *Biologiczne oczyszczanie ścieków*, Wydawnictwo Instalator Polski, Warszawa, 1996.
- [5] Krzanowski S., Wałęga A.: Ocena niezawodności działania mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków dla miasta Dąbrowa Tarnowska. *Inżynieria włókiennicza i ochrona środowiska* nr 14. ATH. Bielsko-Biała 2004.
- [6] Pozwolenie wodno-prawne wydane przez wojewodę małopolskiego z dnia 25.02.2015 r. z mocą obowiązywania do dnia 31.12.2024 r.
- [7] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. *Dz.U.* 2014 poz. 1800.
- [8] Sikorski M.: Charakterystyka ścieków wiejskich i sposób ich unieszkodliwiania. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie* nr 3, Częstochowa 1994.
- [9] Sikorski M.: *Oczyszczanie i oczyszczalnie w Polsce*. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie*, nr 4, Częstochowa 1994.
- [10] Sikorski M.: *Przegląd procesów, metod i urządzeń do oczyszczania ścieków bytowo-gospodarczych możliwych do zastosowania w warunkach wiejskich*. *Zagadnienia Techniki Sanitarnej Wsi. Oczyszczanie ścieków wiejskich, procesy, urządzenia, eksploatacyjne*. Wrocław 1989.

ANALYSIS OF OPERATION EFFECTIVENESS OF THE “KUJAWY” SEWAGE TREATMENT PLANT

Summary

The paper presents the analysis of operation effectiveness of the “Kujawy” sewage treatment plant. It is a mechanical-biological treatment plant with increased removal of nutrients. This facility was designed for 251,818 PE and average daily flow of 80,000 m³·d⁻¹. The biological process uses a three-phase biological reactor, in which the modified Bardenpho technology with low loading rates of activated sludge is carried out. The study covered the period from January 2009 to November 2014. The following pollutant indicators were analyzed in this study: BOD₅, COD_{Cr}, total suspended solids, N_{tot}, P_{tot}. The degree of pollution reduction was calculated by taking into account the values of each indicator. Additionally, the reliability coefficient of the treatment plant was calculated for the analyzed sewage pollution indicators. Basic descriptive statistics were also calculated for the values of the examined indicators in raw sewage, treated sewage and for reduction of these indicators. Based on the collected and analyzed material it can be concluded that in terms of reduction of basic sewage pollution indicators, the operation effectiveness of the “Kujawy” sewage treatment plant is proper, however the efficiency of total nitrogen removal should be improved.

Keywords: domestic sewage, sewage treatment plant, treatment efficiency, reduction

Przesłano do redakcji: 30.08.2015 r.

Przyjęto do druku: 1.03.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.107

Marek GOSZTYŁA¹
Tomasz GOSZTYŁA²

WSPÓŁCZESNA ARCHITEKTURA RZESZOWA W OPINIACH OSÓB MIESZKAJĄCYCH I STUDIUJĄCYCH W RZESZOWIE

Celem badań było poznanie opinii osób mieszkających i studiujących w Rzeszowie, odnośnie nowych budowli i rozwiązań architektonicznych powstających w obrębie, jak również otulinie zespołu staromiejskiego. W ostatnim czasie obserwuje się liczne dyskusje, toczone na różnych forach, na temat zachowania historycznych wartości zespołów starych miast. Wśród rodzących się pytań, często na plan pierwszy wysuwana jest problematyka współistnienia nowoczesnej architektury w miejskich zespołach zabytkowych. Z uwagi na to, przeprowadzone badania o charakterze sondażowym, miały również na celu przybliżyć opinię mieszkańców Rzeszowa na temat działań związanych z zachowaniem dziedzictwa wielokulturowego, odkrywanego na terenie miasta. Respondenci wskazywali obiekty architektoniczne wybudowane w okresie ostatnich pięciu lat i oceniali ich formę architektoniczną, funkcję oraz zharmonizowanie tych budowli z otoczeniem. Badania dowiodły, że mieszkańcy są zainteresowani nowymi rozwiązaniami architektoniczno - urbanistycznymi w Rzeszowie, potrafią dokonywać ich oceny w zaproponowanej skali, stanowczo opowiadają się za zachowaniem zabytkowego oblicza zespołu miejskiego. W projektowanych nowych kwartałach zabudowy są za utrzymaniem tradycyjnej roli ulic i placów. Popierają prowadzenie badań mających na celu odkrywanie wspólnego dziedzictwa wielokulturowego społeczności i narodów mieszkających przez wiele wieków w Rzeszowie. Akceptują współczesne formy ekspozycji zabytkowych dzieł architektonicznych. Krytycznie badani odnieśli się do budowania w zespole historycznym miasta obiektów powyżej pięciu kondygnacji oraz wielokondygnacyjnych garaży. W sprawie skali rozwoju miasta wskazali na swobodny rozwój ośrodka miejskiego. Badani mieszkańcy wyrazili chęć przedstawiania własnej opinii na temat nowoczesnej architektury realizowanej w miejscu zamieszkania. Wśród przyszłościowych inwestycji architektoniczno- budowlanych, potrzebnych dla rozwoju miasta, na plan pierwszy wysunięto rozwiązania komunikacyjne.

Słowa kluczowe: Rzeszów, architektura, dziedzictwo kulturowe, opinia społeczna

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Marek Gosztyła, Politechnika Rzeszowska, Zakład Konserwacji Zabytków, Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów; tel. 178651041; gosztyla@prz.edu.pl

² Tomasz Gosztyła, Uniwersytet Rzeszowski, Zakład Psychologii, ul. Ks. Jałowego 24, 35-010 Rzeszów; tel. 178721883; tomgosz@ur.edu.pl

1. Wprowadzenie

Rzeszów cieszy się opinią ośrodka dynamicznie rozwijającego się. W działaniach promujących miasto, konsekwentnie podkreśla się jego rozwój i innowacyjność. Celem niniejszych badań było poznanie opinii osób mieszkających i studiujących w Rzeszowie, odnośnie nowych budowli i rozwiązań architektonicznych powstających w mieście, a także ich zharmonizowania z istniejącą zabudową. Niniejszy projekt wpisuje się w badania prowadzone na Podkarpaciu od sześciu lat, a dotyczące opinii mieszkańców takich ośrodków jak Rzeszów, Jarosław i Przemyśl, odnośnie działań konserwatorskich i urbanistycznych, podejmowanych na ich terenie [1, 2].

2. Opis procedury badawczej

Problematyka badawcza podjęta w niniejszym opracowaniu wyraża się w następujących pytaniach:

- jaka jest opinia osób, które mieszkają i studiują w Rzeszowie, na temat nowo powstających budowli i nowych rozwiązań architektonicznych w mieście?
- jak oceniane są te obiekty pod względem funkcjonalności, formy architektonicznej oraz zharmonizowania z otoczeniem?
- jak oceniane są działania architektoniczne w obrębie zabytkowego miasta?

Badania miały charakter wstępnego sondażu opinii i zrealizowano je w miesiącu maju i czerwcu 2014 r. Wzięło w nich udział 189 osób, w tym: 146 kobiet (77,25% ogółu badanych) i 43 mężczyzn (22,75% badanych). Struktura wiekowa respondentów została przedstawiona w Tabeli 1.

Tabela 1. Wiek badanych, źródło: opracowanie własne

Table. 1. Age of the respondents, source: own study

Wiek	L.	%
19-25 lat	113	59,79
26-35 lat	31	16,40
36-45 lat	26	13,76
46-55 lat	17	8,99
56-65 lat	2	1,06

W badaniach wykorzystano kwestionariusz ankiety w opracowaniu własnym. Narzędzie składało się z 17 pytań: 15 zamkniętych i 3 otwartych.

3. Analiza wyników

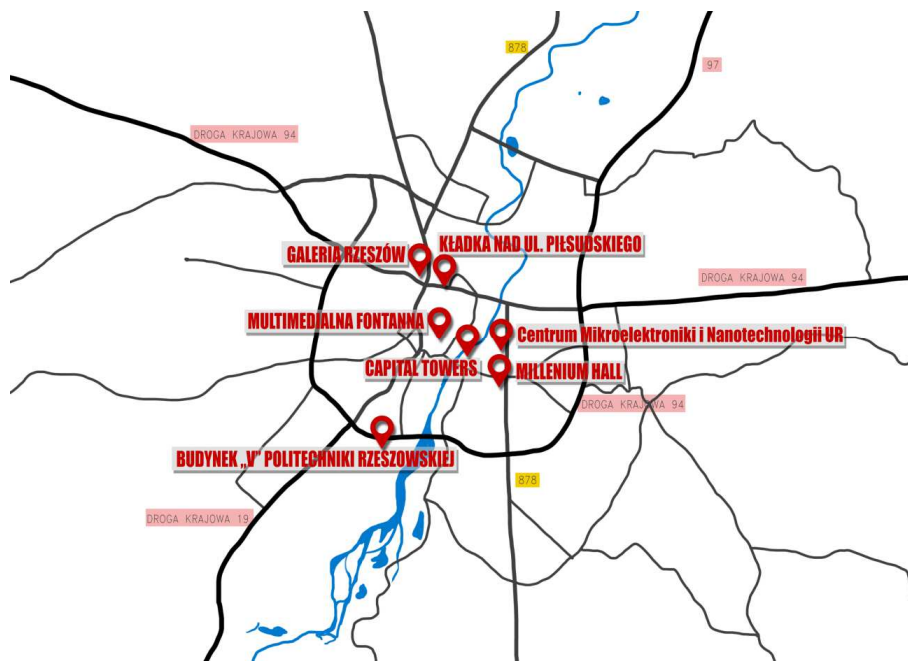
W pierwszym pytaniu ankiety proszono respondentów o wymienienie nowych obiektów, powstałych w Rzeszowie w ciągu ostatnich pięciu lat (a więc w okresie 2009-2014 r.). Rezultaty zebrano w Tabeli 2.

Oprócz obiektów zestawionych w Tabeli 2, poniżej dziesięciu wskazań uzyskały: hotel Rzeszów (5), skatepark przy ul. Podpromie (5), osiedle Słoneczny Stok (4), budynek wielorodzinny przy ul. Kwiatkowskiego (4), biblioteka WSPiA (4), klinika Profamilia (2), droga ekspresowa S19 (2), hotel Bristol (2), osiedla mieszkaniowe Staromieście – Ogrody i Tęczowe Osiedle (2), park papieski (2), obiekty sportowe osiedle Budziwój (2).

Tabela 2. Wymieniane przez respondentów nowe obiekty, powstałe w Rzeszowie w ciągu ostatnich pięciu lat, źródło: opracowanie własne

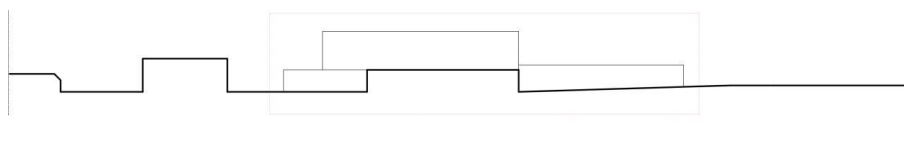
Table 2. New objects built in Rzeszów, in the past five years, mentioned by respondents, source: own study

Obiekt	L.
Galeria Rzeszów	177
Kładka nad ul. Piłsudskiego	138
Galeria Millenium Hall	122
Centrum Mikroelektroniki i Nanotechnologii UR	108
Budynek „V” Politechniki Rzeszowskiej	106
Most Narutowicza	69
Multimedialna fontanna	69
Ogrody bernardyńskie	57
Capital Towers	57
Sąd Rejonowy, ul. Kustronia	47
Gmach Urzędu Marszałkowskiego	13
Galeria „Nowy Świat”	12
Osiedle Zawiszy, przy ul. Architektów	11
Terminal lotniska Rzeszów-Jasionka	10



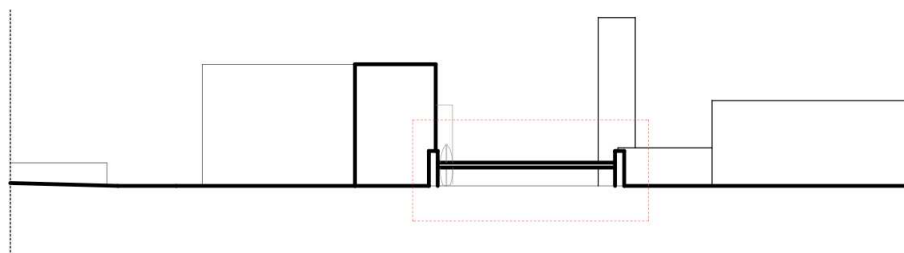
Rys. 1. Lokalizacja badanych obiektów na terenie miasta Rzeszowa, oprac. A. Kumuda

Fig. 1. Localization of the studied objects in the city of Rzeszow, source: A. Kumuda



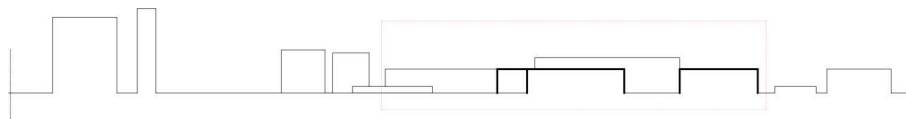
Rys. 2. Galeria Rzeszów, oprac. A. Kumuda

Fig. 2. Rzeszow Shopping Centre, source: A. Kumuda



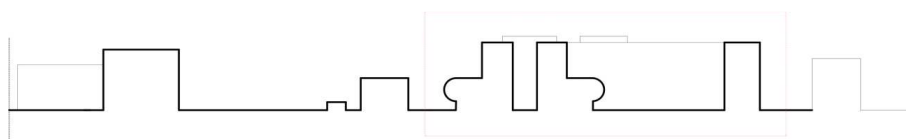
Rys. 3. Kładka nad ul. Piłsudskiego, oprac. A. Kumuda

Fig. 3. Footbridge over the Piłsudskiego Street, source: A. Kumuda



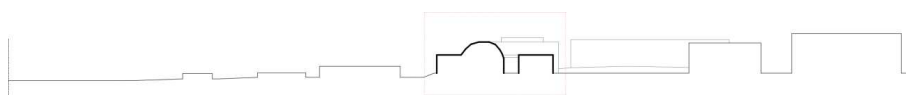
Rys. 4. Galeria Millenium Hall, oprac. A. Kumuda

Fig. 4. Millenium Hall Shopping Centre, source: A. Kumuda



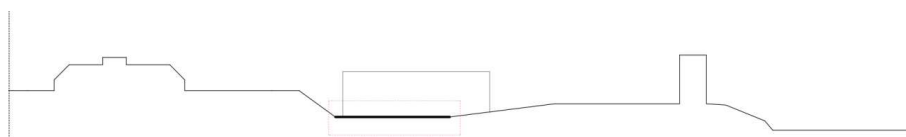
Rys. 5. Centrum Mikroelektroniki i Nanotechnologii UR, oprac. A. Kumuda

Fig. 5. Centre for Microelectronics and Nanotechnology at the University of Rzeszow, source: A. Kumuda



Rys. 6. Budynek „V” Politechniki Rzeszowskiej, oprac. A. Kumuda

Fig. 6. Building V- Regional Centre for Education and Conference and Library and Administration, source: A. Kumuda



Rys. 7. Multimedialna fontanna, oprac. A. Kumuda

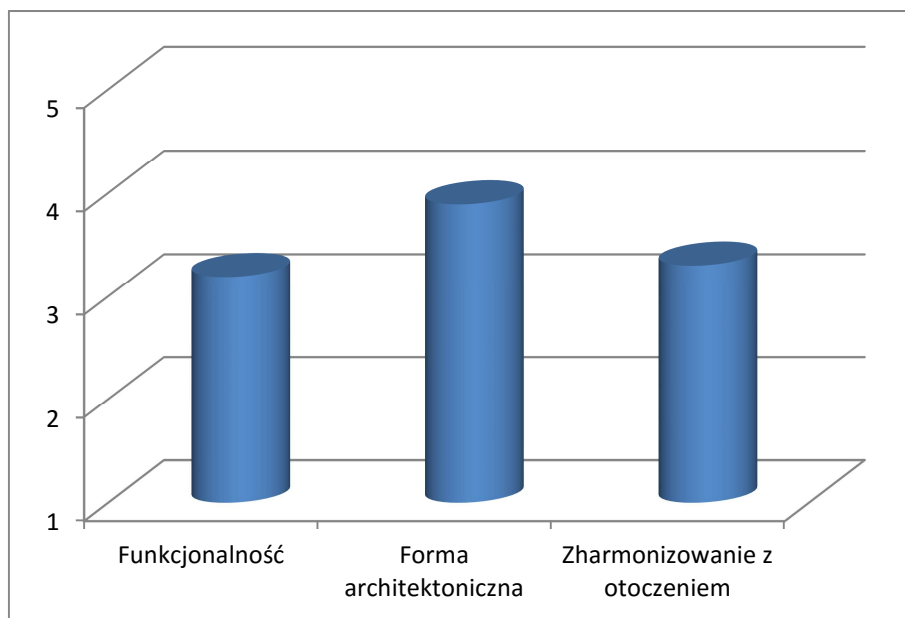
Fig. 7. Multimedia fountain, source: A. Kumuda

Pytanie drugie dotyczyło oceny nowych rozwiązań architektonicznych miasta pod względem funkcjonalności, formy architektonicznej i zharmonizowania z otoczeniem. Badani dokonywali jej na 5-cio stopniowej skali, gdzie 1 oznaczało ocenę najniższą, a 5 – najwyższą. Średnie wyniki zestawiono w Tabeli 3, dodatkowo ilustruje je Rycina 8.

Tabela 3. Ocena nowych rozwiązań architektonicznych powstałych w Rzeszowie – opinie respondentów, źródło: opracowanie własne

Table 3. Assessment of new architectural solutions in Rzeszów – respondents' opinions, source: own study

Aspekt oceny	Średnia
Funkcjonalność	3,19
Forma architektoniczna	3,89
Zharmonizowanie z otoczeniem	3,30



Rys. 8. Średnie ocen nowych rozwiązań architektonicznych powstałych w Rzeszowie, źródło: opracowanie własne

Fig. 8. Average scores of new architectural solutions in Rzeszów, source: own study

W dalszej kolejności pytano respondentów, które z nowo powstałych zabudowań w Rzeszowie można uznać za symbol rozwoju miasta. Najczęściej podawane odpowiedzi zebrano w Tabeli 4.

Oprócz obiektów wyszczególnionych w powyższej tabeli, po jednym wskazaniu zebrały ogrody bernardyńskie („początek rozwoju w dobrą stronę”) oraz budynek sądu przy ul. Kustronia („nowoczesny”).

Respondentów pytano również o to, czy są za prowadzeniem badań zachowanych materialnych wartości kulturowych w Rzeszowie, takich, jak: świątynie, cmentarze i kamienice, a następnie opracowaniem projektów ich ekspozycji. Rozkład uzyskanych odpowiedzi zawarto w Tabeli 5.

Tabela 4. Nowo powstałe zabudowania w Rzeszowie, które – zdaniem respondentów – można uznać za symbol miasta, źródło: opracowanie własne

Table 4. Newly established buildings in Rzeszów, which in the opinion of the respondents can be considered as a symbol of the city, source: own study

Pozycja	Obiekt	Uzasadnienie
1.	Kładka nad ul. Piłsudskiego	nowy kierunek w podejściu do usprawnienia komunikacji; bardzo nowoczesna; interesuje formą i intryguje funkcją; bezpieczna; punkt orientacyjny miasta
2.	Centrum Mikroelektroniki i Nanotechnologii UR	ciekawa bryła; funkcjonalny układ; przemyślana, nowoczesna forma architektoniczna; przyjazne zagospodarowanie przestrzeni; świadczy o rozwoju naukowym i poszerzaniu oferty edukacyjnej miasta; stworzony z rozmachem
3.	Galeria Rzeszów	dominanta w centrum miasta; nową jakość architektury; bogata oferta spędzania czasu
4.	Multimedialna fontanna	ciekawa, innowacyjna forma; możliwość miłego i bezpłatnego spędzania czasu wolnego; unikatowa; nowoczesna
5.	Budynek „V” Politechniki Rzeszowskiej	rozwój oferty edukacyjnej miasta; ciekawa bryła, funkcjonalny układ; przemyślana forma architektoniczna; zharmonizowany z otoczeniem; budynek reprezentatywny; orientacja na rozwój nauki i techniki
6.	Galeria Millenium Hall	nowoczesna forma architektoniczna; wysoka jakość wykończenia; zharmonizowanie z otoczeniem; ożywia tę część miasta; nowatorska bryła z zastosowaniem dziedzińców
7.	Capital Towers	ciekawa i nowoczesna forma architektoniczna; pierwsza taka inwestycja w Rzeszowie; zapoczątkowuje powstawanie budynków wysokościowych; korzystna kompozycja urbanistyczna; zharmonizowanie z otoczeniem

Tabela 5. Rozkład odpowiedzi na pytanie: *Czy jest Pan(i) za prowadzeniem badań zachowanych materialnych wartości kulturowych w Rzeszowie (świątynie cmentarze, kamienice), a następnie opracowaniem projektów ich ekspozycji?* źródło: opracowanie własne

Table 5. Responses to the question: *Should, according to your opinion, research on preserved historical urban architecture of Rzeszów (temples, cemeteries, buildings) and programme(s) to make it available to visitors be done and (respectively) worked out?* source: own study

Decyzja	L.	%
Tak	162	85,71
Nie	4	2,12
Nie mam zdania	23	12,17

Dopełnieniem pytania czwartego było pytanie piąte, które brzmiało: *Czy uważa Pan(i), że w rozwiązaniach urbanistycznych i architektonicznych należy eksponować wspólne dziedzictwo kulturowe, jako ślad historycznego sąsiedztwa różnych grup narodowych i religijnych zamieszkujących w Rzeszowie?* Rozkład odpowiedzi prezentuje Tabela 6.

Tabela 6. Rozkład odpowiedzi na pytanie: *Czy uważa Pan(i), że w rozwiązaniach urbanistycznych i architektonicznych należy eksponować wspólne dziedzictwo kulturowe, jako ślad historycznego sąsiedztwa różnych grup narodowych i religijnych zamieszkujących w Rzeszowie?* źródło: opracowanie własne

Table 6. Responses to the question: *Do you think that urban and architectural solutions should expose common cultural heritage as remains of historical neighbourhood of various national and religious groups living in Rzeszów?* source: own study

Decyzja	L.	%
Tak	155	82,01
Nie	11	5,82
Nie mam zdania	23	12,17

Kolejna kwestia, którą poruszono w badaniach, dotyczyła opinii respondentów na temat tego, czy powinno się zezwalać na budowę wysokich obiektów w zespole staromiejskim Rzeszowa. Rozkład odpowiedzi badanych zebrano w Tabeli 7.

Tabela 7. Rozkład odpowiedzi na pytanie: *Jak Pan(i) sądzi, czy w zespole staromiejskim Rzeszowa powinno się zezwalać na budowę obiektów wysokich (powyżej pięciu kondygnacji)?* źródło: opracowanie własne

Table 7. Responses to the question: *Do you take the view that construction of tall buildings (of more than five storeys) in the Rzeszów's Old Town Complex should be allowed?* source: own study

Decyzja	L.	%
Tak	37	19,58
Nie	142	75,13
Nie mam zdania	10	5,29

Pytanie kolejne brzmiało: *Do jakiej skali (liczba ludności) należy planować rozwój Rzeszowa: do 1 mln mieszkańców, do 500 tys. mieszkańców, czy może postawić na swobodny rozwój?* Wyniki prezentuje Tabela 8.

Tabela 8. Rozkład odpowiedzi na pytanie: *Do jakiej skali (liczba ludności) należy planować rozwój Rzeszowa: do 1 mln mieszkańców, do 500 tys. mieszkańców, czy może postawić na swobodny rozwój?* źródło: opracowanie własne

Table 8. Responses to the question: *How should we plan the scale of evolution of Rzeszów in terms of the population numbers: should we assume a limit of the population of the city at a level of 0.5 or 1 million or should we set no population limits down?* source: own study

Decyzja	L.	%
Do 1 mln mieszkańców	14	7,41
Do 500 tys. mieszkańców	56	29,62
Należy postawić na swobodny rozwój	92	48,68
Nie mam zdania	27	14,29

Respondentów pytano również, czy w obrębie zabytkowego miasta należy planować budowę wielopiętrowych parkingów. Odpowiedzi zestawiono w Tabeli 9.

Tabela 9. Rozkład odpowiedzi na pytanie: *Czy wraz z rozwojem zjawiska „syndromu samochodów” w Rzeszowie należy planować budowę wielopiętrowych parkingów w obrębie zabytkowego miasta?* źródło: opracowanie własne

Table 9. Responses to the question: *Should multi-storey car parks, built in Rzeszów due to the rapid increase in the number of cars, be located in the historical part of the city?* source: own study

Decyzja	L.	%
Tak	76	40,21
Nie	97	51,32
Nie mam zdania	16	8,47

Jednym z wiodących haseł promujących miasto, jest przedstawianie Rzeszowa, jako ośrodka innowacyjnego. W związku z tym, jedno z pytań kwestionariusza brzmiało: *W oparciu o własne obserwacje, jak Pan(i) uważa, czy Rzeszów jest miastem innowacji w dziedzinie rozwiązań architektonicznych i urbanistycznych?* Podsumowanie udzielonych odpowiedzi zawiera Tabela 10.

Tabela 10. Rozkład odpowiedzi na pytanie: *W oparciu o własne obserwacje, jak Pan(i) uważa, czy Rzeszów jest miastem innowacji w dziedzinie rozwiązań architektonicznych i urbanistycznych?* źródło: opracowanie własne

Table 10. Responses to the question: *Basing on your own observations do you think that urban and architectural solutions implemented in Rzeszów are innovative?* source: own study

Decyzja	L.	%
Tak	74	39,15
Nie	81	42,86
Nie mam zdania	34	17,99

W dalszej kolejności respondenci wyrażali swoją opinię na temat tego, czy zachowany autentyzm oblicza zabytkowego miasta powinien być chroniony przed projektami nowoczesnej zabudowy. Rozkład odpowiedzi zebrano w Tabeli 11.

Tabela 11. Rozkład odpowiedzi na pytanie: *Czy – Pana(-ni) zdaniem – zachowany autentyzm oblicza zabytkowego miasta powinien być chroniony przed projektami nowoczesnej zabudowy?* źródło: opracowanie własne

Table 11. Responses to the question: *Do you take the view that saved, original nature of the historical part of the city should be protected against modern development projects?* source: own study

Decyzja	L.	%
Tak	99	52,38
Nie	66	34,92
Nie mam zdania	24	12,70

Kolejne pytanie kwestionariusza brzmiało: *Czy jest Pan(i) za utrzymaniem zwyczajowo przyjmowanej roli ulic i placów, jako aktywnych przestrzeni społecznych, w nowo projektowanych kwartałach miasta?* Podsumowanie udzielanych odpowiedzi zawarto w Tabeli 12.

Tabela 12. Rozkład odpowiedzi na pytanie: *Czy jest Pan(i) za utrzymaniem zwyczajowo przyjmowanej roli ulic i placów, jako aktywnych przestrzeni społecznych, w nowo projektowanych kwartałach miasta?* źródło: opracowanie własne

Table 12. Responses to the question: *Are you of opinion that customary accepted role of streets and squares perceived as active social spaces should be kept in new-designed quarters of the city?* source: own study

Decyzja	L.	%
Tak	146	77,25
Nie	10	5,29
Nie mam zdania	33	17,46

Następnie respondenci byli proszeni o dokonanie oceny wymienionych obiektów Rzeszowa, pod względem ich funkcjonalności, formy architektonicznej i zharmonizowania z otoczeniem. Wszystkie obiekty powstawały w mieście w czasie ostatnich pięciu lat. Ocena była dokonywana na 5-cio stopniowej skali, gdzie 1 oznaczało ocenę najniższą, a 5 – najwyższą. Średnie uzyskanych wyników zestawiono w Tabeli 13.

Tabela 13. Średnie ocen wybranych obiektów Rzeszowa, w aspekcie funkcjonalności, formy architektonicznej i zharmonizowania z otoczeniem, źródło: opracowanie własne

Table 13. Average assessments of Rzeszów's selected buildings appraised in terms of their functionalities, architectural forms and how they blend in with the surroundings, source: own study

Obiekt	Funkcjonalność	Forma architektoniczna	Zharmonizowanie z otoczeniem
Capital Towers	3,19	3,51	2,79
Budynek Galerii Rzeszów, Al. Piłsudskiego	3,90	3,60	3,22
Millenium Hall, Al. Kopisto	3,81	4,08	3,58
Siedziba Urzędu Marszałkowskiego, Al. Ł. Ciepłińskiego	3,58	3,55	3,67
Regionalne Centrum Dydaktyczno-Konferencyjne Politechniki Rzeszowskiej, Al. Powstańców Warszawy	3,47	3,27	3,44
Centrum Mikroelektroniki i Nanotechnologii Uniwersytetu Rzeszowskiego, ul. Pigonia	4,02	4,24	3,52
Budynek Sądu Rejonowego, ul. Gen. J. Kustronia	2,75	3,75	3,50

Osoby badane ustosunkowywały się również do następującej kwestii - czy mieszkańcy miasta powinni mieć wpływ na formę architektoniczną nowo powstających obiektów na terenie starego miasta (np. wyrażając swoją opinię w badaniach ankietowych)? Rozkład odpowiedzi prezentuje Tabela 14.

Tabela 14. Rozkład odpowiedzi na pytanie: *Czy Pana(-ni) zdaniem mieszkańcy miasta powinni mieć wpływ na formę architektoniczną nowo powstających obiektów na terenie starego miasta (np. wyrażając swoją opinię w badaniach ankietowych)?* źródło: opracowanie własne

Table 14. Responses to the question: *Do you think inhabitants of the city should have an opportunity to influence architectural form of new buildings to be erected in the Old Town (e.g. presenting their opinions in questionnaires)?* source: own study

Decyzja	L.	%
Tak	117	61,90
Nie	50	26,46
Nie mam zdania	22	11,64

Ostatnie pytanie ankiety brzmiało: *Jakich nowych inwestycji urbanistycznych i architektonicznych potrzebuje – Pana(-ni) zdaniem – Rzeszów?* Odpowiedzi prezentuje Tabela 15.

Tabela 15. Postulowane przez respondentów nowe inwestycje urbanistyczne i architektoniczne w Rzeszowie, źródło: opracowanie własne

Table 15. New urban and architectural investments in Rzeszów proposed by respondents, source: own study

Obiekt	L.
Parkingi, parkingi wielopoziomowe, parkingi podziemne	52
Aquapark, baseny	44
Zagospodarowanie bulwarów i terenów zielonych dla celów rekreacji	36
Rozwiązanie problemów komunikacyjnych, zmniejszenie ruchu samochodowego w centrum	26
Budowa i modernizacja obiektów sportowych, hala sportowa, centrum sportu	23
Modernizacja dworców PKP i PKS	24
Ścieżki rowerowe	16
Kolejka nadziemna	14
Budowa obiektów promocji kultury i sztuki	14
Obwodnice	13
Obiekty promujące naukę i technikę	7
Kryte lodowisko	5

4. Wnioski

Respondenci rekrutowali się z różnych grupy wiekowych, przeważała reprezentacja ludzi młodych, do 35. roku życia. Pomimo, że osoby biorące udział w badaniach nie zawsze stosowały się do cezury czasowej, podanej w ankiecie (sondaż dotyczył obiektów powstałych w latach 2009-2014), to wyniki badań są godne uwagi, gdyż odnoszą się do architektury Rzeszowa ostatnich lat. Badani bez problemu wymieniali obiekty architektoniczne zaliczane do nowej architektury, co można uznać za pozytywny objaw zainteresowania mieszkańców nowymi inwestycjami na terenie miasta. Podjęli się próby dokonania oceny wybudowanych obiektów pod względem ich funkcjonalności, formy architektonicznej i zharmonizowania z otoczeniem. Średnie wyniki tych ocen mieszczą się w granicach 3.19 a 3.89. ***Najniżej oceniono funkcjonalność nowej architektury, a najwyższą ocenę uzyskała forma architektoniczna.*** Posługując się skalą ocen od 1 do 5, należy przyjąć, że nowe inwestycje w opinii mieszkańców zrecenzowane zostały na poziomie nieco powyżej średniej.

Natomiast ***za symbol rozwoju miasta uznana została kładka nad ul. J. Piłsudskiego***, uzyskując największą ilość punktów. Wybór ten uzasadniony został m.in.: interesującą i intrygującą funkcją, nowoczesnością, nowym kierunkiem w usprawnieniu komunikacji. Zdecydowana większość wypowiedziała się za prowadzeniem badań dokumentujących dorobek minionych pokoleń oraz eksponowania ich wyników w obrazach i dziełach materialnych. Respondenci wyrazili swoje ***negatywne stanowisko w sprawie budowy obiektów powyżej pięciu kondygnacji w zespole starego miasta.*** Rozwój „organizmu” miasta zdecydowano pozostawić do swobodnego powiększania się. Większość badanych wypowiedziała się przeciwko lokalizacji wielopiętrowych parkingów na terenie zabytkowego miasta. W opinii respondentów Rzeszów nie jest ośrodkiem zasługującym na miano „miasta innowacji” w rozwiązaniach architektonicznych i urbanistycznych. Przewagę otrzymało stanowisko w sprawie ***zachowania oblicza zabytkowego miasta, przed ingerencją nowoczesnej architektury.*** Respondenci potwierdzili potrzebę zachowania tradycyjnej roli ulic i placów miejskich, a w związku z tym, odwołali się do tradycyjnej tkanki miejskiej. Niezwykle interesujące okazały się odpowiedzi na pytanie trzynaste. Pod względem funkcjonalności i formy architektonicznej najwyższą ocenę otrzymało Centrum Mikroelektroniki i Nanotechnologii Uniwersytetu Rzeszowskiego. Natomiast pod względem zharmonizowania z otoczeniem wyższą ocenę otrzymała siedziba Urzędu Marszałkowskiego. Wysoko pod względem funkcjonalności (na drugim miejscu) oceniono budynek Galerii Rzeszów, a pod względem formy architektonicznej - Millennium Hall.

Respondenci wykazali się znacznym zainteresowaniem ochroną sylwety starego miasta Rzeszowa, wskazując na ekspozycję na pierwszym planie obiektów historycznych. Nowa architektura ma wyrastać w tle zabytkowej i być podporządkowana zachowanej skali. Z pełnym zrozumieniem wypowiedziano się w sprawie ***prowadzenia badań nad zachowanym wielokulturowym dziedzictwem***

oraz jego ekspozycją. Wynik ten wpisuje się w postawę poszanowania kultur, które stały się podwaliną rozwoju miasta.

Badani mieszkańcy w 62% byli zgodni, że powinni mieć możliwość wyrażania swojej opinii w sprawie wyboru nowych form architektonicznych w zespole starego miasta. W ostatnim pytaniu wypowiedziano się na temat planowania nowych inwestycji w mieście. Najwięcej, bo ponad połowa badanych, uznała, że w pierwszej kolejności należy inwestować w parkingi, tereny sportowe i rekreacyjne oraz komunikację miejską.

Literatura

- [1] Gosztyła M.: Przemiany idei i metod konserwatorskich w latach 1863-2003 na przykładzie zabytków architektury województwa podkarpackiego, Oficyna Wydawnicza PRZ, Rzeszów 2006.
- [2] Gosztyła M., Gosztyła T., Pasztor P.: Students' opinions and attitudes towards protection and conservation of historical urban architecture of Koszyce, Rzeszów and Jarosław, Transactions of the Universities of Košice, no.4, 2014, pp. 6-20.

MODERN ARCHITECTURE OF RZESZÓW IN RESIDENTS' AND STUDENTS' OPINIONS

Summary

The purpose of the study was to examine residents' and students' opinions concerning modern objects and architecture in Rzeszów. In recent years numerous discussions can be seen, concerning maintaining historical values of cities' centers. Inter alia there is a problem of coexistence of modern and historical architecture in the city. In view of the above, another aim of the research was to examine residents' opinions concerning preservation of cultural heritage, discovered in the city. The respondents mentioned the architectonic objects which were built during the last five years and they assessed their architectonic form, function and harmonization of the buildings with the surrounding. The research proved that the inhabitants are interested in new architectonic and urban solutions in Rzeszów, they can assess them in the proposed scale, and they strongly support the preservation of the historical image of the urban complex. In the planned new urban development they support the maintenance of traditional role of the streets and squares. They stand for running research aiming at discovering the common multi-cultural heritage of communities and nations which have lived in Rzeszów for many ages. They accept the modern forms of exhibition of historical architectonic masterpieces. The respondents expressed their criticism with regard to building objects of more than five storeys and multi-storey garages within the city historical complex. As far as the city development scale was concerned, they chose the free development of the municipal centre. The inhabitants surveyed expressed the will to present their position on the modern architecture realized in the place of their residence. Among the future architectonic and construction investments which are essential for the purposes of the city development, communication solutions were underlined.

Keywords: Rzeszów, architecture, cultural heritage, public opinion

Przesłano do redakcji: 29.01.2016 r.

Przyjęto do druku: 1.06.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.108

Barbara HONICKA¹
Adam SIDOR²

KOLONIZACJA INSTALACJI CIEPŁEJ WODY BAKTERIAMI *LEGIONELLA SP.* W SZPITALACH I OBIEKTACH UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ W ŚWIETLE BADAŃ PROWADZONYCH NA TERENIE POWIATU PRZEMYSKIEGO I MIASTA PRZEMYSŁA

Celem pracy jest przedstawienie i ocena kolonizacji sieci wody ciepłej szpitali i obiektów użyteczności publicznej bakteriami *Legionella sp.* na terenie powiatu przemyskiego i miasta Przemyśla w latach 2010–2013. Do oceny wykorzystano wyniki badań wody ciepłej uzyskane w ramach nadzoru realizowanego w tym zakresie przez Państwowego Powiatowego Inspektora Sanitarnego w Przemyślu. Uzyskane wyniki badań z lat 2010–2013 wyraźnie wskazują na skolonizowanie bakteriami *Legionella sp.* instalacji ciepłej wody użytkowej na poziomie średnim i wysokim. W ocenianych sieciach ciepłej wody były znaczące przekroczenia liczby bakterii *Legionella sp.* Łącznie zbadano 28 próbek wody ciepłej, w 12 spośród nich wykryto ponadnormatywną liczbę bakterii *Legionella sp.* (tj. powyżej 100 j.t.k. w 100 ml wody), co stanowiło 43% przebadanych próbek. Próbkę do badań pobrano z instalacji wodociągowej z następujących miejsc: kotłownia – wpływ do podgrzewacza, kotłownia – wpływ z podgrzewacza, kran w łazienkach dla pacjentów z oddziałów, na których przebywają osoby należące do grupy podwyższonego ryzyka (onkologia, intensywne opiekę medyczną). Punkty pobierania próbek obejmowały także urządzenia wytwarzające aerozol wodno-powietrzny (jacuzzi). Pobór wody poprzedzało badanie temperatury wody. Aby spowodować zmniejszenie ich koncentracji zostały przeprowadzone procesy dezynfekcji instalacji ciepłej wody użytkowej. Najczęściej stosowaną metodą dezynfekcji chemicznej było chlorowanie. Po przeprowadzonych działaniach naprawczych uzyskano wymaganą jakość ciepłej wody w ocenianych obiektach.

Słowa kluczowe: *Legionella sp.*, szpitale, instalacja ciepłej wody, kolonizacja

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Barbara Honicka, Powiatowa Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna w Przemyślu, ul. B-pa. Glazera 9, 37-700 Przemyśl, tel. 1667807691, bhonicka@poczta.onet.pl

² Adam Sidor Powiatowa Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna w Przemyślu

1. Wprowadzenie

Bakterie z rodzaju *Legionella* to pałeczki Gram(-), o średnicy od 0,2 do 0,7 μm i długości od 2,0 do 6,0 μm , które występują w wodach naturalnych, zasiedlając sieci wód użytkowych o temperaturze wody 20-50°C. Wyodrębniono ponad 54 gatunki i podgatunki oraz 60 odmian serologicznych, w tym co najmniej 18 gatunków i 37 odmian serologicznych chorobotwórczych dla człowieka [1].

Rezerwuuar bakterii z rodzaju *Legionella* stanowią wody śródlądowe powierzchniowe i gruntowe, szczególnie naturalne źródła wody gorącej, strefy przybrzeżne wód morskich, ścieki oraz wilgotna ziemia (również ogrodnicza), kompost, a nawet wilgoć na epifitach na wysokości do 9 m ponad ziemią. Doskonałe warunki dla rozwoju bakterii z rodzaju *Legionella* istnieją w instalacjach wody ciepłej, w zbiornikach do jej magazynowania, kurkach czerpalnych, sitkach prysznicowych, urządzeniach klimatyzacyjnych, nawilżaczach, zraszczach, skraplaczach pary, kominowych wieżach chłodniczych, systemach płuczających i napowietrzających, fontannach, basenach perełkowych i innych urządzeniach do masażu wodnego, aparaturze medycznej np. do wspomagania oddychania, w turbinach dentystycznych [2]. Kolonizacja systemu wodnego placówek służby zdrowia oraz obiektów użyteczności publicznej przez pałeczki *Legionella sp.* stanowi zagrożenie zarówno dla użytkowników, jak i pracowników tych obiektów. Głównym źródłem zakażenia jest woda wciągnięta do układu oddechowego lub inhalowana w postaci aerozolu wodno-powietrznego o wielkości kropelek od 2,0 do 5,0 μm , zawierającego bakterie z rodzaju *Legionella*. Nie stwierdzono dotychczas przypadku zakażenia się od człowieka chorego [1].

Zachorowania spowodowane przez bakterie z rodzaju *Legionella* określa się mianem legionellozy, z której wyróżnić można 3 postacie kliniczne: postać płucną z dominującymi objawami zapalenia płuc inaczej nazwaną chorobą legionistów, postać pozapłucną – łagodną rzekomo – grypową nazywaną gorączką Pontiac (nazwa wzięta od miejsca wybuchu w lipcu 1968 r. epidemii choroby o objawach przypominających grypę) oraz postać pozapłucną – ciężką, z zakażeniem [1]. Duża inwazyjność tych bakterii stwarza konieczność kontroli ich liczby w wodzie przeznaczonej do spożycia i do celów gospodarczych.

Obowiązujące w Polsce rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi stanowi m.in., że w ciepłej wodzie w budynkach zamieszkania zbiorowego i zakładów opieki zdrowotnej zamkniętej, w próbce o objętości 100 ml liczba mikroorganizmów *Legionella sp.* nie powinna być wyższa niż 100 jtk, natomiast w zakładach opieki zdrowotnej zamkniętej na oddziałach, w których przebywają pacjenci o obniżonej odporności, w tym objęci leczeniem immunosupresyjnym, pałeczki *Legionella sp.* powinny być nieobecne w 1000 ml wody [3]. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie określa, że instalacja ciepłej wody

powinna zapewnić uzyskanie w punktach czerpalnych temperatury nie niższej niż 55°C i nie wyższej niż 60°C. Ponadto instalacja ta powinna umożliwiać przeprowadzanie ciągłej lub okresowej dezynfekcji metodą chemiczną lub fizyczną, w tym termicznej przy temperaturze nie niższej niż 70°C i nie wyższej niż 80°C [4].

2. Cel pracy

Ocena kolonizacji instalacji wodociągowej szpitali i obiektów użyteczności publicznej bakteriami *Legionella* sp. na terenie miasta Przemyśla i powiatu przemyskiego w latach 2010–2013.

Materiał i metody

W latach 2010-2013 na terenie działania Państwowego Powiatowego Inspektora Sanitarnego w Przemysłu prowadzony był nadzór nad jakością wody ciepłej pochodzącej z instalacji ciepłej wody użytkowej w 2 szpitalach oraz w 2 urządzeniach wytwarzających aerozol wodno–powietrzny (jacuzzi). Poddano analizie 19 sprawozdań z badań ciepłej wody. Próbkę pobierano zgodnie z obowiązującą instrukcją kontrolną Państwowej Inspekcji Sanitarnej województwa podkarpackiego, ustawą o Państwowej Inspekcji Sanitarnej oraz rozporządzeniem Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi [3,6].

Próbki do badań pobrano z instalacji wodociągowej z następujących miejsc: kotłownia – wpływ do podgrzewacza, kotłownia – wypływ z podgrzewacza, kran w łazienkach dla pacjentów z oddziałów, na których przebywają osoby należące do grupy podwyższonego ryzyka (onkologia, intensywne opiekę medyczną).

Punkty pobierania próbek obejmowały także urządzenia wytwarzające aerozol wodno–powietrzny, w tym przypadku jacuzzi.

Pobór wody poprzedzało badanie temperatury wody. Temperaturę wody mierzono termometrem cieczowym który podlega sprawdzeniu w stosunku do wzorca.

Próbki wody pobierane były do sterylnych pojemników szklanych o objętości 1000 ml. Po pobraniu próbki wody, pojemniki zostały schłodzone, a następnie transportowane były w termotorbach do laboratorium w temperaturze od 10°C-14°C zgodnie z instrukcją [6]. Do laboratorium były dostarczane w ciągu 2 godzin od pobrania. Badania przeprowadzono zgodnie z Polską Normą PN-EN ISO 11731-2:2008 „Jakość wody – wykrywanie i oznaczanie ilościowe bakterii z rodzaju *Legionella* – część 2: Metoda filtracji membranowej dla wód o małej liczbie bakterii”.

3. Omówienie i dyskusja

W 2010 roku pobrano próbki wody z 1 szpitala na 2 oddziałach. Wyniki badań wykazały właściwą jakość wody w instalacji ciepłej wody użytkowej. W roku 2011 pobrano 4 próbki wody ciepłej z 1 szpitala z kranów w łazienkach dla pacjentów na 4 różnych oddziałach. W wyniku badania stwierdzono we wszystkich próbkach wody przekroczenia i skażenie sieci w sieci instalacji ciepłej wody pałeczkami *Legionella sp.* na poziomie średnim. Po zapoznaniu się z wynikami badań próbek wody nałożono na właściciela sieci instalacji ciepłej wody obowiązek podjęcia natychmiastowych działań mających na celu doprowadzenie ciepłej wody do odpowiednich parametrów mikrobiologicznych. Po przeprowadzonych działaniach naprawczych pobrano 4 próbki wody ciepłej, a następnie wyniki badań potwierdziły skuteczność przeprowadzonych działań naprawczych doprowadzając jakość ciepłej wody w tych punktach do wymagań rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. z 2007, Nr 61, poz. 417 z późn. zm.). W roku 2012 badania określające skolonizowanie instalacji ciepłej wody pałeczkami *Legionella sp.* Państwowy Powiatowy Inspektor Sanitarny w Przemyślu przeprowadził w 4 obiektach i pobrał do badań 10 próbek wody ciepłej. W wyniku badań stwierdzono przekroczenia najwyższej dopuszczalnej wartości wskaźnika w 4 badanych próbkach (w 4 obiektach). Po przeprowadzonych działaniach naprawczych pobrano ponownie próbki wody ciepłej, których analiza laboratoryjna wykazała nieskuteczność przeprowadzonych działań w 3 ocenianych obiektach, co skutkowało ponownym prowadzeniem działań naprawczych. Wyniki kolejnych badań próbek wody ciepłej wykazały brak przekroczeń normatywów sanitarnych. W 2013 roku w ramach nadzoru nad jakością wody przedstawiciele Państwowego Powiatowego Inspektora Sanitarnego w Przemyślu pobrali do badań w kierunku pałeczek *Legionella sp.* 10 próbek wody ciepłej, w 2 szpitalach i w 2 jacuzzi. W 4 przebadanych próbkach stwierdzono przekroczone normy i skażenie sieci instalacji ciepłej wody na poziomie średnim i wysokim. Kolejne badania wykonane na okoliczność przeprowadzonych działań naprawczych wykazały, że działania naprawcze w kierunku likwidacji skażenia sieci bakteriami *Legionella sp.* nie były skuteczne. Ostatecznie dwukrotnie przeprowadzono działania naprawcze aby w pobranych próbkach wody ciepłej liczba bakterii była poniżej wartości 100 jtk w 100 ml.

Łącznie w latach 2010–2013 zbadano 28 próbek ciepłej wody, w 12 spośród nich wykryto ponadnormatywną liczbę bakterii *Legionella sp.* (tj. powyżej 100 jtk w 100 ml wody) co stanowiło 43% przebadanych próbek. Wyniki badań przedstawiono w tabeli nr 1 i 2.

W latach 2010-2013 przedstawiciele Państwowego Powiatowego Inspektora Sanitarnego w Przemyślu łącznie pobrali 6 próbek ciepłej wody na oddziałach, w których przebywają pacjenci o obniżonej odporności tj. oddział neonatologii, oddział onkologii, oddział intensywnej opieki medycznej. Wyniki badań po-

twierdziły skażenie instalacji wodociągowej bakteriami *Legionella sp.* na poziomie średnim i wysokim.

Temperatura wody mierzona podczas poboru wody zawierała się w przedziale 56°C - 60°C.

Występowanie bakterii *Legionella sp.* w większych ilościach stanowi zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi, co nakłada na Państwową Inspekcję Sanitarną obowiązek podejmowania działań mających na celu wyegzekwowanie od zarządców, właścicieli obiektów poprawę jakości wody. W ramach tych działań wydawano stanowiska z nakazem zapewnienia prawidłowej jakości wody.

W badanych obiektach najczęściej stosowaną metodą dezynfekcji była metoda termiczna w połączeniu z metodą chemiczną. Zastosowanie metody chlorowania przy użyciu podchlorynu sodu lub dwutlenku chloru, pozwoliło na doprowadzenie jakości wody pod względem mikrobiologicznym do właściwego poziomu. Działania naprawcze w urządzeniach wytwarzających aerozol wodno-powietrzny (jacuzzi), polegały tylko na zastosowaniu metody chemicznej, która również okazała się skuteczna.

Z przeprowadzonej oceny sytuacji epidemiologicznej na podstawie zgłoszeń zachorowań na choroby zakaźne otrzymywanych z placówek służby zdrowia wynika, iż pomimo stwierdzenia w szpitalach i obiektach użyteczności publicznej kolonizacji instalacji wodociągowej bakteriami *Legionella sp.*, nie odnotowano w analizowanym okresie na terenie działalności Państwowego Powiatowego Inspektora Sanitarnego w Przemyślu zgłoszenia chorób wywołanych tym czynnikiem biologicznym.

Wyniki badań z lat 2010-2013 wskazują na skolonizowanie bakterii *Legionella sp.* instalacji ciepłej wody użytkowej, ponieważ w 43% przebadanych próbek stwierdzono przekroczenia normatywów higienicznych. Dzięki podjętym działaniom naprawczym przez właścicieli skontrolowanych obiektów problem uległ marginalizacji.

4. Wnioski

Przeprowadzone badania ciepłej wody w latach 2010 – 2013 wykazały, że kolonizacja instalacji wodnej bakteriami *Legionella sp.* utrzymywała się na poziomie 43%. Analiza skażenia sieci instalacji ciepłej wody w zakładach opieki zdrowotnej zamkniętej na oddziałach, w których przebywają pacjenci o obniżonej odporności wykazała, że w próbkach wody pałeczki *Legionella sp.* były obecne. Skażenie sieci instalacji ciepłej wody w ocenianych obiektach określono na poziomie średnim i wysokim.

Tabela 1. Ocena kolonizacji instalacji ciepłej wody przeprowadzona w ramach nadzoru przez PPIS w Przemysłu w latach 2010-2013

Table 1. Evaluation of the colonization of hot water network carried out under the supervision by the PPIS in Przemysl in 2010-2013

Rodzaj obiektu		Liczba <i>Legionella</i> sp. w 100 ml	Ocena kolonizacji
2010			
Szpital Nr II	kotłownia – wpływ do podgrzewacza	7	niska
	kotłownia – wypływ do podgrzewacza	0	niska
	oddział Nr 1	0	niska
	oddział Nr 3	0	niska
2011			
Szpital Nr II	oddział Nr 1	107	średnia
	oddział Nr 2	766	średnia
	oddział Nr 3	730	średnia
	oddział Nr 4	874	średnia
2012			
Szpital Nr I	oddział neonatologii	144	średnia
Szpital Nr II	oddział Nr 4	364	średnia
Jacuzzi Nr I		7545	wvsoka
Jacuzzi Nr II		4272	wvsoka
2013			
Szpital Nr I	oddział Nr 2	2545	wvsoka
Szpital Nr II	sterylizacja	110	średnia
OIOM		3364	wvsoka
onkologia		9636	wvsoka

Tabela 2. Liczba obiektów i pobranych próbek ciepłej wody na obecność bakterii *Legionella sp.* w ramach prowadzonego nadzoru przez PPIS w Przemysłu w latach 2010 - 2013

Table 2. Number of objects and samples taken hot water for the presence of *Legionella sp.* In the framework of the surveillance by PPIS in Przemysl in the years 2010 - 2013

Rodzaj obiektów/urządzeń	Liczba obiektów, w których wykonano badanie	Liczba obiektów ze skażeniem mikrobiologicznym	Liczba pobranych próbek	Liczba próbek, w których stwierdzono obecność bakterii <i>Legionella sp.</i>
2010				
szpitale	1	0	4	0
2011				
szpitale	1	1	4	4
2012				
szpitale	2	2	8	2
jacuzzi	2	2	2	2
2013				
szpitale	2	2	8	4
jacuzzi	2	0	2	0
Razem	10	7	28	12

Przeprowadzone badania wykazały, że obecność bakterii w sieci związana była między innymi z niewłaściwym jej użytkowaniem najczęściej z powstaniem „martwych odcinków” oraz brakiem możliwości zapewnienia odpowiedniej temperatury wody.

Zastosowane sposoby eliminacji bakterii były skuteczne i polegały głównie na płukaniu sieci, podgrzewaniu wody w sieci do temperatury wyższej niż 55°C, dezynfekcja dwutlenkiem chloru lub podchlorynem sodu okazały się w końcowym efekcie skuteczne.

Literatura

- [1] Baumann-Popczyk A, Sadkowska-Todys M., Zieliński A.: Choroby zakaźne i pasożytnicze–epidemiologia i profilaktyka. Wydawnictwo ł-medica press, 2014, s. 237-248.
- [2] Stypułkowska-Misiurewicz H., Krogulska B., Pancer K., Matuszewska R.: Metodyka wykrywania i oznaczania bakterii z rodzaju *Legionella* w środowisku wodnym i w materiale klinicznym. Państwowy Instytut Higieny, Warszawa, 2001, s. 12.
- [3] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. z 2007, Nr 61, poz. 417 z późn. zm.).
- [4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. z 2002 r. Nr 75, poz. 690 z późn. zm.).
- [5] Ustawa z dnia 14 marca 1985 r. o Państwowej Inspekcji Sanitarnej (t.j. Dz. U. z 2011 r. Nr 212, poz. 1263 z późn. zm.).
- [6] Państwowa Inspekcja Sanitarna Województwa Podkarpackiego: Instrukcja kontrolna z dnia 23.12.2009 r. wydanie IX.
- [7] Polska Norma PN-EN ISO 11731-2:2008 „Jakość wody–wykrywanie i oznaczanie ilościowe bakterii z rodzaju *Legionella*–część 2: Metoda filtracji membranowej dla wód o małej liczbie bakterii”, czerwiec 2008.

COLONIZATION OF HOT WATER SYSTEM BY LEGIONELLA SP. BACTERIA IN HOSPITALS AND PUBLIC FACILITIES IN PRZEMYSŁ AND DISTRICT OF PRZEMYSŁ IN YEARS 2010 -2013

Summary

Objectives of the work, assessment of hot water network colonization in hospitals and public buildings in the area of Przemyśl and district of Przemyśl in years 2010-2013. The assessment was carried out in years 2010-2013 on the basis of hot water tests for the presence of *Legionella sp.* bacteria. The research results from years 2010-2013 indicate explicitly hot water network colonization by bacteria, at medium and high level. In examined hot water, the amount of *Legionella* bacteria was considerably exceeded. 28 hot water samples were examined and in 12 of them, which constitute 43% of the total number, oversized number of bacteria was found (above 100 units in 100 ml of water). Test samples were taken from water supply system of the following locations: boiler room - the inflow to the heater, boiler room - outflow from the heater, faucet in the bathroom for patients from wards where there are persons belonging to group at increased risk (oncology, intensive care). Test sampling points also included devices producing water-air aerosol (Jacuzzi). Water sampling was preceded by a test of water temperature. To cause a decrease in their concentration disinfection processes of domestic hot water installation were carried out. The most common method of chemical water disinfection was chlorination. After corrective action required hot water quality in inspected objects was achieved.

Keywords: *Legionella sp.*, hospitals, hot water supply system, colonization

Przesłano do redakcji: 30.08.2015 r.

Przyjęto do druku: 1.03.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.109

Galina KALDA¹
Izabela MIĘTUS²

OCHRONA ŚRODOWISKA W TURYSTYCE NA PODKARPACIU

W artykule prezentowano analizę środowiska województwa podkarpackiego zanieczyszczonego odpadami turystycznymi. Województwo podkarpackie jest popularne z miejsc aktywności turystycznej oraz dobrej sieci infrastruktury turystycznej. Jak pokazują badania, Podkarpacie jest województwem z nieznacznym zanieczyszczeniem środowiska. Wody powierzchniowe są głównym źródłem zapotrzebowania na Podkarpaciu. Poprzez swoje położenie geograficzne województwo można uznać za jedno z niewielu miejsc z Polsce, gdzie sezon turystyczny trwa praktycznie cały rok. Podkarpacie przez to przyciąga turystów, którzy pragną aktywnego odpoczynku przez obcowanie z przyrodą. Nagły rozwój turystyki został spowodowany promowaniem województwa jako regionu atrakcyjnego turystycznie i przychylnego turystom. Jednym z większych problemów hamujący rozwój turystyki jest zbyt mała sieć informacji turystycznej. Rozmieszczone są one w mało strategicznych dla turystów miejscach. Znaleźć je można nawet kilka kilometrów od przystanków autobusowych czy dworcach kolejowych. Dla turystów, którzy przyjeżdżają do nowego miejsca, ważne jest uzyskanie jakichkolwiek informacji o mieście, noclegach czy zabytkach, które znajdują się w okolicy. Analiza pokazała, że turyści wytwarzają średnio do 30 razy więcej odpadów, niż przeciętny mieszkaniec województwa podkarpackiego, co spowodowane jest wykorzystywaniem większej ilości opakowań jednorazowych, wytwarzaniem odpadów, takich jak resztki żywności, tekstylia, szkło itp. Po przeprowadzonej analizie stwierdzono, że turystyka pośrednio wpływa na zanieczyszczenia gleby, powierza oraz ma nieznaczny udział w poziomie hałasu komunikacyjnego. Nie oznacza to jednak, że jej wpływ jest niegroźny i nieistotny. Aby o tym się przekonać należy wykonać specjalne badania, które określiłyby stopień, w jakim turystyka może przyczynia się do tego typu zanieczyszczeń.

Słowa kluczowe: Podkarpacie, turystyka, zanieczyszczenie, środowisko, sieć turystyczna

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Galina Kalda, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. +48 17 8651068, kaldagal@prz.edu.pl

² Izabela Miętus, Politechnika Rzeszowska

1. Wprowadzenie

Ochrona środowiska w turystyce jest ważna, ponieważ coraz bardziej ingeruje w środowisko przyrodnicze. W województwie podkarpackim nie dotyczy to jednego regionu a praktycznie całego województwa, dlatego to wymaga szczególnej analizy rozwoju turystyki na przestrzeni kilku lat.

Turystyka jest coraz bardziej popularną formą wypoczynku, nabierania sił fizycznych i psychicznych, aktywności fizycznej połączonej z poznawaniem nowych miejsc, kultury i społeczności. Łączy ona ze sobą aspekty wielu dziedzin. Rozwój turystyki jest w województwie podkarpackim ważny pod względem gospodarki i napędu rynku pracy, ponieważ wiele przedsiębiorstw utrzymuje się z takich właśnie form działalności. Województwo podkarpackie jest popularne z miejsc aktywności turystycznej oraz dobrej sieci infrastruktury turystycznej. Ze względu na różnorodność klimatu i rzeźby terenu formy uprawiania turystyki są urozmaicone. Również ochrona środowiska czerpie korzyści z rozwoju turystyki, przez co należy o nią dbać i rozwijać.

Podkarpacie jest województwem z nieznacznym zanieczyszczeniem środowiska. Ochrona środowiska nastawiona jest na zabezpieczenie najważniejszych walorów i form przyrody poprzez tworzenie na terenach wartościowych przyrodniczo parków narodowych, rezerwatów przyrody i parków krajobrazowych. Formy przyrody dostępne do zwiedzania turystom zabezpiecza się tak aby ingerencja turystów i obecność ich na cennych terenach nie narażała środowiska na dewastację. W fazie tworzenia są plany ochrony oraz systemy monitorowania oddziaływania na środowisko przyrodnicze turystów i działalności gospodarczej powiązanej z turystyką. Plany i strategie Podkarpackie jakie uzgadnia się chroniąc środowisko uwzględniają zasadę zrównoważonego rozwoju.

2. Walory turystyczne województwa podkarpackiego

2.1. Podział województwa ze względu na poziom rozwoju turystyki

Poprzez swoje położenie geograficzne województwo można uznać za jedno z niewielu miejsc w Polsce, gdzie sezon turystyczny trwa praktycznie cały rok. Podkarpacie przez to przyciąga turystów, którzy pragną aktywnego odpoczynku przez obcowanie z przyrodą. W lecie poprzez piesze wędrówki, jazdę konną lub turystykę rowerową, w zimie zawsze można liczyć na sprzyjające warunki do uprawiania sportów zimowych. Zimowymi stolicami turystycznymi na Podkarpaciu stają się Ustrzyki Dolne, Lesko, Przemyśl i Puławy ponieważ tam znajdują się wyciągi narciarskie z ośrodkami sportowymi. Dzięki utworzeniu narciarskiego szlaku turystycznego można podziwiać góry na nartach. W województwie organizowane są rajdy terenowe zrzeszające tysiące pasjonatów motoryzacji. Dostępne są obiekty i miejsca, gdzie można uprawiać sporty wyczynowe takie jak skoki spadochronowe (lotnisko w Krośnie i lotnisko Jasionka koło Rzeszowa).

Województwo Podkarpackie jest bardzo zróżnicowane jeżeli chodzi o natężenie turystyki w poszczególnych miejscach. Ruch turystyczny nie jest jednorodny, przez co można podzielić go na trzy strefy. Na ten podział w dużej mierze mają wpływ walory i oferty turystyczne. Rys. 1 przedstawia przykładowy podział województwa Podkarpackiego na trzy obszary turystyczne uwzględniające nasilenie ruchu turystycznego w poszczególnych powiatach. Sporządzony on został z danych podanych w „Strategii Rozwoju Podkarpacia na lata 2007-2020”. Największe nasilenie ruchu turystycznego jest w I obszarze, mniejsze w II, natomiast najmniejsze w III.

I obszar - najbardziej wysunięty na południe. Ze względu na rozwój turystyki górskiej w Bieszczadach i Beskidzie Niskim najwięcej schronisk turystycznych jest w tychże powiatach. Tereny te odwiedzane są ze względu na podziwianie różnych form przyrody, bliskość gór, jezior, dostępność sanatoriów. Turystyka rozwija się również na obszarach wiejskich, skutkiem czego powstaje wiele gospodarstw agroturystycznych.

II obszar – centralny. Miasta na tym obszarze oferują turystom bazę hotelową wraz z ośrodkami wypoczynkowymi. Największy odsetek odwiedzających te tereny - to osoby podróżujące i zatrzymujące się w nich w sprawach, np. służbowych. Powstają tu liczne restauracje i biura podróży. Wyższe są też kwalifikacje obsługi klienta z racji częstych odwiedzin turystów zagranicznych. Bardzo duże znaczenie na tym obszarze ma lotnisko w Jasionce k. Rzeszowa oraz mniejsze lokalne w Mielcu i Krośnie - to dodatkowo poprawia komunikację międzymiastową oraz międzynarodową.



Rys. 1. Podział województwa podkarpackiego na charakterystyczne obszary turystyczne na podstawie [4]

Fig. 1. Division Podkarpackie typical tourist areas on the basis of [4]

III obszar - północny. Występuje tu niewiele walorów przyrodniczych a co za tym idzie najmniejszy ruch turystyczny. Jego główna lokalizacja - to pasmo Roztocza i Wyżyny Lubelskiej. Przeważa tu turystyka piesza i kulturowa. Baza noclegowa jest niewielka, nastawiona w szczególności na turystów indywidualnych [1].

2.2 Rozwój turystyki na Podkarpaciu

Walory przyrodnicze są głównym czynnikiem przyciągającym turystów. Dostępność cennych przyrodniczo miejsc powoduje wzrost zapotrzebowania na usługi turystyczne. Zbyt duża liczba turystów może powodować degradację środowiska naturalnego. Zagrożenia, które wynikają z nasilającego się w ostatnich czasach ruchu turystycznego to m.in. zbyt duża koncentracja turystów na danej przestrzeni (rozbudowa infrastruktury turystycznej na wyznaczonym obszarze), budowa masowych baz turystycznych na obszarach atrakcyjnych przyrodniczo (domki letniskowe), niewystarczająca ilość oznakowań na szlakach, zbyt mała sieć komunikacyjna (powodująca duże natężenie w ruchu samochodowym na głównych drogach), mała świadomość turystów i przedsiębiorców w sferze ekologicznego postępowania i dbania o środowisko naturalne [2].

Nagły rozwój turystyki został spowodowany promowaniem województwa jako regionu atrakcyjnego turystycznie i przychylnego turystom. Podkarpacie objęto projektem, który zaczęto realizować we wrześniu 2010 r. pt. "Poszerzając Horyzonty – transgeniczna promocja turystyki Podkarpacia i Kraju Rzeszowskiego". Miał on na celu poszerzenie wiedzy o atrakcyjności województwa podkarpackiego nie tylko polskich turystów ale i zagranicznych.

Jednym z większych problemów hamujący rozwój turystyki jest zbyt mała sieć informacji turystycznej. Rozmieszczone są one w mało strategicznych dla turystów miejscach. Znaleźć je można nawet kilka kilometrów od przystanków autobusowych czy dworcach kolejowych. Dla turystów, którzy przyjeżdżają do nowego miejsca, ważne jest uzyskanie jakichkolwiek informacji o mieście, noclegach czy zabytkach, które znajdują się w okolicy. Nie tylko lokalizacja punktów informacji jest barierą dla turystów, również znajomość języków obcych, którzy udzielają informacji jest na niezadowalającym poziomie. Znajomość komunikacyjnego języka obcego dla zagranicznych gości jest bardzo przydatna a nie wszystkie niezbędne informacje można znaleźć w przewodnikach. Urozmaicenie spędzanego czasu w województwie podkarpackim można zwiększyć przez kierowanie ofert turystycznych do określonych grup wiekowych. W województwie podkarpackim brakuje ośrodków, które nastawione są jedynie na usługi oferowane do osób w podeszłym wieku, którzy pragną odpocząć od zgiełku miast, a nie koniecznie pragną przebywać w sanatoriach. Rozwój turystyki, która zachęcałaby seniorów do wyjazdów i zwiedzania nie tylko Podkarpacia poszerzałaby ilość odbiorców oraz wygenerowałaby dodatkowe źródła dochodu. Ważną rolę w regulowaniu i kontrolowaniu rozwoju ruchu turystycznego ma regulacja przez organy administracyjne aktów prawnych normujących zasady.

3. Zanieczyszczenia środowiska Podkarpacia związane z turystyką

System gospodarowania odpadami komunalnymi jaki funkcjonuje w województwie podkarpackim opiera się na ustawie „O utrzymaniu czystości i porządku w gminach”. Za zbieranie oraz właściwe zagospodarowanie odpadów odpowiada samorząd terytorialny [3]. Tabela 1 przedstawia ilość zebranych odpadów w ciągu roku w przeliczeniu na ilość mieszkańców województwa w 2014 r. z uwzględnieniem turystów, przebywających w tym roku (761 500 os.). Średnia długość pobytu turystów w województwie - to ok. 4 dni. Przyjęto, że mieszkańcy byli obecni przez 339 dni na terenie województwa. W poprzednich latach wytworzonych odpadów mogło być więcej niż pokazują statystyki. Przedstawione dane wykazują, że turyści wytwarzają średnio do 30 razy więcej odpadów, niż przeciętny mieszkaniec województwa podkarpackiego, co spowodowane jest wykorzystywaniem większej ilości opakowań jednorazowych, wytwarzaniem odpadów, takich jak resztki żywności, tekstylia, szkło itp.

Tabela 1. Ilość odpadów zgromadzonych w 2012 r. uwzględniającą ilość turystów i mieszkańców na podstawie [4]

Table 1. The amount of waste collected in 2012. Taking into account the number of tourists and residents on the basis of [4]

Wskaźnik	Ilość obliczona [jednostka]
Założenia	
Ilość turystów:	761500 os.
Ilość mieszkańców:	2130000 os.
Ilość zebranych odpadów:	411600 Mg/rok
Ilość dni spędzonych przez turystów w woj.:	śr. 4 dni
Ilość dni spędzonych przez mieszkańców w woj. podkarpackim:	śr 339 dni
Obliczenia	
Ilość turystów i mieszkańców:	2891500 os.
Ilość odpadów zebranych w ciągu roku na mieszkańca:	0,14 Mg/os. rok
Ilość odpadów przypadających na jednego turystę na rok:	0,0368 Mg/os. rok
Ilość odpadów przypadających na jednego mieszkańca na rok:	0,1032 Mg/os. rok
Ilość odpadów przypadających na jednego turystę na dzień:	0,0092 Mg/os. dzień
Ilość odpadów przypadających na jednego mieszkańca na dzień:	0,0003 Mg/os. dzień

Odpady, które pozostawiają po sobie turyści, są dużym problemem, wpływającym na wszystkie elementy środowiska przyrodniczego. Gospodarka odpadami turystycznymi stanowi problem, ponieważ nie ma jednoznacznego sposobu określającego dokładną ilość odpadów, produkowanych przez turystów oraz osobnego sposobu kwalifikowania odpadów jako odpadu turystycznego - odpa-

dy te zaliczane są do odpadów komunalnych. Deponowanie odpadów w środowisku przez turystów jest nieuniknione i wiąże się z naturalną koniecznością zaspokajania potrzeb życiowych związanych z wypoczynkiem. Natomiast ważny jest prawidłowy sposób ich zagospodarowania i niepozostawiania ich w środowisku przyrodniczym.

Problem gospodarki odpadami jest jasny, jednak nie jest doprecyzowany. Prawo powinno dokładnie określać zasady zagospodarowania odpadów, które wytwarzają turyści. Właściciele działek turystycznych powinni również ponosić odpowiedzialność zagospodarowania odpadami. Nowa ustawa „O utrzymaniu czystości i porządku w gminach” nie ustala zagospodarowania odpadów na terenach rekreacyjnych. Tereny te są dewastowane i zaśmiecanie w okresach sezonowych a przez niedoprecyzowanie w ustawie definicji o nieruchomości zamieszkałej nie można wyegzekwować obowiązku utrzymania porządków i deklaracji o zbiórce odpadów od właścicieli tych działek. Poprawę zbiórki odpadów na terenach chronionych mogłyby zapewnić odpowiednie pojemniki umieszczone na szlakach lub miejscach uczęszczanych turystycznie oraz ich odpowiednie zabezpieczenie przed dewastacją nie tylko zwierząt ale i ludzi. Dzikie wysypiska śmieci, które oszpecają krajobraz oraz przyczyniają się do zanieczyszczeń wody i gleby nie miały by wtedy racji bytu [1,3].

Na terenie Podkarpacia głównymi źródłami hałasu są wzmożony ruch samochodowy oraz praca ośrodków przemysłowych. Na Podkarpaciu te dwa czynniki nie powodują znaczącego wzrostu poziomu hałasu. W turystyce dominującym elementem, powodującym uciążliwość hałasem, jest natężenie ruchu samochodowego w sezonie letnim.

Ruch turystyczny nie wpływa na uciążliwość, spowodowaną hałasem komunikacyjnym, ponieważ w miejscowości o dużym natężeniu turystyki (Ustrzyki Dolne) jest porównywalny do miejscowości o średnim natężeniu ruchu turystycznego (Łańcut), natomiast największe przekroczenia poziomu hałasu występują w miejscowościach, w których dominuje przemysł (Nisko) [4].

Województwo podkarpackie charakteryzuje się stosunkowo małym zanieczyszczeniem powietrza (tab. 2) i koncentruje się na terenach przemysłowych oraz w takich powiatach jak mielecki, rzeszowski i stalowowolski. Emitorem zanieczyszczeń do powietrza jest działalność elektrociepłowni, ciepłowni i komunalnych kotłowni. Niektóre z nich są bardzo uciążliwe dla środowiska, jednak coraz więcej z nich wyposażone jest w urządzenia odpylające najnowszej technologii. Zanieczyszczenia gazowe zmniejszyły się o 4,6%, zmniejszyła się również ilość zanieczyszczeń powietrza gazowych zatrzymanych w urządzeniach do redukcji zanieczyszczeń o 9,3%. Nastąpiło zwiększenie zatrzymania zanieczyszczeń pyłowych zatrzymanych w urządzeniach do redukcji zanieczyszczeń o 0,6%. Powiaty, w których wytwarzana jest największa ilość zanieczyszczeń - to stalowowolski, niżański, tarnobrzeski, mielecki i dębicki. Na regionach tych nie ma lub są w niewielkim procencie położone obszary uczęszczane przez turystów.

Tabela 2. Zestawienie wskaźników zanieczyszczeń powietrza zakładów przemysłowych wraz z skutecznością ich zatrzymania, na podstawie [3-4]

Table 2. List of indicators of air pollution industrial plants along with the effectiveness of their detention, based on [3-4]

2010 rok	2012 rok	2014 rok
Wskaźnik: Emisja zanieczyszczeń gazowych z zakładów szczególnie uciążliwych ogółem (tony/rok)		
3 402 183	3 701 683	3 244 439
Wskaźnik: Emisja zanieczyszczeń pyłowych z zakładów szczególnie uciążliwych ogółem (tony/rok)		
1 952	1 954	1 699
Wskaźnik: Zanieczyszczenia powietrza gazowe zatrzymane w urządzeniach do redukcji zanieczyszczeń w % wytworzonych (%) z zakładów szczególnie uciążliwych ogółem (tony/rok)		
35,6	38,2	26,3
Wskaźnik: Zanieczyszczenia powietrza pyłowe zatrzymane w urządzeniach do redukcji zanieczyszczeń w % wytworzonych (%) z zakładów szczególnie uciążliwych ogółem (tony/rok)		
98,7	99,5	99,3

Działania naprawiające użytkowanie gleb na terenach uczęszczanych turystycznie powinny skupić się szczególnie na naprawie szlaków turystycznych oraz ich odpowiednie oznakowanie. Organy sprawujące nadzór nad obszarami chronionymi powinny skupić się na pośrednich czynnikach, mających wpływ na zanieczyszczenie gleb m.in. zaśmiecanie, nadmierna ilość spalin, wycinanie lasów.

Podkarpackie lasy są szczególnie uczęszczane przez turystów. Stopień zalesienia stanowi 36,8% powierzchni województwa. Biocenoza leśna jest siedliskiem dzikich zwierząt, bogatego runa leśnego oraz źródłem napędzającym gospodarkę lokalnych przedsiębiorstw. W województwie utworzono takie kompleksy leśne, jak „Leśne Kompleksy Promocyjne w Nadleśnictwie Bircza”, „Leśny Kompleks Promocyjny Lasy Bieszczadzkie” oraz część kompleksu „Lasy Janowskie w Nadleśnictwie Janów Lubelski” na terenie gmin Pysznica, Zaklików i Radomyśl. Lasy należące do Skarbu Państwa zajmują 85% powierzchni województwa, natomiast pozostałe kompleksy leśne - to tereny prywatne, występują one na słabych jakościowo glebach. Podkarpacie względem lesistości podzielone jest na teren północny, środkowy i południowy. W części północnej występują lasy mieszane i sosnowe, środkowa część - to lasy mieszane, natomiast tereny południowe są najbardziej zróżnicowane pod względem gatunkowym drzew w lasach i jest to część województwa o największej lesistości oraz największej ingerencji turystów [5].

Zagrożeniami jakie stwarzają turyści są najczęściej pozostawiane odpady po biwakowaniu czy zakopywane dzikie wysypiska śmieci. Ścieżki leśne wy-

znaczone są w najpiękniejszych częściach lasu i można tu spotkać rzadkie gatunki roślin i zwierząt. Są to najlepiej oznakowane szlaki przyrodnicze. Ważne jest zachowanie podstawowych zasad poruszania się po lasach, pamiętaniu o zachowaniu ciszy, niezaśmiecaniu, wyprowadzaniu psów na smyczy (ponieważ niszczą one runo leśne, lub mogą atakować dzikie zwierzęta) oraz biwakowaniu w wyznaczonych miejscach [5].

Woda zanieczyszczana jest głównie przez awarie sprzętu wodnego, wycieki paliw z silników żaglówek lub łodzi, środki czyszczące używane przez turystów wypoczywających nad jeziorem. Problemem jest również nieszczelna sieć kanalizacyjna, przez którą przedostają się ścieki. Zanieczyszczenia te są przyczyną eutrofizacji zbiorników, skażenia substancjami chemicznymi oraz powodują ubożenie różnorodności ryb znajdujących się w wodach. Na Podkarpaciu wybudowanych jest 13 elektrowni wodnych. Zidentyfikowano kilka miejsc złóż źródeł geotermalnych dotychczas nie eksploatowanych m.in. w miejscowościach Kuźmina, Brzegi Dolne, Polańczyk [1].

Poprzez „Krajowy Program Oczyszczalni Ścieków Komunalnych” i jej szerszy dostęp dla mieszkańców (również dla turystów) wzrasta ilość ścieków komunalnych. Na obszarach chronionych wykonuje się ocenę wymagań dodatkowych określonych dla jednolitych części wód powierzchniowych. W 2014 roku badania te potwierdziły, że 2 z 4 obszarów chronionych, na których była badana woda, nie spełniało wymagań do celów rekreacyjnych („Potok Chotowski” i „Brusienka”), w tym kąpieliskowych. 43 z 94 badanych obszarów zakwalifikowano jako wrażliwe na eutrofizację, która spowodowana jest zanieczyszczeniami pochodzenia komunalnego. Poprawę jakości wód widać również w ocenie spełnienia wymagań dodatkowych dla obszarów chronionych wód powierzchniowych przeznaczonych do poboru wody przeznaczonej do spożycia z 2012 roku na stanowiskach Wisłoka - od potoku Chotowskiego do Rzeki, Wisłoka - od potoku Kiełkowskiego do ujścia, Sanu - od Huczek do Wisłoka bez Wisłoki, Sanu - od Olszanki do Wiaru (badania wody pod względem: jakości, stanu fizykochemicznego i stanu bakteriologicznego) nie spełniły wymagań dla obszaru chronionego [4,6].

Cennym obszarem przyrodniczym jest zbiornik Solina a jego ochrona przed zanieczyszczeniami jest szczególnie ważna. Zlewnia zbiornika znajduje się na obszarach chronionych (park narodowy, rezerwaty przyrody, parki krajobrazowe) oraz zaopatruje w wodę pobliskie miejscowości. Na jego terenie prowadzone jest jedynie działanie turystyczno-rekreacyjne. W 2014 roku w zlewni Zbiornika Solina wykonano kontrolę zakładów odprowadzania ścieków do wód powierzchniowych i stwierdzono 91,5% naruszeń dotyczących ochrony środowiska w kontrolowanych zakładach. Największy problem stanowi nielegalne odprowadzanie ścieków do zbiornika Solina przez gospodarstwa agroturystyczne. Ludność utrzymuje się w dużym stopniu z działalności agroturystycznej jednak aby poprawić jakość wód należy zwiększyć świadomość ekologiczną mieszkańców, aby zadbali o właściwe odprowadzanie ścieków z swoich gospo-

darstwach nie zaturując tym samym własnej okolicy. Poprawę stanu jakości tych wód umożliwiłoby zakładanie przydomowych biologiczno-mechanicznych oczyszczalni ścieków, oraz pomoc finansowa ze strony samorządu na szerzenie takich działań.

4. Podsumowanie

Na obszarze województwa podkarpackiego występuje wiele walorów turystycznych, przez co staje się ono bardzo atrakcyjne. Walory te są walorami przyrodniczymi, antropogenicznymi, wypoczynkowymi, zdrowotnymi, oraz typowo krajoznawczymi. Poprzez dobre warunki turystyczne w tym regionie następuje wzrost zainteresowania nim ze strony turystów, a to z kolei przyczynia się do zwiększenia ofert turystycznych, ilości ośrodków wypoczynkowych i turystycznych baz zatrzymania.

Województwo podkarpackie jest rejonem, w którym ludność utrzymuje się głównie z rozwoju turystyki. Szerzenie wiedzy na temat najlepszych technik, które można zastosować w gospodarstwach przyjmujących turystów lub miejscach zakwaterowania i ich wykorzystanie poprawiłoby stan środowiska przez zmniejszenie zanieczyszczeń.

Po przeprowadzonej analizie stwierdzono, że turystyka pośrednio wpływa na zanieczyszczenia gleby, powietrza oraz ma nieznaczny udział w poziomie hałasu komunikacyjnego. Nie oznacza to jednak, że jej wpływ jest niegroźny i nieistotny. Aby o tym się przekonać należy wykonać specjalne badania, które określiłyby stopień, w jakim turystyka może przyczyniać się do tego typu zanieczyszczeń.

Turystyka podkarpacka w dalszym stopniu będzie się rozwijać, natomiast razem z nią będą rozwijały się kierunki, formy i techniki, które wykorzystywane będą do ochrony środowiska przyrodniczego. Wraz z szerzeniem ochrony środowiska na Podkarpaciu turyści dłużej będą mogli cieszyć się wspaniałymi walorami przyrodniczymi, które tu występują, ponieważ nadmierne eksploatowanie i braki w zabezpieczeniu przyrody będą powodowały ubożenie i utratę rangi walorów i tym samym brak zainteresowania turystów tym regionem.

Literatura

- [1] Strategia rozwoju województwa Podkarpackiego na lata 2007-2020. Aktualizacja 2010. Rzeszów: sierpień 2010 r. Zarząd Województwa Podkarpackiego.
- [2] Cisek B. Żegleń P.: Analiza rozwoju turystyki w woj. podkarpackim w kontekście rozwoju turystyki w Polsce i na świecie. ASM Centrum Badan i Analiz Rynku Sp. z o.o.
- [3] Raport o stanie środowiska w województwie podkarpackim w 2014 roku. Rozdział 8. Odpady, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Rzeszów: Biblioteka Monitoringu Środowiska, 2014 r.

- [4] Raport o stanie środowiska w województwie podkarpackim w 2013 roku, Opracowano w Wydziale Monitoringu Środowiska Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Rzeszowie, Rzeszów: Biblioteka Monitoringu Środowiska, 2013 r.
- [5] Strategia rozwoju turystyki na obszarach chronionych (dotyczy górskich obszarów województwa podkarpackiego). Sanok: 2014 r. Fundacja Karpacka – Polska.
- [6] Rak J.: Wskazania, odczyty i rozliczenia za zużytą wodę. II Konferencja Błękitny San nt. „Ochrona środowiska, walory przyrodnicze i rozwój turystyki w Dolinie Sanu”, Związek Gmin Turystycznych Pogórza Dynowskiego, Dynów, 2005, s. 31-40.

ENVIRONMENTAL PROTECTION IN TOURISM IN PODKARPACIE

Summary

The article presented an analysis of regional environmental podkarpacki tourist contaminated waste. Podkarpackie province is popular with places of tourist activity and good tourist infrastructure networks. Research shows that Podkarpackie is a province with a slight pollution. Surface waters are the main source of demand for Podkarpackie. Through its geographical location province can be considered one of the few places in Poland where the tourist season lasts almost all year round. Podkarpackie through it attracts tourists who want an active rest for communing with nature. The sudden development of tourism was caused by promoting the region as an attractive tourist destination in the region and welcomed tourists. One of the major problems hampering the development of tourism is too small network of tourist information. They are arranged in a few strategic places for tourists. They can be found even a few kilometers from bus stops or train stations. For tourists who come to a new place, it is important to obtain any information about the city, accommodation or monuments that are located in the area. Analysis has shown that tourists generate on average up to thirty times more waste than the average citizen Podkarpackie province, which is caused by the use of larger quantities of disposable packaging, production waste such as food scraps, textiles, glass, etc. After this analysis, it was found that indirectly affect tourism pollution of soil, air, and has a negligible share in the level of traffic noise. This does not mean, however, that its effect is harmless and irrelevant. To realize this should make special research that would determine the extent to which tourism can contribute to this type of pollution.

Keywords: Podkarpackie, tourism, pollution, environment, network site

Przesłano do redakcji: 10.02.2016 r.

Przyjęto do druku: 1.03.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.110

Galina KALDA¹
Małgorzata WILK²

ANALIZA ZANIECZYSZCZENIA GLEBY ZAKŁADAMI PRZEMYSŁOWYMI NA PODKARPACIU

W artykule prezentowano źródła zanieczyszczenia i zagrożenia gleby w województwie podkarpackim. Czynniki wpływającymi na stan chemiczny gleb, jest stopień uprzemysłowienia terenu, natężenie ruchu drogowego, gęstość zaludnienia, struktura powierzchniowa miasta, gospodarka odpadowo-ściekowa, mikroklimat oraz rodzaj i gatunek gleb. Zakłady przemysłowe oraz komunikacja emitują najczęściej pyłowych i gazowych zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego. Emisja zanieczyszczeń gazowych i pyłowych nie wywołuje bezpośrednio widocznych skutków w zmianach profilów glebowych, ale ich pośrednie oddziaływanie może mieć duży wkład. W województwie podkarpackim występują liczne zakłady przemysłowe, które są potencjalnym zagrożeniem dla środowiska glebowego. Największa ilość zanieczyszczeń dostaje się do gleby wraz ze ściekami, pyłami, gazami oraz ciekłymi i stałymi odpadami, generowanymi przez przemysł. Zanieczyszczenia te zawierają głównie metale ciężkie czy sole. Poważnym źródłem zanieczyszczeń gleb mogą być występujące na Podkarpaciu zakłady dużego oraz zwiększonego ryzyka, w których przerabiane są w instalacjach produkcyjnych ogromne ilości substancji niebezpiecznych. Zagrożeniem jest także magazynowanie substancji toksycznych oraz ich transport. W artykule pokazana zawartość metali ciężkich w glebach Podkarpacia w 2011-2014 latach, zawartość gazów i pyłów emitowanych z zakładów przemysłowych, ilość gruntów zdegradowanych oraz zdewastowanych na Podkarpaciu. Pokazano, że stan gleby w województwie podkarpackim jest na ogół dobry. Jednak występują tu gleby zakwaszone, wymagające nieraz natychmiastowego wapnowania, oraz gleby zanieczyszczone substancjami chemicznymi. Grunty zdewastowane oraz degradowane powstawały głównie w wyniku działalności górnictwa oraz kopalnictwa surowców. W województwie podkarpackim dotyczyło to głównie gruntów z terenów poeksploatacyjnych górnictwa siarkowego.

Słowa kluczowe: gleba, zanieczyszczenie, ochrona, zagrożenie, źródła, zakłady przemysłowe

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

² Małgorzata Wilk, Politechnika Rzeszowska

1. Wprowadzenie

Gleba jest najcenniejszym odnawialnym bogactwem naturalnym Ziemi, jest podstawą funkcjonowania wszystkich istniejących ekosystemów lądowych, stanowi naturalne środowisko, potrzebne do rozwoju mikroorganizmów i roślin wyższych, warunkuje rozkład i produkcję biomasy, przepływ energii oraz obieg materii w ekosystemie, jest także filtrem w obiegu wód podziemnych. W wyniku działalności człowieka naturalne właściwości gleby często ulegają trudno odwracalnym przemianom. Gleba buforuje, filtruje, ale także akumuluje substancje szkodliwe, stąd ochrona gleb jest priorytetem w działaniach ochrony środowiska.

Czynnikami, wpływającymi na zanieczyszczenie gleb, jest stopień uprzemysłowienia terenu, natężenie ruchu drogowego, gęstość zaludnienia, struktura powierzchniowa danego obszaru, gospodarka odpadowa, ściekowa, mikroklimat oraz rodzaj i gatunek gleb. Zanieczyszczona gleba pogarsza wegetację roślin użytkowych oraz estetyczne i ekologiczne walory roślin. Zanieczyszczenia gleb mogą mieć różne pochodzenie, głównym ich źródłem jest przemysł oraz chemizacja rolnictwa. Do zanieczyszczenia gleb dochodzi głównie poprzez przedstawianie się do gleby wszelkich chemicznych substancji, pierwiastków promieniotwórczych oraz mikroorganizmów, występujących w glebach w dawkach, przekraczających ich naturalną zawartość. Skutkiem zanieczyszczenia gleby jest przede wszystkim zmienienie cech gleb pod względem fizycznym, chemicznym i biologicznym. Gleby zanieczyszczone oraz zdegradowane, które utraciły częściowo albo całkowicie swoje pierwotne właściwości fizyczne, chemiczne lub funkcje biologiczne, potrzebują podjęcia działań naprawczych, prowadzących do detoksykacji lub oczyszczenia ich. Aby nie dopuścić do kompletnego zniszczenia gleb, należy podejmować działania zapobiegawcze oraz zdegradowane i zdewastowane gleby należy rekultywować.

Ochrona gleby opiera się na zachowaniu jej wartości, a w szczególności poprzez racjonalne gospodarowanie powierzchnią Ziemi, zachowaniu wartości przyrodniczych, zachowaniu możliwości produkcyjnego jej wykorzystania, utrzymanie jakości gleb na poziomie wymaganych standardów, ograniczaniu zmian naturalnej rzeźby terenu oraz zachowaniu wartości kulturowych, uwzględniając zabytki archeologiczne. Do ochrony gleb należy także monitoring zanieczyszczeń gleb. Monitoring zanieczyszczeń gleb ma na celu badanie i ocenę stanu biologicznie czynnej warstwy powierzchni Ziemi, łącznie z czynnikami powodującymi jej degradację. Punktem docelowym monitoringu gleb jest poprawa efektywności działań w zakresie ochrony gleb.

2. Charakterystyka gleby w województwie podkarpackim

Według danych, zgromadzonych przez Główny Urząd Statystyczny w Rzeszowie, powierzchnia geodezyjna województwa podkarpackiego wynosi 1784,6 tys. ha, co stanowi 5,7% powierzchni kraju. Użytki rolne w wojewódz-

twie podkarpackim zajmują 943,2 tys. ha, co stanowi 52,9% ogólnej powierzchni województwa. Grunty leśne i zadrzewione oraz zakrzewione pochłaniają 40,7% powierzchni, tj. 727,2 tys. ha. Grunty zabudowane i zurbanizowane zajmują 79,8 tys. ha (4,5%), grunty pod wodami powierzchniowymi – 20,4 tys. ha (1,1%). Tereny przemysłowe i użytki kopalne stanowią niewielki procent powierzchni województwa podkarpackiego, zajmują łącznie około 6 tys. ha, tj. 0,4%. Pozostałe 13,9 tys. ha (0,8% powierzchni województwa) zajmowały użytki ekologiczne, nieużytki oraz tereny różne.

Ogólny stan gleb w województwie podkarpackim jest dobry, ale występują tu także gleby zakwaszone, wymagające nawet natychmiastowego wapnowania, a także gleby zanieczyszczone substancjami chemicznymi. Z przeprowadzonych badań w latach 2010-2014 wynika, że w województwie podkarpackim przeważają gleby kwaśne oraz bardzo kwaśne. W południowej części województwa podkarpackiego występują gleby, które są ubogie w fosfor i potas. W 2013 r. przeprowadzono badania odnośnie zawartości metali ciężkich zawartych w glebach. Badania te pokazały, że stopień zanieczyszczenia chemicznego jest niewielki i wahał się w granicach dopuszczalnych norm. W badaniach tych zauważono tylko jeden przypadek podwyższenia zawartości rtęci. Część gleb jest zdegradowana wskutek działalności przemysłowej, występujących erozji, osuwisk czy eksploatacji surowców mineralnych.

3. Źródła zanieczyszczenia i zagrożenia gleby na Podkarpaciu

Gleba jest takim elementem środowiska, która gromadzi w sobie zanieczyszczenia z wszystkich pozostałych części. Czynnikiem wpływającym na stan chemiczny gleb, jest stopień uprzemysłowienia terenu, natężenie ruchu drogowego, gęstość zaludnienia, struktura powierzchniowa miasta, gospodarka odpadowo-ściekowa, mikroklimat oraz rodzaj i gatunek gleb.

Na obszarach miejskich gleby ulegają szeregom przekształceń. Spowodowane jest to tym, że na względnie małym rejonie występuje wiele emitatorów zanieczyszczeń. Obszary zurbanizowane charakteryzują się często dużą zawartością substancji chemicznych w glebach. Substancjami tymi są metale ciężkie, związki ropopochodne, związki siarki, fluorowce oraz inne zanieczyszczenia organiczne i mineralne [1].

Mechanicznymi zanieczyszczeniami gleby są różne ciała stałe, słabo rozkładalne o wymiarach cząsteczek elementarnych powyżej 1 mm, które są wprowadzane do gleby lub na powierzchnie gleby. Do mechanicznych zanieczyszczeń gleby zaliczamy gruzy budowlane, gruzy z nawierzchni dróg, odpady różnego pochodzenia, w tym odpady budowlane, poeksploatacyjne surowców skalnych, metalowe, ceramiczne, szklane, z tworzyw sztucznych, odpady przemysłowe, komunalne itp. Istotnym źródłem zanieczyszczeń mechanicznych są składowiska odpadów [2].

W województwie podkarpackim w 2014 r. funkcjonowało 7 składowisk, deponujących odpady przemysłowe. Łącznie w 2014 r. na tych składowiskach zgromadzono około 0,7 tys. Mg odpadów przemysłowych. Wśród tych 7 składowisk odpadów przemysłowych dwa są zaliczane do składowisk odpadów niebezpiecznych (mieszczą się one w Dębicy i Pustkowie), jedno składowisko, przyjmujące odpady obojętne (miejscowość Jeziórko) oraz cztery składowiska odpadów przemysłowych innych, niż obojętne i niebezpieczne (w Pustkowie, Mielcu oraz dwa w Jaśle) [2].

Chemiczne zanieczyszczenia gleb powstają przede wszystkim w wyniku nieprawidłowej działalności ludzkiej i prowadzą do degradacji gleb. W porównaniu do powietrza czy wód zanieczyszczonych, gleby nie można tak szybko oczyścić. Jej proces samooczyszczania jest niezwykle powolny. Gleby, które są zanieczyszczone chemicznie, przejawiają niekorzystne zmiany aktywności biologicznej, zmiany właściwości fizycznych oraz są bardziej podatne na erozję wodną i wietrzną. Degradację chemiczną gleb powodują procesy, które kierują do zmiany odczynu gleby, tj. zakwaszenia bądź alkalizacji, oraz do akumulacji śladowych pierwiastków w glebie, a w szczególności metali ciężkich [3].

Zakłady przemysłowe oraz komunikacja emitują najwięcej pyłowych i gazowych zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego. Emisja zanieczyszczeń gazowych i pyłowych nie wywołuje bezpośrednio widocznych skutków w zmianach profilów glebowych, ale ich pośrednie oddziaływanie może mieć duży wkład [4].

Poważne zaburzenia w glebie mogą spowodować niektóre odpady kopalniane. Siarka i piryt, wydobyte na powierzchnie gleby, bardzo silnie ją zakwaszą kwasem siarkowym w wyniku utlenienia. Znaczne zanieczyszczenie gleb metalami ciężkimi występuje w nakładzie i pobliskich glebach przy wydobywaniu rud metali ciężkich. Istotnym źródłem zagrożenia gleby są także składowiska odpadów, pyły unoszące się z tych składowisk oraz nie skanalizowane odcieki wysypiskowe [4,5].

4. Analiza zanieczyszczeń gleby pochodzących od zakładów przemysłowych w województwie podkarpackim

W województwie podkarpackim występują liczne zakłady przemysłowe, które są potencjalnym zagrożeniem dla środowiska glebowego. Największa ilość zanieczyszczeń dostaje się do gleby wraz ze ściekami, pyłami, gazami oraz ciekłymi i stałymi odpadami, generowanymi przez przemysł. Zanieczyszczenia te zawierają głównie metale ciężkie czy sole. Dużo zakładów przemysłowych, takich jak huty, elektrownie, cementownie czy zakłady chemiczne, emitują do atmosfery szkodliwe pyły i gazy, które opadają na powierzchnie gleby, zanieczyszczając ją. Zanieczyszczoną glebę można także zaobserwować w pobliżu infrastruktury drogowej.

Źródłami potencjalnych skutków zanieczyszczenia gleb w województwie podkarpackim są:

- przemysł oraz działalność usługowa, w których są używane lub magazynowane toksyczne środki chemiczne, wytwarzane odpady lub substancje biologicznie czynne, istniejącymi źródłami zagrożeń są np. instalacje amoniakalne w zakładzie WSK, „Zelmer”, „Alimie–Gerber”, PPL „Koral”, zbiorniki chloru w MPWiK, ICN–Polfa;
- transport materiałów niebezpiecznych oraz toksycznych na wszystkich trasach kolejowych w województwie podkarpackim oraz na głównych drogach zewnętrznych, a także na ulicach dojazdowych do zakładów przemysłowych wykorzystujących bądź magazynujących te środki;
- awarie ogólnie miejskich systemów zasilania sieci ciepłych, energetycznych, gazu oraz wody;
- gwałtowne pożary zakładów przemysłowych;
- powodzie rzeczne oraz inne ekstremalne zjawiska pogodowe;
- katastrofy budowlane;
- awarie elektrowni jądrowych w sąsiadujących państwach (na Słowacji, Ukrainie lub Węgrzech elektrownie jądrowe wybudowane są z zastosowaniem podobnej technologii, dwustopniowego zabezpieczenia, jak elektrownia w Czarnobylu).

W latach 2013–2014 zakres badań odnośnie zawartości metali ciężkich był mocno ograniczony. Analizą zostało objętych 444 prób gleby, badania miały charakter punktowy i nie można ich odnosić do całego województwa podkarpackiego. W 2013 r. na terenie województwa podkarpackiego ocena zawartości metali ciężkich w glebie została wykonana w oparciu o badanie 215 prób gleby, które zostały pobrane na obszarze 14 powiatów, natomiast w 2014 r. pobrano ponad 140 prób gleby. W tabeli 1 przedstawiona średnia zawartość metali ciężkich w latach 2013–2014 w glebach województwa podkarpackiego (na przykładzie kilku powiatów). Zawartość metali ciężkich w glebach Podkarpacia została określona na podstawie badań zleconych za pośrednictwem producentów rolnych oraz innych zleciodawców.

Porównując otrzymane wyniki badań w 2013 r. do wartości dopuszczalnych według rozporządzenia w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi, odnotowano tylko jeden przypadek przekroczenia dopuszczalnej wartości w przypadku rtęci na obszarze gminy Świlcza w powiecie rzeszowskim. Pozostałe wyniki badań gleby oscylują w granicach zawartości normatywnej. W 2014 r. nie odnotowano żadnego przekroczenia norm odnośnie zawartości metali ciężkich, wyniki badań podobnie jak w roku wcześniejszym wahają się w przedziałach zawartości normatywnej.

Należy podkreślić, że wyników tych nie można odnosić do całego województwa podkarpackiego, ponieważ wyniki nie zostały przeprowadzone w każdym powiecie oraz ilości prób gleby z każdego powiatu była różna. Poziom wartości metali ciężkich różnicuje się także w zależności od rodzaju gleby.

Tabela 1. Zawartość średnia metali ciężkich w glebach województwa podkarpackiego w latach 2013–2014, na podstawie [6-8]

Table 1. Average content heavy metals in soils in the Podkarpace Voivodship in 2013-2014, based on [6-8]

Powiat	Rok	Zawartość średnia w mg/kg powietrznie suchej masy gleby					
		kadm	ołów	cynk	miedź	chrom	rtęć
brzozowski	2013	0,35	31,3	109,9	26,1	55,4	0,079
	2014	-	-	-	-	-	-
jarosławski	2013	0,3	12,8	35,5	10,3	13,2	0,031
	2014	0,3	8,0	19,4	4,2	8,4	0,013
krośnieński + m. Krosno	2013	0,33	24,2	73,3	15,75	31,1	0,065
	2014	-	-	-	-	-	-
leżajski	2013	0,3	9,8	33,8	6,7	11,3	0,046
	2014	0,3	15,3	36,2	9,5	18,6	0,022
przemyski + m. Przemyśl	2013	0,3	18,2	49,9	13,9	23,1	0,037
	2014	0,3	23,9	74,8	24,7	38,8	0,052
przeworski	2013	0,3	12,3	-	-	-	-
	2014	0,3	21,7	71,7	26,3	20,0	0,034
rzeszowski + m. Rzeszów	2013	0,3	19,7	55,1	13,8	17,5	0,074
	2014	0,3	19,2	77,1	29,3	24,5	0,024
Dopuszczalna zawartość metali ciężkich w glebie		4,0	100	300	150	150	2,0

Problemem w województwie podkarpackim jest wysokie zakwaszenie gleb, które powoduje szybsze przenikanie metali ciężkich do gleb.

Zakłady przemysłowe szczególnie uciążliwe w województwie Podkarpackim w latach 2011–2014 najczęściej emitowały cynku, manganu oraz chromu. W analizowanych latach ilość emisji poszczególnych metali ciężkich co roku jest bardzo podobna. Jednak można zauważyć, że w 2014 r. emitowano większe masy arsenu, niklu i rtęci niż w latach wcześniejszych, natomiast w 2011 r. prawie o połowę mniej było emitowanego do atmosfery cynku, niż w latach późniejszych.

W 2012 r. wyemitowano najwięcej metali ciężkich do atmosfery, łącznie emisja wynosiła 5,04 tys. kg, zaś w 2011 r. najmniej tj. 2,9 tys. kg. W województwie podkarpackim głównie emitowany jest do atmosfery cynk, w latach 2011–2014 stanowił on 73,2% ogólnej ilości emisji metali ciężkich z zakładów przemysłowych szczególnie niebezpiecznych. W śladowych ilościach były emitowane takie metale ciężkie jak: arsen, kadm, kobalt czy rtęć.

4.1. Zawartość gazów i pyłów emitowanych z zakładów przemysłowych w województwie podkarpackim

Zanieczyszczenia wprowadzane w sposób zorganizowany pochodzą z wszelkiego rodzaju urządzeń technologicznych czy grzewczych, natomiast zanieczyszczenia niezorganizowane pochodzą ze składowisk odpadów przemysłowych, z hałd kopalnianych, z hal produkcyjnych oraz w wyniku prac przeładunkowych różnych substancji sypkich i lotnych.

W tabeli 2 przedstawiono ilość zanieczyszczeń pyłowych i gazowych wprowadzanych do atmosfery w województwie podkarpackim. Wielkość emisji zanieczyszczeń pyłowych dotyczy ilości pyłowych zanieczyszczeń dostarczanych przez dany zakład przemysłowy do atmosfery. Emisja zanieczyszczeń pyłowych obejmuje pyły ze spalania paliw, cementowo-wapiennicze i materiałów ogniotrwałych, węglowo-grafitowe, sadze, nawozów sztucznych. Wielkość emisji zanieczyszczeń gazowych obejmuje dwutlenek węgla, dwutlenek siarki, tlenek azotu, tlenek węgla, metan, podtlenek azotu oraz niezorganizowane zanieczyszczenia.

W latach 2011–2014 emisja pyłów i gazów z zakładów szczególnie uciążliwych w województwie podkarpackim średnio wyniosła 3,6 mln Mg. Z analizowanych lat w 2013 r. wyemitowano najwięcej zanieczyszczeń pyłowych oraz gazowych tj. 3,77 mln Mg, najmniej wyemitowano w 2011 r. tj. 3,4 mln Mg.

Tabela 2. Emisja pyłów i gazów z zakładów szczególnie uciążliwych w województwie podkarpackim w latach 2011–2014, na podstawie [6-8]

Table 2. Emissions of dust and gases from the plant particularly burdensome in the Podkarpackie Voivodship in 2011-2014, based on [6-8]

Wyszczególnienie	2011		2012		2013		2014	
	Mg	%	Mg	%	Mg	%	Mg	%
Emisja zanieczyszczeń pyłowych z zakładów szczególnie uciążliwych ogółem	1952	0,06	2002	0,05	1954	0,05	1698	0,05
- ze spalania paliw	1625	0,05	1625	0,04	1595	0,04	1382	0,04
- cementowo-wapiennicze i materiałów ogniotrwałych	60	0,00	59	0,00	40	0,00	54	0,00
- węglowo-grafitowe, sadza	33	0,00	35	0,00	39	0,00	36	0,00
- nawozy sztuczne	2	0,00	4	0,00	6	0,00	5	0,00
- niezorganizowane	1	0,00	1	0,00	1	0,00	13	0,00
Emisja zanieczyszczeń gazowych z zakładów szczególnie uciążliwych ogółem	3402183	99,94	3767845	99,95	3701683	99,95	3360437	99,95
- dwutlenek węgla	3383688	99,40	3746718	99,39	3681186	99,39	3342357	99,41
- dwutlenek siarki	8780	0,26	10337	0,27	9760	0,26	8339	0,25
- tlenek azotu	5465	0,16	6260	0,17	6066	0,16	5275	0,16
- tlenek węgla	3570	0,10	3873	0,10	3982	0,11	3504	0,10
- metan	29	0,00	9	0,00	6	0,00	0	0,00
- podtlenek azotu	1	0,00	1	0,00	1	0,00	1	0,00
- niezorganizowane	7514	0,22	7742	0,21	8801	0,24	9452	0,28
Razem	3404135	100	3769847	100	3703637	100	3362135	100

Województwo podkarpackie należy do grupy województw o najniższym wskaźniku emisji zanieczyszczeń pyłowych oraz gazowych do atmosfery. W 2014 r. województwo podkarpackie zajmowało 13 miejsce w kraju odnośnie emisji zanieczyszczeń pyłowych i gazowych.

W 2014 r. tylko 1,6% emitowanych do atmosfery zanieczyszczeń w Polsce pochodziło z obszaru województwa podkarpackiego. W Polsce głównymi emitarami zanieczyszczeń pyłowych i gazowych są województwa śląskie oraz łódzkie, łącznie te województwa emitują rocznie 38% zanieczyszczeń pyłowych oraz gazowych w skali kraju. Wynika to z faktu, że w województwie śląskim oraz łódzkim występują liczne zakłady przemysłowe, huty metali oraz przemysł górniczy.

4.2. Gleby zdegradowane i zdewastowane w województwie podkarpackim

Na terenie województwa podkarpackiego występują gleby zdegradowane oraz zdewastowane w wyniku działalności przemysłowej oraz rolniczej. Ilość obszarów zdegradowanych oraz zdewastowanych w wyniku działalności przemysłowej w latach 2011–2014 w województwie podkarpackim przedstawiono w tabeli 3.

Według danych, zgromadzonych przez GUS, w latach 2011–2014 w województwie podkarpackim znajdowało się średnio 1,75 tys. ha gruntów zdegradowanych oraz zdewastowanych. W 2012 r. powstało najwięcej zdegradowanych oraz zdewastowanych terenów tj. 1809 ha. Z analizowanych lat w 2014 r. powstało najmniej zdegradowanych oraz zdewastowanych terenów. Największy udział mają grunty zdewastowane, stanowią one blisko 95% powierzchni ogólnej gleb wymagających rekultywacji, gleby zdegradowane zajmują pozostałe 5%.

Największa ilość powierzchni gruntów zdewastowanych oraz zdegradowanych powstała w wyniku natężonej działalności eksploatacyjnej surowców mineralnych, a zwłaszcza kruszyw i siarki (stanowią one około 89%). Są to przede wszystkim tereny poeksploatacyjne górnictwa siarkowego w obszarze tarnobrzeskim. W rejonie powiatu tarnobrzeskiego znajduje się ponad połowa wszystkich gruntów zdewastowanych oraz zdegradowanych w województwie podkarpackim.

W latach 2011–2014 łącznie zostało zrekultywowanych 673 ha gruntów, zaś zagospodarowanych w tych latach zostało 534 ha gruntów. W latach 2013–2014

Tabela 3. Ilość gruntów zdegradowanych oraz zdewastowanych w województwie podkarpackim w latach 2011–2014, na podstawie [6-8]

Table 3. Amount of land degraded and claims in the Podkarpackie Voivodship in 2011-2014, based on [6-8]

Wyszczególnienie	2011	2012	2013	2014
	ha	ha	ha	ha
Grunty zdegradowane	62	77	97	123
Grunty zdewastowane	1653	1732	1665	1574
Ogółem	1715	1809	1762	1697

zostało zrehabilitowane i zagospodarowane blisko 5 razy więcej obszarów gleb, niż w latach 2011–2012.

Jak przedstawiono w tabeli 4, w latach 2011–2014 w województwie podkarpackim tylko niewielka część gleb była zrehabilitowana oraz zagospodarowana. Analizując tabelę 4, można zauważyć, że z roku na rok rośnie liczba zrehabilitowanych oraz zagospodarowywanych gleb.

Tabela 4. Ilość gleb zdegradowanych i zdewastowanych w stosunku do ilości gleb poddanych rekultywacji oraz zagospodarowaniu w województwie podkarpackim w latach 2011–2014, na podstawie [6-8]

Table 4. Quantity of degraded soils and claims in relation to the quantities of soil remediation and management in the Podkarpackie Voivodship in 2011-2014, based on [6-8]

Rok	Gleby zdewastowane i zdegradowane	Gleby zrehabilitowane i zagospodarowane
	ha	ha
2011	1715	103
2012	1809	105
2013	1762	463
2014	1697	547

W latach 2011–2012 tylko niewielka liczba gleb została zrehabilitowana oraz zagospodarowana. W tych latach przywrócono wartość użyteczną tylko około 6% zniszczonych gleb. W latach 2013–2014 można zauważyć znaczny wzrost zrehabilitowanych i zagospodarowanych powierzchni gleb. W 2013 r. zrehabilitowano oraz zagospodarowano 26,3% gleb, natomiast w 2014 r. poddano takiemu procesowi 32,2% gleb.

5. Zapobieganie zanieczyszczeniom gleby pochodzącymi z przemysłu

Przeciwdziałanie zanieczyszczeniom środowiska polega na zapobieganiu bądź ograniczaniu wprowadzania do środowiska substancji bądź energii. Podmiot który korzysta ze środowiska jest zobowiązany do przestrzegania wymagań ochrony środowiska, a w szczególności przez [9]:

- odpowiednią organizację prac;
- powierzenie funkcji związanych z zapewnieniem ochrony środowiska osobą dysponującą odpowiednimi kwalifikacjami zawodowymi;
- zapoznanie pracowników, których zakres obowiązków wiąże się z problemem ochrony środowiska, z wymaganiami w tym zakresie;
- podejmowanie działań w celu uniknięcia lub ograniczenia szkód w środowisku będących rezultatem nieprzestrzegania zasad ochrony środowiska przez pracowników, oraz podejmowania właściwych środków w celu wyeliminowania takich incydentów w przyszłości.

Aby zminimalizować lub zapobiegać powstawaniu zanieczyszczeniom przemysłowym gleb, powinno się stosować do działań zapobiegawczych, do których można zaliczyć [10]:

- planowanie zagospodarowania przestrzennego obiektów przemysłowych zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju;
- stosowanie w działalności projektowej, inwestycyjnej, konstrukcyjnej, produkcyjnej oraz techniczno-eksploatacyjnej zakładów przemysłowych, takich rozwiązań, które będą zapewniały bezpieczeństwo ekologiczne;
- projektowanie rozwiązań technicznych, które zminimalizują możliwość wystąpienia nadzwyczajnych zagrożeń środowiska, szczególnie w takich zakładach przemysłowych, w których są produkowane, składowane lub transportowane materiały niebezpieczne;
- stworzenie systemu informowania społeczeństwa o ewentualnych skutkach zanieczyszczenia lub skażenia środowiska glebowego;
- stworzenie zintegrowanych planów do przeciwdziałania nadzwyczajnym zagrożeniom środowiska oraz przygotowanie planu postępowania w wyniku wypadku, awarii czy katastrofy zagrażającej środowisku.

Monitoring środowiska ma obowiązek informować o [11]:

- stanie środowiska oraz jego zmianach;
- źródłach zanieczyszczeń, powodujących degradację środowiska;
- intensyfikacji zanieczyszczeń (obszary na których występuje wysokie stężenie zanieczyszczeń);
- zgodności realizowanych programów środowiskowych;
- skutkach ekologicznych, gospodarczych oraz społecznych degradacji środowiska.

W badaniach laboratoryjnych analiz prób gleb oznacza się: składem granulometryczny gleby, próchnicę, kwasowością hydrolityczną, sumą zasadowych kationów wymiennych, zawartością węgla organicznego, całkowitą zawartością metali ciężkich (miedzi, cynku, ołowiu, kadmu, chromu, niklu, manganu, żelaza), siarki oraz globalną aktywnością beta. W analizie laboratoryjnej oznaczenia materiału roślinnego wykonuje się badania suchej masy, siarki ogólnej, całkowitą zawartość metali i globalną aktywność beta [12,13].

6. Podsumowanie

Stan gleby w województwie podkarpackim jest na ogół dobry. Jednak występują tu gleby zakwaszone, wymagające nieraz natychmiastowego wapnowania, oraz gleby zanieczyszczone substancjami chemicznymi. Z przeprowadzonych badań w latach 2011–2014 wynika, że na obszarze województwa podkarpackiego głównie występują gleby kwaśne oraz bardzo kwaśne. Badania prowadzone odnośnie zanieczyszczeń gleb metalami ciężkimi w latach 2011–2014 wykazały, że poziom tych metali oscylował w granicach normy, odnotowano tylko jeden przypadek (w 2013 r.) przekroczenia dopuszczalnej wartości

w przypadku rtęci na obszarze gminy Świlcza (powiat rzeszowski). Należy jednak podkreślić, że wyników tych niemożna odnosić do całego województwa podkarpackiego, ponieważ badania odnośnie metali ciężkich zostały przeprowadzone wybiórczo i nie w każdym powiecie zostały pobrane próby gleb. Powierzchnia gleb wymagających rekultywacji na terenie województwa podkarpackiego w 2014 r. wyniosła 1697 ha, co stanowi 2,6% ogółu gruntów wymagających rekultywacji w Polsce (dane zgromadzone przez GUS). Grunty zdewastowane (1574 ha) stanowiły zdecydowaną większość w województwie podkarpackim, z czego w 2014 r. zrekultywowane zostały 290 ha (280 ha zrekultywowanych na cele rolnicze oraz 10 ha na cele leśne), a zagospodarowane 247 ha (241 ha na cele rolnicze oraz 6 ha na cele leśne). W latach 2011–2014 powierzchnia gruntów wymagających rekultywacji na obszarze województwa podkarpackiego ulega corocznemu sukcesywnemu zmniejszaniu. Grunty zdewastowane oraz degradowane powstawały głównie w wyniku działalności górnictwa oraz kopalnictwa surowców innych niż energetyczne. W województwie podkarpackim dotyczyło to głównie gruntów z terenów poeksploatacyjnych górnictwa siarkowego. Istotnym problemem wymagającym rozwiązania będzie zakończenie likwidacji kopalni oraz rekultywacji terenów po kopalnictwie siarki i ich zagospodarowanie.

Literatura

- [1] Greinert A., *Ochrona i rekultywacja terenów zurbanizowanych*, Wydawnictwo Politechniki Zielonogórskiej, Zielona Góra 2000.
- [2] Dojlido J., Praca zbiorowa, *Ekologia i ochrona środowiska*, Wydawnictwo Politechniki Radomska, Radom 1997.
- [3] Kowalik P., *Ochrona środowiska glebowego*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1999.
- [4] Greinert A., *Ochrona gleb*, Wydawnictwo Politechniki Zielonogórskiej, Zielona Góra 1998.
- [5] Nemerow N. L., Aquardy F. J., Sullivan P., *Environmental engineering*, John Wiley & Sons, Inc. 2009.
- [6] Raport o stanie środowiska w województwie podkarpackim w 2011 roku. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Rzeszowie, Rzeszów 2012.
- [7] Raport o stanie środowiska w województwie podkarpackim w 2012 roku. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Rzeszowie, Rzeszów 2013.
- [8] Raport o stanie środowiska w województwie podkarpackim w 2013 roku. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Rzeszowie, Rzeszów 2014.
- [9] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku – Prawo ochrony środowiska (Dz. U. z 2001r, nr 62, poz. 627).
- [10] Strzałko J., Mossor-Pietraszewska T., *Kompendium wiedzy o ekologii*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Poznań 1999.
- [11] Gajdnik B., Wyścicki A., *Wybrane aspekty ochrony środowiska i zarządzania środowiskowego*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010.

- [12] Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, *Program monitoringu jakości środowiska województwa rzeszowskiego do 1997 roku*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Rzeszów 1995.
- [13] Wnuk Z., Wieczorek S., *Wybrane zagadnienia z ekologii i ochrony środowiska*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1998.

RULES FOR SOIL PROTECTION AGAINST POLLUTION FROM INDUSTRIAL PLANTS IN THE PODKARPACIE

S u m m a r y

In the article were sources of pollution and soil threats in the Podkarpackie Voivodship. Factors affecting the chemical status of soils is highly urbanized terrain, traffic, population density, structure, the scrap and sewage economy, microclimate and soil type and species. An industrial plants and communication emit the most particulate and gaseous air pollutants. Emissions of gaseous and particulate pollutants do not cause directly visible effect in soil profile changes, but their indirect effects can have a major impact. In the Podkarpackie Voivodship there are numerous industrial plants, which are potential threat to soil environment. A lot of pollutants is getting to the soil along with sewers, dusts, gasses and liquid and permanent waste, generated by the industry. These pollutants contain heavy metals or salts mainly. Plants appearing on Podkarpacie of the great and increased risk, in which in production installations vast quantities are being altered can be the serious source of pollution of the soil of dangerous substances. Also storing toxic substances and their transport are in danger. In the article shows the content of the heavy metals in soils of Podkarpacie in 2011-2014, the gas and dust emitted from industrial plants, amount of land degraded and claims in the Podkarpacie. It has been shown that the state of the soil in the Podkarpackie Voivodship is generally good. However, there are soil acidified, requiring sometimes immediate liming and soil contaminated by chemical substances. Devastated and degraded land mainly as a result of the activities of mining and quarrying raw materials other than energy. In the Podkarpackie Voivodship it mainly land mines stockpiles from the areas of sulfuric acid.

Keywords: soil, pollution, protection, threat, source, industrial plants

Przesłano do redakcji: 10.02.2016 r.

Przyjęto do druku: 1.03.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.111

Kamil KRASUSKI¹

WYKORZYSTANIE PROGRAMU TRIMBLE RTX-PP DO WYZNACZENIA WSPÓŁRZĘDNYCH STACJI REFERENCYJNEJ

W artykule przedstawiono rezultaty badań dotyczących wyznaczenia współrzędnych stacji referencyjnej RYKI na podstawie obserwacji GPS w programie Trimble RTX-PP. Obliczenia zrealizowano w serwisie Trimble RTX-PP dla dwuczęstościowych obserwacji kodowo-fazowych z odbiornika Trimble NetRS. Model matematyczny wyznaczenia pozycji w oparciu o kombinację liniową Ionosphere-Free w serwisie Trimble RTX-PP został zaprezentowany oraz opisany. Wstępne rezultaty badań pokazują, iż błędy średnie dla współrzędnych geocentrycznych stacji referencyjnej RYKI nie przekraczają 1 cm na przestrzeni kilku dni pomiarowych. Dodatkowo w pracy przedstawiono błędy średnie współrzędnych dla innych stacji referencyjnych z województwa lubelskiego. W artykule również współrzędne wszystkich stacji referencyjnych w układzie ITRF2008 zostały przetransformowane do układu ETRF2000 i porównane z wartościami katalogowymi.

Słowa kluczowe: GPS, błąd średni, dokładność, kombinacja liniowa Ionosphere-Free

1. Wprowadzenie

Na przełomie 2007 i 2008 rozpoczęto budowę systemu precyzyjnego pozycjonowania satelitarnego dla obszaru Polski (w skrócie ASG-EUPOS). Obecnie system ASG-EUPOS składa się z ponad 120 stacji referencyjnych (jedno- lub dwusystemowych) równomiernie rozmieszczonych na terytorium Polski [9]. W ramach stacji systemu ASG-EUPOS można wyróżnić stacje referencyjne tworzące podstawową osnowę fundamentalną (stacje ASG-EUPOS wchodzące w skład sieci EPN, osnowa 1 klasy) oraz stacje referencyjne tworzące podstawową osnowę bazową (pozostałe stacje ASG-EUPOS, osnowa 2 klasy). O przynależności do danej klasy osnowy decyduje w głównej mierze dokładność wyznaczenia współrzędnych horyzontalnych i wysokości geodezyjnej [8].

Na bazie wszystkich istniejących i pracujących permanentnie stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS następuje przeniesienie układu geocentrycznego

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Kamil Krasuski, Starostwo Powiatowe w Rykach, Wydział Geodezji, Kartografii i Katastru Nieruchomości, +48818657487, e-mail: kk_deblin@wp.pl

ETRF2000 na obszar Polski (tzw. układ odniesienia PL-ETRF2000 na epokę 2011.0) [5, 8]. Najważniejszymi zadaniami systemu ASG-EUPOS w ramach realizacji układu PL-ETRF2000 są m. in.: zapewnienie ciągłości rozwiązania współrzędnych w rozwiązaniu dobowym (również w tygodniowym i miesięcznym); zapewnienie wiarygodności i wysokiej dokładności wyznaczanych współrzędnych; utrzymanie i konserwacja układu PL-ETRF2000; zapewnienie nawiązania dla odbiorników ruchomych, pracujących w trybie RTK lub RTN i wykorzystywanych w pracach geodezyjnych. Współrzędne stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS są podane na stronie internetowej [10] i na bieżąco zaktualizowane w nagłówkach zbiorów obserwacyjnych RINEX.

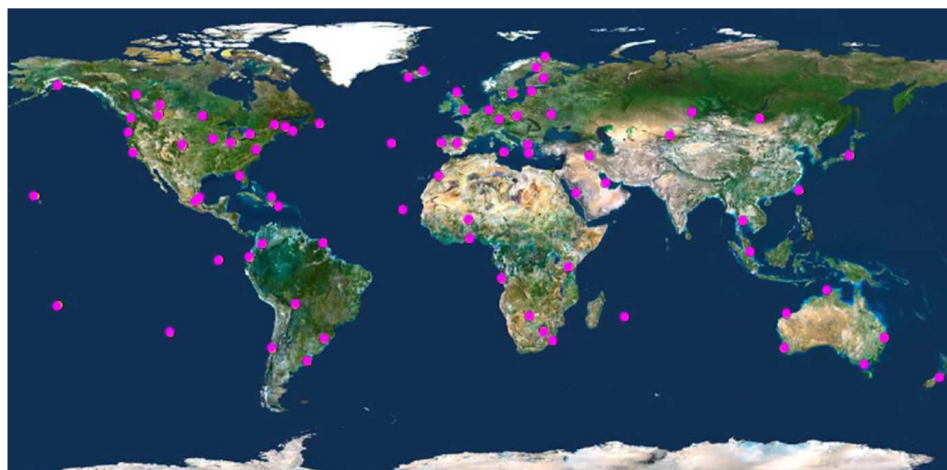
Wiarygodność wyznaczenia współrzędnych stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS może być również uzyskana z wykorzystaniem komercyjnych programów geodezyjnych takich, jak Trimble RTX-PP (ang. RTX Post-Processing). Szczególnie jest to ważne w przypadku odzwierciedlenia stanu faktycznego wyznaczanych współrzędnych na dany moment czasu rejestracji obserwacji satelitarnych. W takim rozwiązaniu współrzędne stacji referencyjnej są wyznaczone zazwyczaj w układzie ortokartezjańskim ECEF i przy zastosowaniu współczynników transformacji Helmerta (transformacja 7- i 14-parametrowa) mogą być wyrażone w konkretnej realizacji układu ETRF [1]. Serwis Trimble RTX-PP umożliwia wyznaczenie współrzędnych stacji referencyjnej w układzie globalnym ITRF lub układzie geocentrycznym o zasięgu kontynentalnym (np. układ odniesienia NAD dla Ameryki Północnej) [2].

Serwis Trimble RTX-PP jest darmową aplikacją działającą 24 godziny na dobę jako serwer czasu rzeczywistego, stworzonym przez firmę Trimble. Serwis docelowo gwarantuje wyznaczenie współrzędnych stacji referencyjnej w trybie statycznym dla obserwacji z systemu GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU oraz QZSS-Zenith. Serwis Trimble RTX-PP stosuje do wyznaczenia współrzędnych stacji referencyjnej dwuczęstotliwościowe obserwacje kodowo-fazowe w oparciu o kombinację liniową Ionosphere-Free. Typowa dokładność wyznaczanych współrzędnych geodezyjnych z rozwiązania dobowego w serwisie Trimble RTX-PP wynosi poniżej 2 cm na poziomie ufności 95% [2, 11, 12].

W artykule przedstawiono wstępne rezultaty badań dotyczących wyznaczenia współrzędnych stacji referencyjnej RYKI z wykorzystaniem serwisu Trimble RTX-PP. Do badań posłużyły surowe obserwacje kodowo-fazowe GPS z dwuczęstotliwościowego odbiornika Trimble NetRS, zainstalowanego na stacji referencyjnej RYKI. Współrzędne stacji referencyjnej RYKI zostały obliczone w serwisie Trimble RTX-PP dla 7 dni pomiarowych (od 10 do 16 kwietnia 2014 r.). Otrzymane rezultaty z przeprowadzonych badań zostały zaprezentowane w pracy na odpowiednich wykresach graficznych. Całość artykułu podzielono na 5 części: wstęp, opis serwisu Trimble RTX-PP, model matematyczny wyznaczenia współrzędnych stacji referencyjnej RYKI w serwisie Trimble RTX-PP, opis eksperymentu i wstępne rezultaty badań, wnioski końcowe.

2. Opis serwisu Trimble RTX-PP

Serwis Trimble RTX-PP powstał w głównej mierze do wyznaczenia współrzędnych stacji referencyjnych wyposażonych w odbiorniki firmy Trimble, tj. NetR5, NetR8 i NetR9, rozmieszczonych na obszarze całej kuli ziemskiej (patrz Rys. 1). Odbiorniki, w liczbie ponad 100, zostały włączone do sieci firmy Trimble o nazwie CenterPoint RTX, która działa jako serwis precyzyjnego pozycjonowania w czasie prawie rzeczywistym i jest stosowana m. in. w rolnictwie, robotyce i automatyce. Wykorzystanie obserwacji satelitarnych z sieci CenterPoint RTX umożliwia wyznaczenie precyzyjnych orbit oraz zegarów satelitów, a także informacji na temat stanu atmosfery (określenie opóźnienia jonosferycznego i troposferycznego w skali globalnej), które są następnie implementowane w serwisie Trimble RTX-PP [3].



Rys. 1. Sieć odbiorników firmy Trimble, na podstawie [3]

Fig. 1. The receivers network of Trimble company, based on [3]

Serwis Trimble RTX-PP w swojej pierwotnej wersji wykorzystywał do wyznaczenia pozycji użytkownika obserwacje satelitarne z systemów GPS, GLONASS i QZSS-Zenith. Obecnie obserwacje z systemu BEIDOU mogą być również stosowane w procesie wyznaczenia pozycji użytkownika, a prace trwają nad wdrożeniem obserwacji z systemu GALILEO [12]. Serwis Trimble RTX-PP działa jako aplikacja czasu rzeczywistego 24 godziny na dobę pod adresem strony internetowej [11]. Udział użytkownika w procesie obliczeniowym w programie Trimble RTX-PP jest niewielki i ogranicza się wyłącznie do fazy rejestracji użytkownika w bazie oraz konfiguracji danych wejściowych. Dane wejściowe w postaci obserwacji satelitarnych powinny spełniać kilka warunków, tj.:

- obserwacje satelitarne muszą być zapisane w formacie RINEX 2.xx lub 3.xx (w przypadku odbiorników firmy Trimble akceptowalne również formaty wewnętrzne DAT, T01, T02, Quark),
- czas zarejestrowanych obserwacji powinien być większy niż 1 godzina i mniejszy niż 24 godziny,
- obserwacje satelitarne pochodzą z pomiaru statycznego,
- w procesie obliczeniowym wymagane są obserwacje dwuczęstotliwościowe kodowe (P1/P2 lub C1/P2) i fazowe (L1/L2) z systemów GPS, GLONASS, QZSS i BEIDOU [2].

Dodatkowo każdy użytkownik powinien ustawić na stronie serwisu Trimble RTX-PP następujące parametry [12]:

- docelowy układ odniesienia, w którym będą wyznaczone współrzędne stacji referencyjnej (np. ITRF, NAD, ETRS, GDA, SIRGA),
- określić płytę kontynentalną, w obszarze której jest rozmieszczona stacja referencyjna,
- wybrać plik RINEX z obserwacjami satelitarnymi,
- podać adres e-mail, na który będzie wysłany raport z przeprowadzonych obliczeń oraz wpisać kod weryfikujący prawdziwość wpisanych danych przez użytkownika.

Serwis Trimble RTX-PP po wykonaniu obliczeń odsyła na adres e-mail użytkownika raport w formacie PDF oraz XML. Czas oczekiwania na raport wynosi krócej niż 5 minut (zazwyczaj 2 lub 3 minuty). W raporcie końcowym z serwisu Trimble RTX-PP ujęte są parametry dotyczące m. in.

- epoki odniesienia, na którą są wyznaczane współrzędne,
- danych technicznych dotyczących anteny odbiornika,
- modelu płyty kontynentalnej,
- liczby użytych obserwacji w procesie obliczeniowym,
- liczby śledzonych satelitów przez antenę odbiornika,
- wartości wyznaczonych współrzędnych w układzie geocentrycznym ECEF oraz układzie geodezyjnym BLh,
- błędów średnich wyznaczonych współrzędnych w układzie geocentrycznym ECEF oraz układzie geodezyjnym BLh.

3. Model matematyczny wyznaczenia współrzędnych stacji referencyjnej w programie Trimble RTX-PP

Model matematyczny wyznaczenia pozycji anteny odbiornika w serwisie Trimble RTX-PP bazuje na wykorzystaniu obserwacji kodowych i fazowych na obu częstotliwościach nośnych w systemie GNSS (np. GPS). Dla każdej pary obserwacji kodowych (P1/P2) i fazowych (L1/L2) jest tworzona kombinacja liniowa dla techniki nieróżnicowej (tzw. zerowa różnica). W przypadku serwisu Trimble RTX-PP jest stosowana kombinacja liniowa Ionosphere-Free, która jest wolna od wpływu opóźnienia jonosferycznego (1 wyraz rozwinięcia zawiera

99% całkowitego opóźnienia jonosferycznego) oraz opóźnień sprzętowych *DCB* w pomiarach kodowych i *DPB* w pomiarach fazowych. Podstawowe równanie dla kombinacji liniowej Ionosphere-Free przyjmuje postać [6]:

$$\begin{aligned} P_3 &= d + C \cdot (dtr - dts) + Rel + Trop + MP_3 + \varepsilon_{P_3} \\ L_3 &= d + C \cdot (dtr - dts) + Rel + Trop + B_3 + \delta_{wu} + ML_3 + \varepsilon_{L_3} \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie:

P_3, L_3 - kombinacja liniowa Ionosphere-Free dla pomiarów kodowych i fazowych,

$$P_3 = \alpha \cdot P_1 + \beta \cdot P_2,$$

$$L_3 = \alpha \cdot L_1 + \beta \cdot L_2,$$

(P_1, P_2) - obserwacje kodowe P_1 i P_2 , wyrażone w metrach,

(L_1, L_2) - obserwacje fazowe L_1 i L_2 , wyrażone w cyklach,

$$\alpha = 2,546;$$

$$\beta = -1,546;$$

$$d = \sqrt{(x - X_s)^2 + (y - Y_s)^2 + (z - Z_s)^2},$$

d - odległość geometryczna pomiędzy anteną satelity a anteną odbiornika, zawiera informacje na temat: parametrów ruchu obrotowego Ziemi, nacisku atmosfery i oceanów, ruchu płyty kontynentalnej, pływów skorupy ziemskiej i oceanicznych, skali i początku układu odniesienia, centrum fazowego anteny satelity i odbiornika, precyzyjnych współrzędnych anteny odbiornika oraz anteny satelity;

(x, y, z) - współrzędne anteny odbiornika w układzie geocentrycznym,

(X_s, Y_s, Z_s) – współrzędne anteny satelity w układzie geocentrycznym,

C - prędkość światła;

dtr - chód zegara odbiornika;

dts - chód zegara satelity;

Rel - poprawka relatywistyczna do chodu zegara satelity (głównie mimośród orbity oraz efekt Shapiro);

$Trop$ - poprawka troposferyczna, zawiera informacje na temat parametrów ZHD , ZWD oraz gradientów troposferycznych;

B_3 - wartość rzeczywista nieoznaczoności fazy;

$$B_3 = \lambda_3 \cdot N_3 + SNHD + RWHD;$$

λ_3 - długość fali kombinacji liniowej L_3 , $\lambda_3 = 10,7$ cm;

N_3 - wartość całkowita nieoznaczoności fazy;

$$NHD = SNHD + RWHD;$$

NHD - opóźnienia sprzętowe kombinacji Ionosphere-Free, tzw. Narrow-Lane Hardware Delays;

$SNHD$ - opóźnienia sprzętowe dla satelitów;

$RNHD$ - opóźnienia sprzętowe dla odbiornika;

δ_{wu} - efekt wzajemnej orientacji układu satelita odbiornik;

MP_3 - efekt wielotorowości dla pomiarów kodowych;

ϵ_{P3} - szum pomiarowy obserwacji kodowych;

ML_3 - efekt wielotorowości dla pomiarów fazowych;

ϵ_{L3} - szum pomiarowy obserwacji fazowych.

Niewiadomymi w równaniu (1) są przyrosty do wyznaczanych współrzędnych stacji referencyjnej (3 parametry), chód zegara odbiornika (1 parametr), opóźnienie troposferyczne na kierunku zenitu dla części mokrej ZWD oraz gradienty troposferyczne (3 parametry), wartość całkowita nieoznaczoność fazy $N3$ (1 parametr wyznaczany dla każdego satelity w danej epoce pomiarowej). Informacje na temat chodu zegara satelity dts , opóźnień sprzętowych NHD oraz współrzędnych anteny satelity są dostarczane z serwisu sieci Center Point RTX. Parametry opóźnienia troposferycznego na kierunku zenitu dla części hydrostatycznej ZHD , poprawki relatywistycznej, efektu wzajemnej orientacji układu satelita odbiornik oraz efektu wielotorowości są wyznaczane z modeli. Rozwiązanie równania (1) odbywa się z zastosowaniem filtracji Kalmana w procesie sekwencyjnym [2, 3].

4. Eksperyment badawczy i wyniki

Serwis Trimble RTX-PP został wykorzystany w eksperymencie badawczym do opracowania obserwacji satelitarnych w trybie post-processingu ze stacji referencyjnej RYKI. W procesie wyznaczania współrzędnych stacji referencyjnej RYKI wykorzystano obserwacje GPS w formacie RINEX 2.11, pozyskane z odbiornika dwuczęstotliwościowego Trimble NetRS, którego infrastruktura techniczna jest umieszczona w budynku Starostwa Powiatowego w Rykach [10]. Eksperyment badawczy został wykonany w dniach od 10 do 16 kwietnia 2014 r. dla dobowych obserwacji GPS z interwałem 30-sto sekundowym. W ramach przeprowadzonego eksperymentu zrealizowano 4 badania, tzn.:

- wyznaczono współrzędne stacji referencyjnej RYKI dla każdego dnia pomiarowego oraz obliczono średnią wartość współrzędnych geocentrycznych wraz z dzienną powtarzalnością poszczególnych składowej na przestrzeni kilku dni,
- wyznaczono błędy średnie współrzędnych geocentrycznych na przestrzeni kilku dni pomiarowych,
- wyznaczono błąd położenia punktu w układzie geocentrycznym na przestrzeni kilku dni pomiarowych.

W trakcie przeprowadzonych testów badawczych, ustalono następującą konfigurację parametrów wejściowych w serwisie Trimble RTX-PP [11]:

- system nawigacyjny: GPS,
- tryb pozycjonowania: statyczny,
- źródło obserwacji satelitarnych: RINEX 2.11,
- dane obserwacyjne: nieróżnicowe dwuczęstotliwościowe obserwacje kodowo-fazowe,

- interwał obserwacji: 30 s,
- dane techniczne anteny: na podstawie pliku RINEX,
- źródło danych efemerydalnych i zegarów satelitów: na podstawie informacji z sieci CenterPoint RTX,
- układ współrzędnych: geocentryczny (ITRF2008) i geodezyjny BLH,
- płyta kontynentalna: Eurasia,
- transfer danych: z użyciem adresu e-mail użytkownika,
- epoka odniesienia dla wyznaczonych współrzędnych: na podstawie pliku RINEX.

Tabela 1. Wyniki współrzędnej X po kilku dniach obserwacji

Table 1. The results of X coordinate over few measurement days

Dzień pomiarowy	Liczba widocznych satelitów	Wartość współrzędnej X [m]	Wartość średnia współrzędnej X [m]	Dzienna powtarzalność współrzędnej X [m]
1	30	3680882.820	3680882.822	0.002
2	29	3680882.823		
3	29	3680882.823		
4	30	3680882.821		
5	30	3680882.825		
6	30	3680882.819		
7	29	3680882.825		

Tabela 2. Wyniki współrzędnej Y po kilku dniach obserwacji

Table 2. The results of Y coordinate over few measurement days

Dzień pomiarowy	Liczba widocznych satelitów	Wartość współrzędnej Y [m]	Wartość średnia współrzędnej Y [m]	Dzienna powtarzalność współrzędnej Y [m]
1	30	1481736.739	1481736.740	0.001
2	29	1481736.740		
3	29	1481736.740		
4	30	1481736.740		
5	30	1481736.741		
6	30	1481736.740		
7	29	1481736.740		

W tabelach 1, 2 i 3 przedstawiono wartości współrzędnej XYZ w układzie geocentrycznym ITRF2008 dla poszczególnych dni obserwacyjnych. Określono również liczbę widocznych satelitów w poszczególnym dniu obserwacyjnym. W ciągu całego cyklu obserwacyjnego 30 satelitów GPS było śledzonych przez antenę odbiornika przez 4 dni, a odpowiednio 29 satelitów przez 3 dni. Dla każdej wyznaczonej współrzędnej została obliczona wartość średnia (przy pomocy algorytmu średniej arytmetycznej) oraz dodatkowo określono dzienną powta-

rzalność współrzędnych XYZ (przy pomocy błędu średniego pojedynczego spostrzeżenia). Wartość dziennej powtarzalności współrzędnych XYZ jest najmniejsza dla współrzędnej Y (wynosi 1 mm), zaś największa dla współrzędnej Z (wynosi 3 mm). W przypadku współrzędnej X, parametr dziennej powtarzalności wynosi 2 mm.

Tabela 3. Wyniki współrzędnej Z po kilku dniach obserwacji

Table 3. The results of Z coordinate over few measurement days

Dzień pomiarowy	Liczba widocznych satelitów	Wartość współrzędnej Z [m]	Wartość średnia współrzędnej Z [m]	Dzienna powtarzalność współrzędnej Z [m]
1	30	4977132.543	4977132.542	0.003
2	29	4977132.543		
3	29	4977132.540		
4	30	4977132.539		
5	30	4977132.543		
6	30	4977132.540		
7	29	4977132.548		

Na rysunku 2 zaprezentowano wartości błędów średnich współrzędnych geocentrycznych XYZ oraz dodatkowo błędu położenia punktu w przestrzeni 3D (ang. *MRSE* parameter). Wartości błędów średnich *MX* dla współrzędnej X wahają się od 6 mm do 7 mm, przy czym wartość przeciętna tego parametru wynosi 6,5 mm. W przypadku składowej Y, błędy średnie *MY* oscylują w przedziale od 3 mm do 4 mm, ale ich wartość przeciętna wynosi prawie 4 mm. Najmniejszą dokładność wyznaczenia współrzędnej odnotowano dla składowej Z, gdyż dyspersja błędów średnich *MZ* waha się od 7 mm do 8 mm, a ich wartość przeciętna wynosi prawie 8 mm. Warto dodać, iż błędy średnie *MX* względem błędów średnich *MY* uległy pogorszeniu o około 70%. Natomiast błędy średnie *MZ* względem błędów średnich *MY* uległy pogorszeniu o ponad 95%. Z kolei błędy średnie *MZ* względem błędów średnich *MX* uległy pogorszeniu o około 20%.

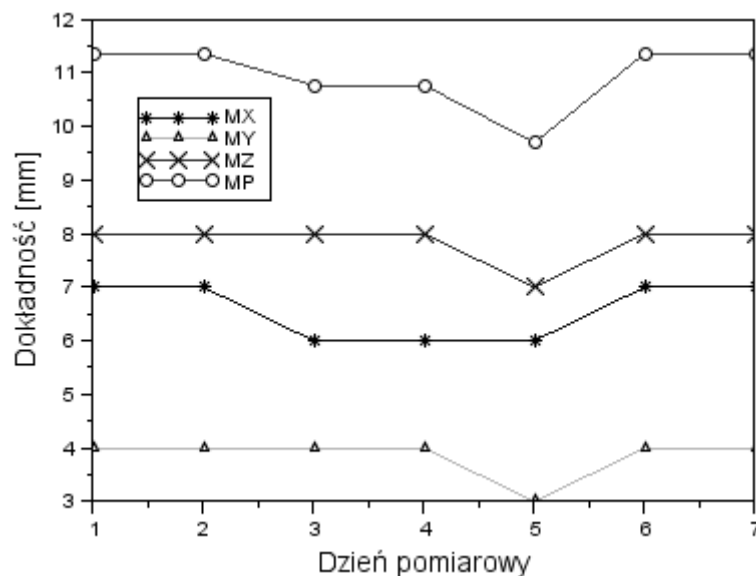
Na rysunku 2 przedstawiono również dzienną zmianę parametru błędu położenia punktu *MP* w przestrzeni 3D (ang. *MRSE* parameter). Parametr błędu położenia punktu *MP* dla współrzędnych geocentrycznych XYZ został wyznaczony na podstawie zależności [4, 7]:

$$MP \cong \sim MRSE = \sqrt{MX^2 + MY^2 + MZ^2} \quad (2)$$

gdzie:

MP- błąd położenia punktu w przestrzeni 3D (oznaczenie w polskiej literaturze),
MRSE- błąd położenia punktu w przestrzeni 3D (oznaczenie w zagranicznej literaturze),

MX- błąd średni składowej X,



Rys. 2. Błędy średnie współrzędnych XYZ i błąd położenia punktu
Fig. 2. Mean errors of XYZ coordinates and MRSE parameter

MY- błąd średni składowej Y,

MZ- błąd średni składowej Z.

Wartości parametru *MRSE* na przestrzeni 7 dni pomiarowych wahają się od 10 mm do 11,5 mm. Najmniejsze wartości parametru *MP* są widoczne w 5 dniu obserwacji, gdyż dokładność wyznaczonych współrzędnych XYZ jest w tym dniu najwyższa w rozrachunku tygodniowym. Najmniejsza dokładność parametru *MRSE* (około 11,5 mm) jest zauważalna w 1, 2, 6 i 7 dniu obserwacji.

5. Dyskusja

W ramach dyskusji przetestowano działanie programu Trimble RTX-PP dla kilku stacji referencyjnych z województwa lubelskiego, tj.: RYKI, OPLU, LUBL, BPDF, BILG, CHEL, WLDW, HRUB. Test zrealizowano dla dnia pomiarowego 01.06.2014 r.

Tabela 4. Błędy średnie współrzędnych XYZ i błąd położenia punktu dla stacji referencyjnych
 Table 4. The mean errors of XYZ coordinates and MRSE parameter for reference stations

Nazwa stacji referencyjnej	Współrzędna XYZ	Dokładność wyznaczenia współrzędnych XYZ [m]	Błąd położenia punktu M_p [m]
BILG	Współrzędna X	0.006	0.010
	Współrzędna Y	0.003	
	Współrzędna Z	0.007	
BPDL	Współrzędna X	0.005	0.009
	Współrzędna Y	0.003	
	Współrzędna Z	0.007	
CHEL	Współrzędna X	0.005	0.009
	Współrzędna Y	0.003	
	Współrzędna Z	0.007	
HRUB	Współrzędna X	0.006	0.010
	Współrzędna Y	0.003	
	Współrzędna Z	0.007	
LUBL	Współrzędna X	0.006	0.010
	Współrzędna Y	0.003	
	Współrzędna Z	0.007	
OPLU	Współrzędna X	0.006	0.010
	Współrzędna Y	0.003	
	Współrzędna Z	0.007	
RYKI	Współrzędna X	0.007	0.011
	Współrzędna Y	0.004	
	Współrzędna Z	0.008	
WLDW	Współrzędna X	0.006	0.010
	Współrzędna Y	0.003	
	Współrzędna Z	0.007	

W Tabeli 4 przedstawiono wartości błędów średnich współrzędnych geocentrycznych w układzie ITRF2008 dla stacji referencyjnych. Najmniejszą wartość parametry MX odnotowano dla 2 stacji (BPDL oraz CHEL) i wynosi 5 mm, zaś największa występuje dla stacji RYKI i wynosi 7 mm. Dla pozostałych stacji dokładność współrzędnej X wynosi 6 mm. Dokładność współrzędnej Y wynosi 3 mm dla 7 stacji referencyjnych (OPLU, LUBL, BPDL, BILG, CHEL, WLDW, HRUB), zaś tylko dla stacji RYKI jest równa 4 mm. Dokładność współrzędnej Z wynosi 7 mm dla 7 stacji referencyjnych (OPLU, LUBL, BPDL, BILG, CHEL, WLDW, HRUB), zaś tylko dla stacji RYKI jest równa 8 mm. Parametru błędu położenia punktu $MRSE$ wynosi od 9 mm (stacje BPDL oraz CHEL) do 11 mm (stacja RYKI).

Tabela 5. Różnice współrzędnych XYZ dla każdej stacji referencyjnej

Table 5. The difference of XYZ coordinates for each reference stations

Nazwa stacji referencyjnej	Współrzędne przetransformowane do układu ETRF2000 [m]	Współrzędne katalogowe XYZ w układzie ETRF2000 [m]	Różnica [m]
	X= 3747351.696	X= 3747351.679	DX=0.017
	Y= 1568978.056	Y= 1568978.069	DY=-0.013
	Z= 4900768.683	Z= 4900768.671	DZ=0.012
BPDL	X= 3615990.168	X= 3615990.150	DX=0.018
	Y= 1544390.835	Y= 1544390.849	DY=-0.014
	Z= 5005373.520	Z= 5005373.509	DZ=0.011
CHEL	X=3678820.559	X=3678820.541	DX=0.018
	Y=1598100.873	Y=1598100.886	DY=-0.013
	Z=4942832.605	Z=4942832.619	DZ=-0.014
HRUB	X=3693100.714	X=3693100.698	DX=0.016
	Y=1635499.263	Y=1635499.274	DY=-0.011
	Z=4920024.101	Z=4920024.113	DZ=-0.012
LUBL	X=3694475.302	X=3694475.290	DX=0.012
	Y=1534437.439	Y=1534437.453	DY=-0.014
	Z=4951248.679	Z=4951248.698	DZ=-0.019
OPLU	X=3717924.475	X=3717924.463	DX=0.012
	Y=1500320.558	Y=1500320.574	DY=-0.016
	Z=4944130.966	Z=4944130.982	DZ=-0.016
RYKI	X=3680883.349	X=3680883.339	DX=0.010
	Y=1481736.375	Y=1481736.393	DY=-0.018
	Z=4977132.274	Z=4977132.288	DZ=-0.014
WLDW	X=3643581.032	X=3643581.021	DX=0.011
	Y=1588599.355	Y=1588599.370	DY=-0.015
	Z=4971661.141	Z=4971661.158	DZ=-0.017

Wyznaczone w programie Trimble RTX-PP współrzędne stacji referencyjnych w układzie ITRF2008 zostały przetransformowane do układu ETRF2000 [1] w celu sprawdzenia poprawności wykonywanych obliczeń. Dla każdej współrzędnej XYZ określono różnicę pomiędzy współrzędnymi przetransformowanymi do układu ETRF2000 a współrzędnymi katalogowymi w układzie ETRF2000 (patrz Tabela 5). W przypadku współrzędnej X, średnia wartość różnicy DX około 0.014 m, przy rozrzucie wyników od 0.010 m do 0.018 m. W przypadku współrzędnej Y, średnia wartość różnicy DY około -0.014 m, przy rozrzucie wyników od -0.018 m do -0.011 m. W przypadku współrzędnej Z, średnia wartość różnicy DZ około -0.009 m, przy rozrzucie wyników od -0.019 m do 0.012 m.

6. Wnioski

W artykule zaprezentowano wstępne rezultaty badań dotyczących wyznaczenia pozycji stacji referencyjnej RYKI oraz analizy dokładności pozycjonowania z wykorzystaniem serwisu komercyjnego Trimble RTX-PP. Eksperyment i testy badawcze zostały przeprowadzone z wykorzystaniem obserwacji GPS z dwuczęstotliwościowego odbiornika Trimble NetRS, zamontowanego w Starostwie Powiatowym w Rykach. Eksperyment zrealizowano w dniach od 10 do 16 kwietnia 2014 r. dla dobowych obserwacji GPS z interwałem 30-sto sekundowym. Obliczenia współrzędnych stacji referencyjnej RYKI wykonano w trybie statycznym w serwisie internetowym Trimble RTX-PP z użyciem kombinacji liniowej Ionosphere-Free. W artykule przedstawiono rezultaty badań dla stacji referencyjnej RYKI, tj.: błędy średnie współrzędnych XYZ, błąd położenia punktu MRSE, dzienną zmianę współrzędnych XYZ. Ponadto w artykule przetestowano działanie programu Trimble RTX-PP dla innych stacji referencyjnych, zlokalizowanych na obszarze województwa lubelskiego. Na podstawie przeprowadzonych badań wyciągnięto następujące wnioski:

- 1) błędy średnie wyznaczonych współrzędnych geocentrycznych XYZ stacji referencyjnych w układzie ITRF2008 są mniejsze niż 1 cm dla wszystkich 3 składowych;
- 2) dla wszystkich stacji referencyjnych najwyższą dokładność wyznaczenia współrzędnych posiada składowa Y, zaś najmniejszą dokładność składowa Z;
- 3) wartość błędu położenia punktu *MP* w przestrzeni 3D wynosi od 9 mm do 11 mm dla wszystkich stacji referencyjnych biorących udział w eksperymencie;
- 4) w pracy dokonano porównania współrzędnych XYZ dla wszystkich stacji referencyjnych pomiędzy współrzędnymi przetransformowanymi do układu ETRF2000 a współrzędnymi katalogowymi w układzie ETRF2000;
- 5) dla wszystkich stacji referencyjnych średnia wartość różnicy DX dla współrzędnej X wynosi 0.014 m;
- 6) dla wszystkich stacji referencyjnych średnia wartość różnicy DY dla współrzędnej Y wynosi -0.014 m;
- 7) dla wszystkich stacji referencyjnych średnia wartość różnicy DZ dla współrzędnej Z wynosi -0.009 m.

Literatura

- [1] Altamimi Z.: ITRF2008 and transformation to ETRF2000, EUREF Symposium, June, 2010, Gävle, Sweden.
- [2] Doucet K., Herwig M., Kipka A., Kreikenbohm P., Landau H., Leandro R., Moesmer M., Pagels C.: Introducing Ambiguity Resolution in Webhosted Global Multi-GNSS Precise Positioning with Trimble RTX-PP, Proceedings of the 25th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2012), September 17-21, Nashville, Tennessee, pp.1115-1125.
- [3] Leandro R., Landau H., Nitschke M., Glocker M., Seeger S., Chen X., Deking A., BenTahar M., Zhang F., Ferguson K., Stolz R., Talbot N., Lu G., Allison T., Brandl

- M., Gomez V., Cao W., Kipka A.: RTX Positioning: The Next Generation of cm-accurate Real-Time GNSS Positioning, Proceedings of the 24th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2011), September 20 - 23, 2011, Portland, OR, pp. 1460 - 1475.
- [4] Osada E.: Geodezja, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2001.
- [5] Ryczywolski M., Liwosz T.: Wykorzystanie sieci ASG-EUPOS w zadaniach związanych z realizacją systemu odniesień przestrzennych, Konferencja Realizacja Osnow Geodezyjnych a Problemy Geodynamiki, Grybów, 25-27 września 2014 r.
- [6] Sanz Subirana J., Juan Zornoza J. M., Hernández-Pajares M.: GNSS Data Processing, Volume I: Fundamentals and Algorithms, ESA Communications, ESTEC, Noordwijk, Netherlands, 2013.
- [7] Seeber G.: Satellite Geodesy, 2nd completely revised and extended edition, Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, 10785 Berlin, Germany, 2003.
- [8] Szafranek K., Figurski M., Araszkiwicz A.: Zmierzch statycznego układu odniesienia w geodezji, GEODETA, nr 7, 2013, str. 28-34.
- [9] Wajda S.: System ASG-EUPOS- stan dzisiejszy i perspektywy rozwoju, Szkolenie ASG-EUPOS, Poznań, 2015 r.
- [10] URL: www.asgeupos.pl, aktualna na wrzesień 2015.
- [11] URL: <http://www.trimblertx.com/UploadForm.aspx>, aktualna na wrzesień 2015.
- [12] URL: <http://www.trimblertx.com/>, aktualna na wrzesień 2015.

Podziękowania

Autor artykułu składa podziękowania dla:

- serwisu ASG-EUPOS za udostępnienie plików obserwacyjnych RINEX ze stacji referencyjnej RYKI,
- serwisu on-line Trimble RTX-PP za wyznaczenie współrzędnych stacji referencyjnej RYKI.

UTILIZATION TRIMBLE RTX-PP SOFTWARE FOR DETERMINATION OF REFERENCE STATION COORDINATES

Summary

Article presents studies results concerning to determination of RYKI reference station coordinates using GPS observations in Trimble RTX-PP software. The computations in Trimble RTX-PP service were realized for dual-frequency code and phase observations from Trimble NetRS receiver. The mathematical formulation of position determination based on Ionosphere-Free linear combination in Trimble RTX-PP service was presented and described. Preliminary studies results show that mean errors of geocentric coordinates for RYKI reference station are less than 1 cm over few measurements days. Additionally, the mean errors of coordinates for another reference stations in Lubelskie Voivodeship was presented in paper. In paper, the coordinates of all reference stations in ITRF2008 frame was transformed to ETRF2000 and compared with catalogue data.

Keywords: GPS, mean error, accuracy, Ionosphere-Free linear combination

Przesłano do redakcji: 08.09.2015 r.

Przyjęto do druku: 1.03.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.112

Anna KRUPICZ¹
Adam MASŁOŃ²

ZMIENNOŚĆ ŁADUNKÓW ZANIECZYSZCZEŃ DOPŁYWAJĄCYCH DO OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W STALOWEJ WOLI

W pracy przedstawiono analizę zmienności ładunków zanieczyszczeń dopływających do Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Stalowej Woli. Oczyszczalnia funkcjonuje od 1993 roku, a w latach 2006 - 2009 została przeprowadzona jej gruntowna modernizacja. Proces technologiczny opiera się na dwustopniowym, mechaniczno-biologicznym oczyszczaniu ścieków, z przeróbką osadów i dodatkowo z podwyższonym stopniem usuwania substancji biogenych. Projektowana średniodobowa przepustowość maksymalna wynosi 17500 m³/d, natomiast równoważna liczba mieszkańców to 100000 RLM. Przeprowadzona analiza zmienności ładunków zanieczyszczeń dopływających do oczyszczalni obejmuje okres od 1 stycznia 2009 roku do 30 września 2015 roku w odniesieniu do sześciu wybranych wskaźników zanieczyszczeń: BZT₅, ChZT_{Cr}, zawiesiny ogólnej, azotu ogólnego, fosforu ogólnego, azotu amonowego, a także dodatkowo ładunków wybranych metali ciężkich. W badanym okresie obciążenie hydrauliczne oczyszczalni kształtowało się poziomie od 5230,0 m³/d do 16800,0 m³/d, a jego średnia wartość wynosiła 7137,6 m³/d i stanowiła około 41% projektowanego maksymalnego przepływu. Stężenia wybranych wskaźników zanieczyszczeń, jak również ładunki zanieczyszczeń zawarte w ściekach surowych kształtowały się na zróżnicowanych poziomach, co wynika ze zmiennych przepływów ścieków dopływających do oczyszczalni i różnorodności źródeł pochodzenia ścieków. Duży wpływ na zmienną jakość i ilość ścieków dopływających do oczyszczalni w Stalowej Woli mają wody opadowe. Przeprowadzona analiza zmienności ładunków zanieczyszczeń dopływających do oczyszczalni stanowi pomocne narzędzie przy optymalizacji pracy obiektu oraz przy planowaniu ewentualnej modernizacji.

Słowa kluczowe: oczyszczalnia ścieków, ścieki surowe, ładunki zanieczyszczeń, metale ciężkie

¹ Anna Krupicz, Politechnika Rzeszowska

² Autor do korespondencji/corresponding author: Adam Masłoń, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, tel. 17 743 24 07, amaslon@prz.edu.pl

1. Wprowadzenie

Oczyszczalnie ścieków są obiektami, które muszą zagwarantować właściwe oczyszczanie ścieków dopływających do nich z obszarów wiejskich i miejskich w takim stopniu, aby spełniały wymagania stawiane w aktualnie obowiązujących przepisach prawnych. Efektywność procesu oczyszczania ścieków zależy od szeregu powiązanych ze sobą procesów fizycznych, biologicznych i chemicznych danego systemu technologicznego. Skuteczność i stabilność zachodzenia tych procesów jest uzależniona od wielu czynników mających wpływ na właściwe działanie każdej oczyszczalni ścieków. Jednym z głównych czynników mającym wpływ na proces oczyszczania ścieków jest zmienność ilościowo-jakościowa ścieków dopływających do oczyszczalni. Właściwe określenie ładunków zanieczyszczeń ścieków dopływających jest dużym problemem dla eksploatatorów oczyszczalni zarówno w zakresie jej projektowania jak i eksploatacji. W tym celu przeprowadza się szczegółowe analizy ścieków surowych, które pozwalają właściwie dobrać parametry i urządzenia, które przekładają się na prawidłową eksploatację całą technologią oczyszczania ścieków [1].

2. Opis obiektu badań

Miejska Oczyszczalnia Ścieków w Stalowej Woli znajduje się w północno-wschodniej części miasta przy ulicy Działkowej 1. Obiekt zlokalizowany jest na terenach nadrzecznych lewego brzegu rzeki San, która jest odbiornikiem ścieków oczyszczonych. W Stalowej Woli (woj. podkarpackie) ścieki miejskie i deszczowe odprowadzane są systemem kanalizacji rozdzielczej. Miasto posiada 100 kilometrów sieci kanalizacyjnej, która odprowadza ścieki do Miejskiej Oczyszczalni Ścieków. Z terenów nieskanalizowanych ścieki są dowożone do oczyszczalni wozami asenizacyjnymi. Układ kanalizacji w przeważającej części pracuje grawitacyjnie, lokalne przepompownie ścieków są przystosowane do pracy automatycznej (bez konieczności stałej obsługi) [2].

Badany obiekt funkcjonuje od września 1993 roku. Początkowo praca oczyszczalni opierała się na oczyszczaniu ścieków mechanicznym i biologicznym, bez usuwania azotu i fosforu, które mogą być źródłem wtórnego zanieczyszczenia wód powierzchniowych. Technologia oczyszczania ścieków, a także obiekty oczyszczalni były przestarzałe w porównaniu do zmieniających się norm dotyczących oczyszczania ścieków, które aktualnie obowiązywały w Polsce i Unii Europejskiej. Dlatego też w latach 2006 - 2009 została przeprowadzona gruntowna modernizacja MOŚ w Stalowej Woli. Modernizacja procesu technologicznego opierała się na zachowaniu dwustopniowego oczyszczania ścieków mechaniczno-biologicznego, z przeróbką osadów w zamkniętych komorach fermentacyjnych i dodatkowo z podwyższonym stopniem usuwania substancji biogennej - azotu i fosforu, ze wspomaganiami w postaci stosowania soli żelaza (PIX) i metanolu. Równoważna liczba mieszkańców (RLM) projektowana była

podczas modernizacji na około 100 000 RLM. Przepustowość maksymalna oczyszczalni określona jest na poziomie 17 500 m³/d [2].

Ciąg technologiczny oczyszczalni aktualnie obejmuje część mechaniczną (dwie kraty schodkowe gęste, czterokomorowy piaskownik poziomy, dwa osadniki poziome podłużne), biologiczną (komora beztlenowa, tlenowa i anoksyczna, komora predenitryfikacji, dwa osadniki radialne) i linię przeróbki osadów (dwa zagęszczacze grawitacyjne, dwie wydzielone komory fermentacji WKF, stacja odwadniania osadów ściekowych) [2].

3. Metodyka badań

Metodyka oceny zmienności ładunków zanieczyszczeń dopływających do oczyszczalni ścieków oparta jest na wynikach badań jakościowych oraz przepływach dobowych ścieków surowych, w okresie od 1 stycznia 2009 roku do 30 września 2015 roku, udostępnionych przez eksploatatora Miejskiego Zakładu Komunalnego Sp. z o.o. w Stalowej Woli. Liczba wyników $n = 168$. W pracy dokonano analizy zmienności obciążenia hydraulicznego na podstawie rozkładu dobowej ilości ścieków dopływających do oczyszczalni (Q_{srd}), jakości ścieków surowych, ładunków zanieczyszczeń wybranych wskaźników zanieczyszczeń (BZT₅, ChZT_{Cr}, zawiesiny ogólnej, azotu ogólnego, fosforu ogólnego, azotu amonowego), a także równoważnej liczby mieszkańców (RLM). Określono zmienność ładunków metali ciężkich (cynku, miedzi, niklu, chromu ogólnego oraz chromu (VI)) zawartych w ściekach dopływających do oczyszczalni. Określono podstawowe charakterystyki statystyczne (średnią, minimum, maksimum, medianę, odchylenie standardowe, rozstęp, percentyl 15% i 85%).

4. Wyniki i dyskusja

W okresie od 1 stycznia 2009 roku do 30 września 2015 roku obciążenie hydrauliczne obiektu kształtowało się na bardzo zróżnicowanym poziomie: od 5230,0 m³/d do 16800,0 m³/d (Tab. 1). Średnia wartość obciążenia hydraulicznego z rozpatrywanego okresu wynosiła 7137,6 m³/d, stanowiąc około 41% projektowanego maksymalnego przepływu, co pozwala stwierdzić, że oczyszczalnia jest niedociążona hydraulicznie, ale dzięki temu zwiększa to jej rezerwy przepustowości na wypadek wystąpienia nagłych i dużych dopływów ścieków spowodowanych na przykład obfitymi opadami atmosferycznymi.

Zróżnicowanie przepływów średniodobowych w latach 2009-2011 utrzymywało się między wartościami od 7000 m³/d do 8500 m³/d, natomiast w latach 2012-2015 zaobserwowano zmniejszenie ilości ścieków dopływających do poziomu od 6000 m³/d do 7500 m³/d. Sporadycznie pojawiały się wysokie przepływy ścieków, zazwyczaj występujące w okresach letnich (tj. od czerwca do sierpnia) spowodowane intensywnymi opadami deszczu i w okresach przejściowych między zimą a wiosną, gdzie wzrost ilości ścieków powodowało topnienie

pokrywy śnieżnej. W roku 2010 odnotowano znaczny wzrost ilości ścieków na co miały wpływ występujące w tym okresie intensywne opady atmosferyczne, to właśnie w tym roku zaobserwowano największą wartość przepływu w całym analizowanym siedmioletnim okresie, który pojawił się w lipcu i wynosił 16800 m³/d, czyli znacznie zbliżył się do przepływu projektowego. Analizując cały okres badań można łatwo stwierdzić, że ilość ścieków dopływających do oczyszczalni jest ściśle związana z występowaniem opadów atmosferycznych, które powodują znaczne zwiększenie się objętości ścieków trafiających do oczyszczalni w okresach, w których się pojawiają.

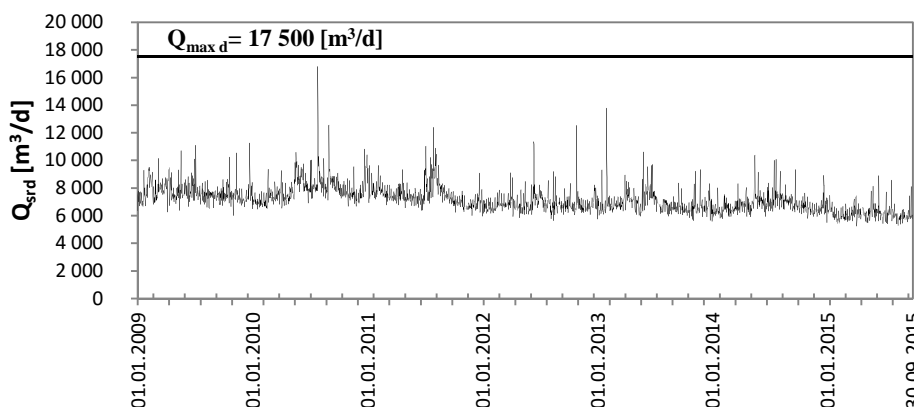
W rozpatrywanym okresie zaobserwowano znaczne obniżenie ilości ścieków dopływających do oczyszczalni (Rys. 1). Tendencję spadkową widać także w innych miejskich oczyszczalniach na terenie Polski [3]. Sytuacja ta jest spowodowana prawdopodobnie znacznym obniżeniem ilości opadów atmosferycznych (których znaczna część trafia do kanalizacji, a następnie do oczyszczalni) zarówno w miesiącach letnich jak i zimowych, a także zmniejszeniem zużycia wody spowodowanym wysokimi kosztami i wzrostem świadomości ekologicznej ludzi, którzy coraz większą wagę przywiązują do ochrony otaczającego nas środowiska.

Tabela 1. Charakterystyka ilościowa ścieków dopływających do oczyszczalni w Stalowej Woli

Table 1. Quantitative characteristics of wastewater flowing to the Stalowa Wola WWTP

Statystyka opisowa	Przepływ [m ³ /d]							
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015*	2009-2015*
Średnia	7693,8	7941,0	7543,8	6874,9	6917,4	6823,1	6169,1	7137,6
Minimum	6000,0	6460,0	6000,0	5620,0	5640,0	5580,0	5230,0	5230,0
Maksimum	112600	16800	12400	12530	13800	10390	8900	16800
Mediana	7560,0	7730,0	7390,0	6740,0	6740,0	6700,0	6100,0	6740,0
Odch. stand.	735,7	1050,8	839,9	687,7	804,9	671,8	514,2	166,8
Rozstęp	5260,0	10340,0	6400,0	6910,0	8160,0	4810,0	3670,0	11570,0
Percentyl 15%	7080,0	7080,0	6822,0	6380,0	6290,0	6256,0	5730,0	6314,5
Percentyl 85%	8312,0	8748,0	8246,0	7305,0	7420,0	7354,0	6530,0	8000,0

* obejmuje okres od 1 stycznia do 30 września

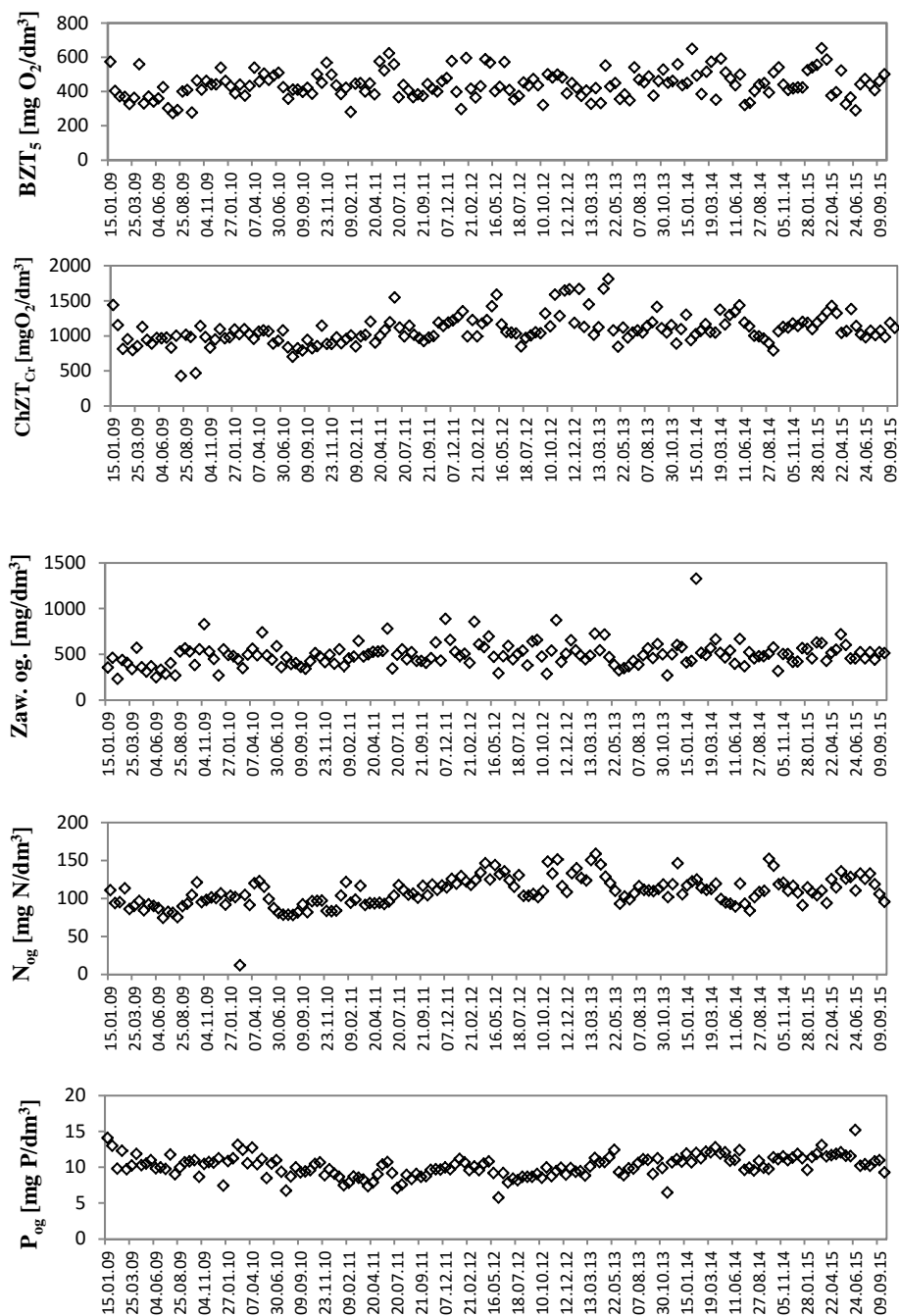


Rys. 1. Średnie dobowe ilości ścieków dopływające do oczyszczalni w Stalowej Woli w okresie od 1.01.2009 do 30.09.2015 r.

Fig. 1. The average daily volume of wastewater flowing into the Stalowa Wola WWTP in the period from 1.01.2009 to 30.09.2015

Wartości zanieczyszczeń w ściekach surowych były dość zróżnicowane w całym okresie badawczym (Rys. 2). Znaczny wpływ na charakterystykę parametrów jakościowych miała zmienność przepływów ścieków dopływających do oczyszczalni, a także różnorodność źródeł, z których te ścieki pochodzą (ścieki bytowe, z zakładów przemysłowych, ścieki deszczowe i roztopowe). Ważnym czynnikiem warunkującym skład ścieków surowych jest pogoda. W czasie pogody bezdeszczowej stężenia dopływających zanieczyszczeń były znacznie wyższe niż w czasie pogody deszczowej, gdzie następuje rozcieńczenie ścieków wodami opadowymi.

Stężenia związków organicznych wyrażonych za pomocą BZT_5 kształtowały się w przedziale od 275,0 (lipiec 2009 r.) do 654,0 $mg\ O_2/dm^3$ (marzec 2015 r.). Średnia wartość BZT_5 dla okresu 2009-2015 r. wynosiła $441,51 \pm 78,5\ mg\ O_2/dm^3$. Obserwowany jest niejednostajny wzrost stężeń zw. organicznych, mimo okresowych spadków (Rys. 2). Z kolei zawartość substancji organicznych wyrażonych wskaźnikiem $ChZT_{Cr}$ oscylowała w przedziale 428,0-1809,0 $mg\ O_2/dm^3$, przy średniej wartości $1087,59 \pm 207,7\ mg\ O_2/dm^3$. W okresie 2009-2011 roku znaczny spadek wartości $ChZT_{Cr}$ oznaczanego w ściekach, w porównaniu z pozostałymi latami. Na przełomie 2012 i 2013 roku miał miejsce wzrost ilości związków organicznych wyrażonych wskaźnikiem $ChZT_{Cr}$. Stężenia zawiesiny ogólnej w analizowanym siedmioletnim okresie rozkładały się równomiernie i kształtowały się na poziomie około $498,79 \pm 135,91\ mg/dm^3$. Na początku 2009 roku stężenie zawiesiny było znacząco niższe, później jednak systematycznie rosło, a od 2010 roku utrzymuje się na zbliżonym poziomie, mimo sporadycznych wzrostów i spadków. Zakres stężeń Z_{og} wyniósł 234,0-1328,0 mg/dm^3 .



Rys. 2. Jakość ścieków dopływających do oczyszczalni w latach 2009-2015

Fig. 2. Quality of wastewater flowing into WWTP in years 2009-2015

Stężenia azotu i fosforu ogólnego w ściekach surowych były również bardzo zróżnicowane. Stężenie związków biogenych w analizowanym wieloleciu oscyloowało w zakresach 11,87-158,93 mg N/dm³ oraz 5,80-15,20 mg P/dm³, przy średnich wartościach na poziomie 108,62±19,4 mg N/dm³ i 10,19±1,47 mg P/dm³. W przypadku azotu ogólnego znaczny wzrost stężenia nastąpił od 2011 roku i kształtował się na poziomie od 100 do 130 mg N/dm³. Natomiast najniższe stężenia fosforu ogólnego w badanym okresie dopływały do oczyszczalni w latach 2009-2012. Od 2012 roku do końca analizowanego okresu nastąpił wzrost zawartości fosforu w ściekach surowych. W przypadku analizy azotu amonowego w ściekach surowych widoczne jest znaczne podobieństwo do rozkładu stężeń azotu ogólnego. Wysokim wartościom azotu ogólnego odpowiadały wysokie stężenia azotu amonowego. Najniższe stężenie azotu amonowego w dopływie do oczyszczalni odnotowano w lipcu 2010 r. (51,4 mg N/dm³), z kolei najwyższe stężenie w marcu 2013 r. (122,14 mg N/dm³). Wartość średnia N-NH₄ w analizowanym siedmioleciu wynosi 82,76±15,87 mg N/dm³.

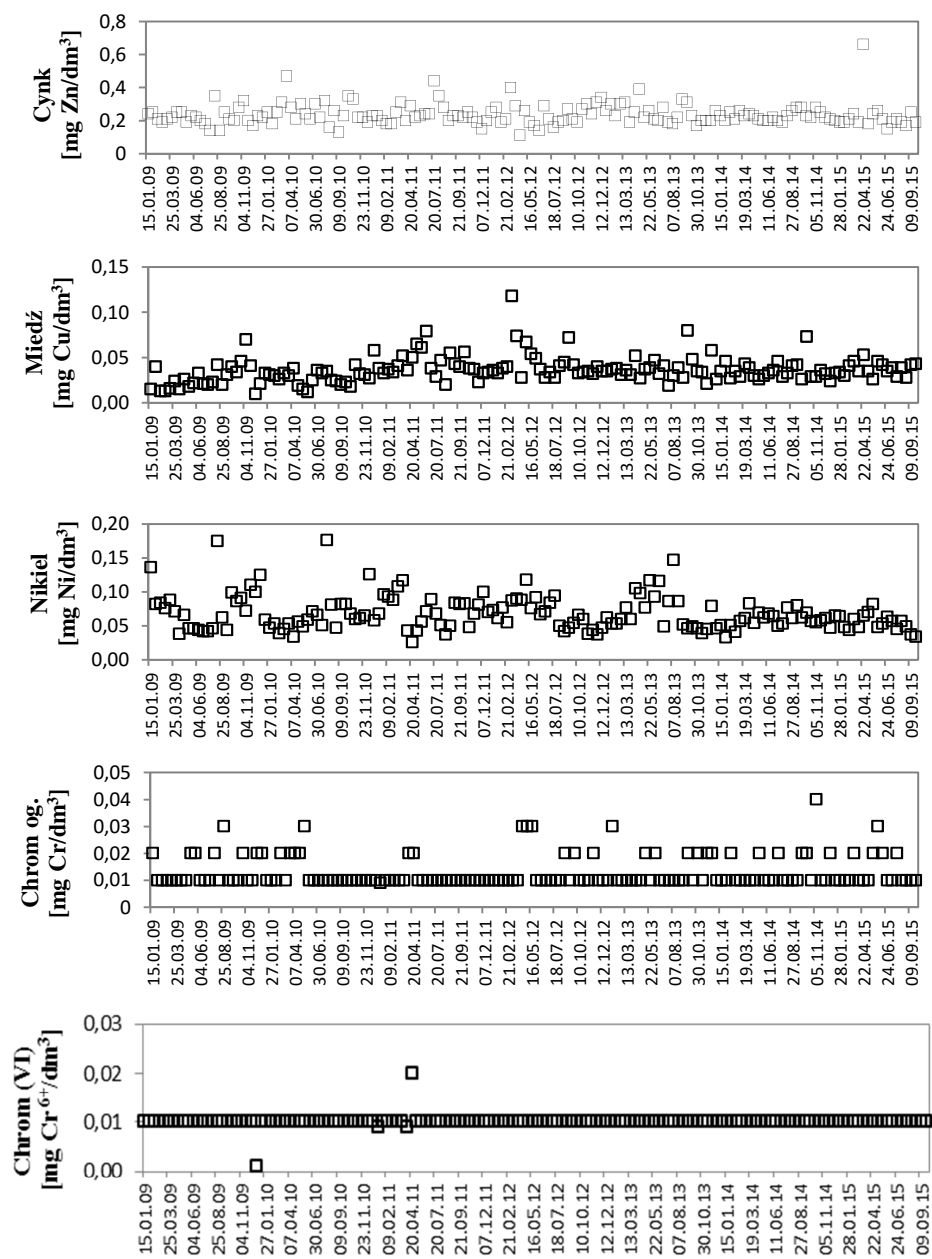
W przypadku analizowanych wskaźników można zaobserwować pewną prawidłowość skorelowaną z nierównomiernością dopływających ścieków do oczyszczalni (Rys. 1). Podobne zależności obserwowane są niemal we wszystkich oczyszczalniach ścieków miejskich o zbliżonej przepustowości [3, 4, 5]. W latach 2009-2012, w których ilości ścieków surowych dopływających do oczyszczalni były znacznie wyższe, obserwowano obniżone wartości wskaźników poszczególnych zanieczyszczeń, co było prawdopodobnie spowodowane rozcieńczaniem stężeń zanieczyszczeń głównie wodami deszczowymi trafiającymi do kanalizacji. Natomiast w ostatnich latach, gdy obniżeniu uległa ilość ścieków kierowanych do oczyszczalni, odnotowano wzrost ilości związków organicznych, zawiesiny ogólnej oraz związków biogenych w ściekach surowych.

Metale ciężkie stanowią specyficzne zanieczyszczenia w ściekach komunalnych. Źródłem metali ciężkich dostających się do kanalizacji są głównie zakłady przemysłowe oraz spływy powierzchniowe. W rozpatrywanym okresie zaobserwowano niewielkie zróżnicowanie stężeń wybranych metali ciężkich w ściekach surowych (Rys. 3).

Najmniejszym rozstępem charakteryzował się chrom (VI). W przypadku pozostałych metali ciężkich ich ilość uzależniona jest od obciążenia hydraulicznego oczyszczalni. W pierwszej fazie spływu wód deszczowych obserwuje się znaczne ilości metali ciężkich. W okresie bezdeszczowym obserwuje się z kolei mniejszą zawartość metali ciężkich w ściekach surowych. Zawartość metali ciężkich w ściekach dopływających do stalowowolskiej oczyszczalni jest typowa dla ścieków miejskich. Graniczne wartości stężeń cynku oscylowały w przedziale 0,11-0,66 mg Zn/dm³, a wartość średnia dla analizowanego okresu wyniosła 0,24±0,06 mg Zn/dm³. Stężenia miedzi oscylowały między 0,01 i 0,12 mg Cu/dm³, przy czym średnia wartość osiągnęła poziom 0,04±0,01 mg Cu/dm³. Stężenie niklu kształtowało się na poziomie 0,07±0,03 mg Ni/dm³. W analizowanym

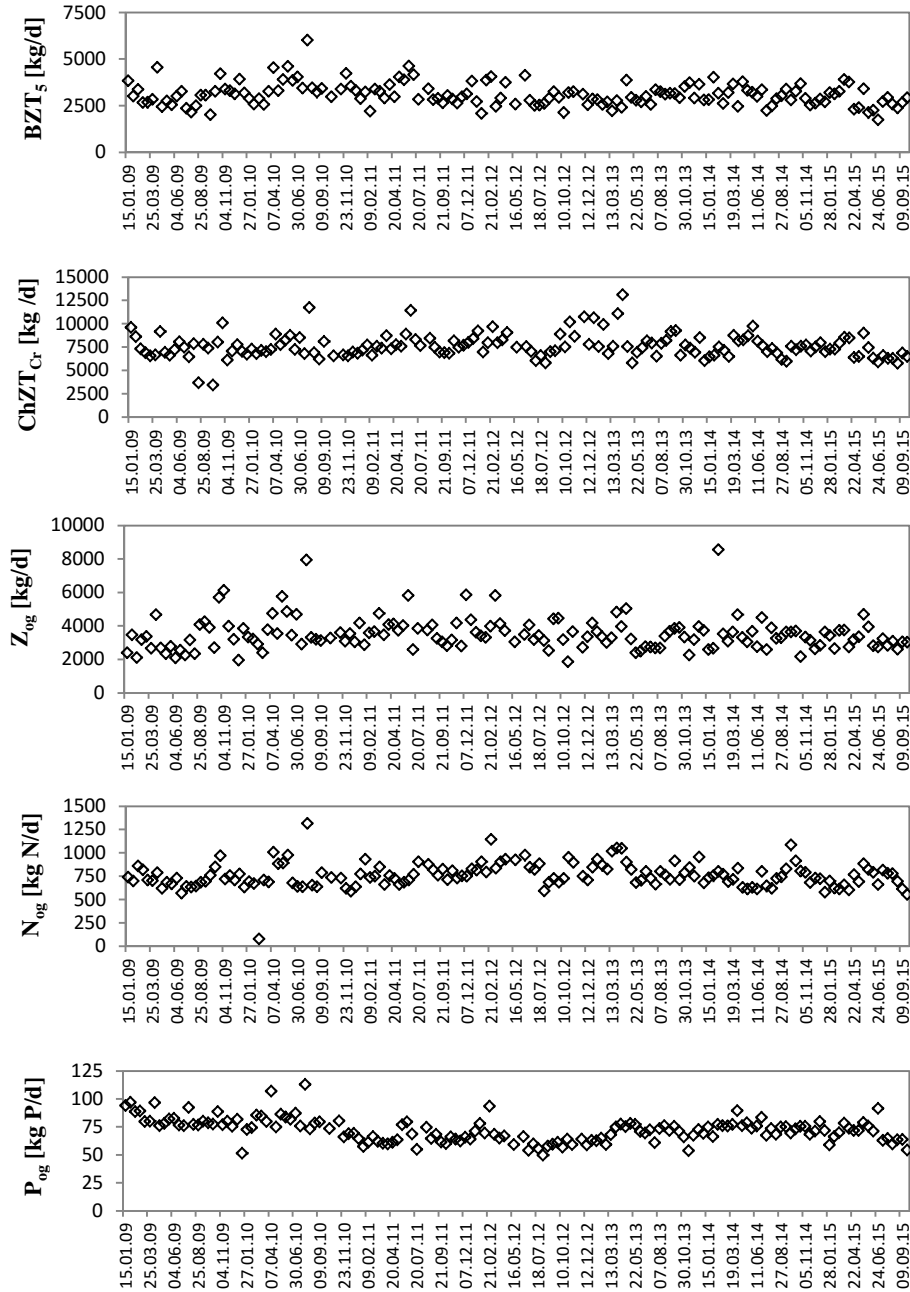
siedmiolecieu obserwowane jest stopniowe obniżanie się ilości niklu w ściekach surowych. Stężenie niklu w ściekach surowych kształtowało się na poziomie od 0,03 do 0,18 mg Ni/dm³. Stężenia chromu ogólnego i chromu (VI) kształtowały się na bardzo niskim poziomie, często na granicy oznaczalności 0,01 mg Cr/dm³. Wartości średnie z okresu 2009-2015 roku wyniosły 0,013±0,006 mg Cr/dm³ i 0,010±0,001 mg Cr⁶⁺/dm³ odpowiednio dla chromu ogólnego i chromu (VI). Większość pomiarów w obu przypadkach wynosiła 0,01 mg Cr⁶⁺/dm³, zwłaszcza w przypadku chromu (VI). Stężenia chromu ogólnego zawierały się w przedziale od 0,009 do 0,040 mg Cr/dm³, natomiast chromu (VI) od 0,001 do 0,020 mg Cr⁶⁺/dm³.

Zróżnicowanie ilości i jakości ścieków dopływających do oczyszczalni wpływa na zmienny rozkład ładunków zanieczyszczeń. W okresie od 1 stycznia 2009 do 30 września 2015 roku nie odnotowano sezonowości w dopływie zanieczyszczeń do oczyszczalni zarówno w ujęciu rocznym, jak i miesięcznym (Rys. 4). Wartość średnia ładunku BZT₅ w ściekach surowych w analizowanym siedmiolecieu wynosiła 3114,85±611,03 kg O₂/d. W latach 2009-2011 i w roku 2014 ładunki dobowe BZT₅ w dopływie do oczyszczalni były do siebie zbliżone i kształtowały się na poziomie powyżej 3000 kg O₂/d. Z kolei w latach 2012, 2013 i 2015 nastąpiło nieznaczne obniżenie tej wartości odpowiednio do 2901,45 kg O₂/d, 2933,96 kg O₂/d i 2720,19 kg O₂/d. Wielkość ładunku BZT₅ w całym badanym okresie (mimo okresowych spadków i wzrostów w poszczególnych latach) ulegała systematycznemu obniżaniu. Rozkład ładunków zanieczyszczeń organicznych wyrażony wskaźnikiem ChZT_{Cr} kształtował się na poziomie od 3423,7 do 13115,25 kg O₂/d, przy średniej 7615,77±1294,56 kg/d. W latach 2009-2010 obserwowano spadek ładunków ChZT_{Cr} w ściekach dopływających, natomiast na przełomie 2010 i 2011 roku nastąpił wzrost ładunków, który aż do 2014 roku utrzymywał się na bardzo zbliżonym poziomie- około 7800-8100 kg O₂/d. Na początku 2014 roku ładunki ChZT_{Cr} uległy obniżeniu, a ich spadek obserwowano do końca analizowanego okresu do wartości poniżej 6000 kg/d. Dobowe ładunki zawiesiny ogólnej wahały się od 1861,8 kg/d do 8552,32 kg/d. Od początku 2009 roku obserwowany był wzrost ładunku zawiesiny w ściekach, natomiast od końca roku 2010 widoczne jest jego systematyczne obniżanie aż do końca okresu prowadzenia obserwacji, pomimo sporadycznych wartości znacznie odbiegających od wartości średniej. Średni dobowy ładunek zawiesiny ogólnej osiągnął poziom 3512,65±972,3 kg/d. Ładunek azotu ogólnego oscylował w granicach wartości minimalnej równej 77,51 kg N/d i wartości maksymalnej wynoszącej 1319,98 kg N/d. Wartość średnia z okresu od 2009 do 2015 roku była równa 764,43±133,22 kg N/d. Rozkład ładunków fosforu ogólnego w analizowanym siedmiolecieu kształtował się na poziomie od 49,91 do 113,06 kg P/d, przy średnie wartości równej 72,32±10,46 kg P/d.



Rys. 3. Zawartość metali ciężkich w ściekach dopływających do oczyszczalni w latach 2009-2015

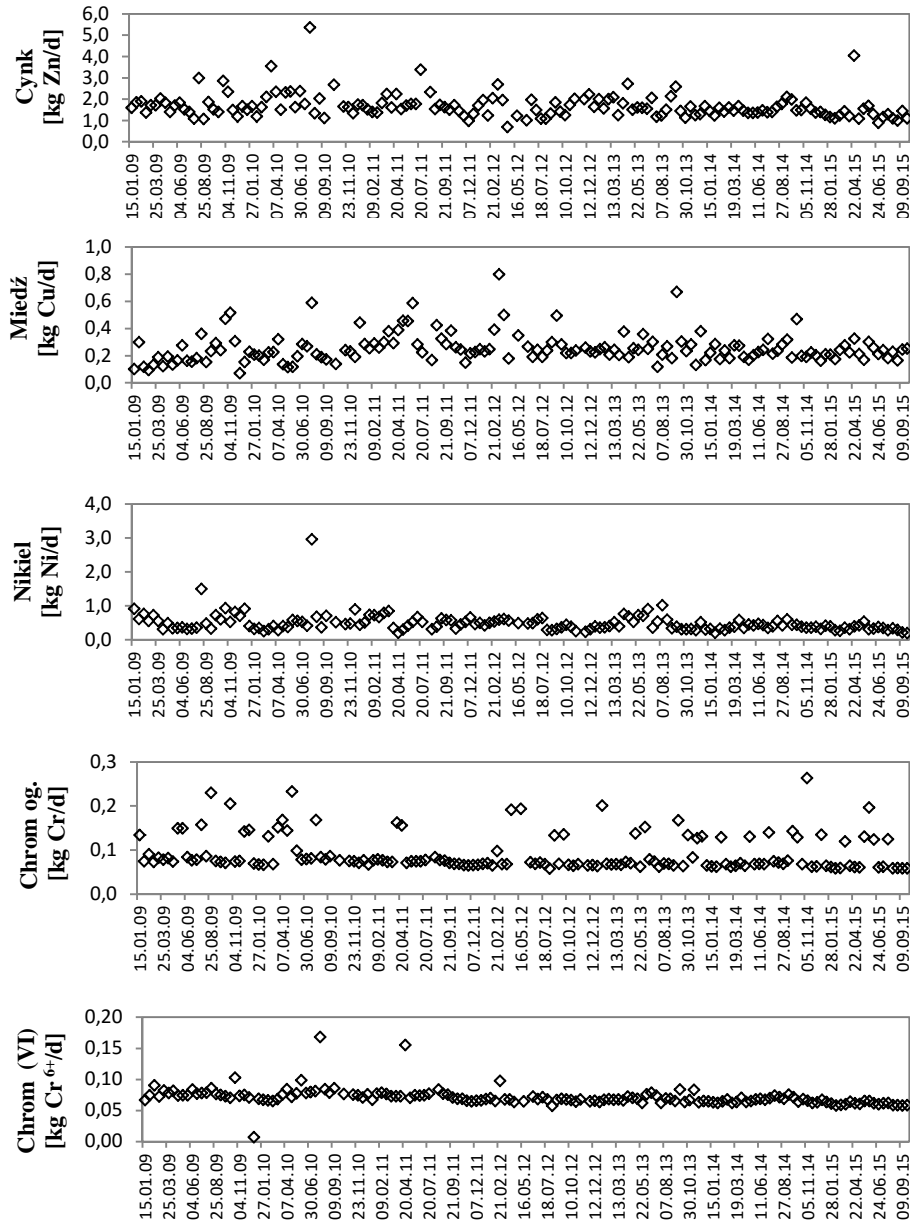
Fig. 3. The heavy metals concentration in wastewater flowing into WWTP in years 2009-2015



Rys. 4. Ładunki zanieczyszczeń w ściekach dopływających do oczyszczalni w latach 2009-2015

Fig. 4. The daily pollutant loads in wastewater flowing into WWTP in years 2009-2015

Ilość metali ciężkich dopływających w ściekach do oczyszczalni w zasadniczym stopniu przekłada się na jakość osadu ściekowego powstającego jako produkt uboczny w oczyszczalni ścieków. Metale ciężkie w ściekach występują w formie zawiesin oraz w postaci rozpuszczonej. W procesach oczyszczania ścieków, w tym przede wszystkim chemicznego strącania fosforu ze ścieków za pomocą soli glinu lub żelaza, następuje ich znaczne usunięcie ze ścieków oraz migracja i kumulacja w osadach ściekowych. Ponadto procesy bioakumulacji metali ciężkich przez mikroorganizmy osadu czynnego oraz proces fermentacji metanowej (utworzenie niemobilnych siarczków metali ciężkich) sprzyjają transferowi metali ciężkich ze ścieków do osadów ściekowych [6, 7]. Zawartość metali ciężkich w ustabilizowanych osadach ściekowych determinuje z kolei kierunek ich zagospodarowania, w tym przyrodniczego wykorzystania [7]. Znaczne ilości metali ciężkich w ściekach surowych mogą prowadzić do negatywnych skutków technologii oczyszczania ścieków. Przykładowo problematycznym źródłem metali ciężkich w dopływie do miejskiej oczyszczalni mogą być ścieki z myjni pojazdów. W takich przypadkach konieczna jest kontrola jakości ścieków wprowadzanych do systemu kanalizacyjnego [8]. Na rysunku 5 przedstawiono dobowy rozkład ładunków metali ciężkich w latach 2009-2015. Zakres ładunków cynku w dopływie do oczyszczalni oscylował w przedziale od 0,702 (2012 r.) do 5,376 kg Zn/d (2010 r.). Wartość średnia wieloletnia kształtowała się na poziomie $1,688 \pm 0,577$ kg Zn/d. W analizowanym okresie obserwowano zmniejszenie ilości ładunków cynku zawartego w ściekach surowych dopływających do oczyszczalni z ok. 2,046 kg Zn/d w 2010 r. do 1,40 kg Zn/d w 2015 r. (wartości średnie roczne). Średnie dobowe ładunki innego metalu ciężkiego - miedzi kształtowały się na poziomie $0,255 \pm 0,108$ kg Cu/d. Wartość minimalna wyniosła 0,071 kg Cu/d, maksymalna natomiast 0,798 kg Cu/d. Do przełomu lat 2011 i 2012 odnotowano wzrost ilości ładunków miedzi, później jednak nastąpiło jego stopniowe obniżanie. Zakres dobowych ładunków niklu oscylował w przedziale 0,199-2,957 kg Ni/d. Z kolei wartość średnia dla analizowanego wielolecia kształtowała się na poziomie $0,489 \pm 0,274$ kg Ni/d. Wartości ładunków niklu w ściekach dopływających były znacznie zbliżone, a znaczne odstępstwa od wartości średniej pojawiły się sporadycznie. W analizowanym okresie obserwowany jest stopniowy spadek zawartości ładunków niklu w ściekach surowych. Ładunki chromu ogólnego oscylowały w przedziale od 0,058 kg Cr/d do 0,263 kg Cr/d, przy średniej na poziomie $0,092 \pm 0,041$ kg Cr/d. Na początku analizowanego okresu (2009/2010) nastąpił znaczny wzrost ilości ładunków chromu ogólnego, a następnie powolny jego spadek. W latach 2011-2013 poziom ładunków chromu ogólnego w dopływających do oczyszczalni ścieków utrzymywał się na bardzo zbliżonym poziomie. Pod koniec 2013 zaobserwowano ponownie niewielki wzrost ładunku chromu, jednak w 2015 roku ilość ładunków Cr_{og} gwałtownie spadła. Z kolei dobowy rozkład ładunków chromu (VI) oscylował w przedziale 0,007 kg Cr^{6+} /d do 0,168 kg Cr^{6+} /d. Wartość średnia kształtowała się na poziomie $0,071 \pm 0,014$ kg Cr^{6+} /d. Rozkład ładunków chromu (VI) był bardzo zbliżony do rozkładu ładunków chromu ogólnego.



Rys. 5. Ładunki metali ciężkich w ściekach dopływających do oczyszczalni w latach 2009-2015

Fig. 5. The heavy metals loads in wastewater flowing into WWTP in years 2009-2015

Zmienne ilości dopływających ścieków, a także zmienne wartości parametrów zanieczyszczeń mają bezpośredni wpływ na wielkość ładunków zanieczyszczeń w ściekach surowych. W przypadku wszystkich analizowanych parametrów zaobserwowano spadki ilości ładunków zanieczyszczeń na końcu analizowanego okresu, w porównaniu z jego początkiem. Mimo przejściowych okresów wzrostów i tak wartości ulegały systematycznemu obniżaniu. W przypadku ładunku zanieczyszczeń, również można powiązać przebieg ich wartości w okresie 2009-2015 roku z rozkładem przepływów w tymże okresie, które także ulegały obniżeniu oraz z rozkładem stężeń analizowanych wskaźników, który z kolei zazwyczaj miał tendencję wzrostową w ostatnich latach badanego siedmioletnia.

W odniesieniu do RLM obiektu obserwowane jest utrzymywanie się wartości średnich powyżej 50000 w przeważającej części analizowanego okresu, jedynie w latach 2012 i 2015 następuje spadek poniżej 50000. Wartość średnia z całego siedmioletnia była równa 51914, czyli około 52% wartości projektowanej, która wynosi 100000.

5. Podsumowanie

W analizowanym okresie, od 1 stycznia 2009 r. do 30 września 2015 r. do miejskiej oczyszczalni w Stalowej Woli dopływały ścieki w średniej ilości 7137,6 m³/d, co stanowiło około 41% projektowanego maksymalnego przepływu obiektu. Aktualnie oczyszczalnia ścieków jest niedociążona hydraulicznie i posiada znaczne rezerwy przepustowości. Ilość ścieków dopływających do oczyszczalni w analizowanym okresie uległa znacznemu spadkowi w końcowym okresie w latach 2014-2015, na co wpływ ma wiele czynników m. in. obserwowane obniżenie ilości opadów atmosferycznych, a także zmniejszenie zużycia wody spowodowane wysokimi kosztami oraz wzrostem troski ludzi o środowisko.

W ostatnich latach nastąpił wzrost ilości związków organicznych, zawiesziny ogólnej i związków biogenych, a także niektórych metali ciężkich w ściekach surowych. Wpływ na to zjawisko ma prawdopodobnie zmniejszająca się ilość ścieków dopływających do obiektu, która warunkuje zatężenie zawartych zanieczyszczeń i zaobserwowany wzrost ich stężeń.

Przeprowadzona analiza zmienności ładunków zanieczyszczeń dopływających do oczyszczalni stanowi pomocne narzędzie przy optymalizacji pracy obiektu oraz przy planowaniu ewentualnej modernizacji.

Literatura

- [1] Dymaczewski Z.: Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków. PZITS. 2011.
- [2] Miejski Zakład Komunalny Sp. z o.o. w Stalowej Woli. Materiały informacyjne.
- [3] Maj K., Masłoń A.: Wieloparametryczna ocena efektywności oczyszczalni ścieków w Rzeszowie przed modernizacją. Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, nr 62, 2015, s. 299-315.

- [4] Kołacz K., Piaskowski K.: Zmienność ilościowo-jakościowa ścieków surowych w oczyszczalni ścieków komunalnych, Forum Eksploatatora, nr 54, 2011, s. 62-69.
- [5] Tomczuk B.: Zmienność ilości ścieków i nieczystości ciekłych oraz ładunku zanieczyszczeń na przykładzie oczyszczalni ścieków komunalnych w Lipsku nad Biebrzą, Inżynieria Ekologiczna, nr 24, 2011, s. 145-153.
- [6] Gawdzik J., Latosińska J.: Analiza mobilności metali ciężkich w wybranych osadach ściekowych z oczyszczalni o różnej przepustowości. Proceedings of ECOpole, 2012, 6(1), s. 319-324.
- [7] Gworek B., Wilk M.: Metale ciężkie w osadach ściekowych. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, nr 39, 2009, s. 40-59.
- [8] Kuzemko J.: Odprowadzanie ścieków zawierających substancje niebezpieczne do kanalizacji miejskiej (na przykładzie kontroli myjni pojazdów) – wymagania prawne i techniczne ewentualne skutki negatywne dla technologii oczyszczalni zbiorowej. XVIII Kongres Naukowo-Techniczny WOD-KAN-EKO 2015. Serock k. Warszawy, 17-18 listopada 2015 r. Materiały konferencyjne s. 53-57.

VARIABILITY LOADS OF POLLUTANTS FLOWING INTO THE WASTEWATER TREATMENT PLANT IN STALOWA WOLA

Summary

The paper presents an analysis of the variability of pollution loads flowing into the Stalowa Wola WWTP. Treatment plant operates since 1993, in the years 2006-2009 was carried out its profound modernization. Technological process is based on a two-step process, biological wastewater treatment, mechanical reworking of sediments and in addition with an elevated degree of removal of biogenic substances. The proposed maximum bandwidth the average daily is 17500 m³/d, while the population equivalent P.E. 100,000. Carried out the analysis covers the period from 1 January 2009 to 30 September 2015, and its objective is to determine the variability of pollutants to-floating to the treatment plant for the six selected indicators solution-cleanings: BOD₅, COD, total suspended solids, total nitrogen, total phosphorus, ammonia nitrogen and additional loads of heavy metals. During the period the load hydraulic treatment stood at posing new very-diverse: from 5230,0 m³/d to 16800,0 m³/d and its average value is 7137,6 m³/d and accounts for about 41% of projected maximum flow. Concentrations of selected indicators of pollution, as well as loads of pollutants contained in raw sewage are on different levels, as a result of the variables of the influent flow to the treatment plant and the diversity of sources of origin. A large impact on the quality and quantity of the variable influent to the Stalowa Wola WWTP may runoff water. Waste water treatment of the incoming raw analysis carried out can be helpful when planning the possible upgrading or improving the efficiency of processes, so as to reasonably exploit the entire wastewater treatment technology.

Keywords: wastewater treatment plants, wastewater, pollutant loads, heavy metals

Przesłano do redakcji: 26.02.2016 r.

Przyjęto do druku: 1.06.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.113

Stanisław KRZAKLEWSKI¹

SYNERGIA KUBICZNYCH FORM BUDYNKÓW Z USTROJAMI CIĘGNOWYMI

Ustroje cięgnowe występują jako układy samodzielne lub są łączone z innymi systemami konstrukcyjnymi. Generalnie kształty ustrojów cięgnowych zależne są od sposobu zamocowania i obciążenia cięgien. Opierając się na typowych schematach obciążeń i mocowań można rozróżnić wśród nich krzywe łukowe czy wieloboki sznurowe, natomiast w przypadku gdy siły przenoszone są między dwoma ustrojami sztywnymi, a cięgna stanowią elementy naciągowe przybierają one kształty idealnie proste. Przez układy wielo-cięgnowe otrzymujemy z kolei ustroje o kształtach złożonych, będące uformowaniami np. w postaci wielokreślnych powierzchni namiotowych, które zawieszane na masztach, umożliwiają efektowne przekrycie praktycznie dowolnych powierzchni. Tak charakterystyczne dla układów cięgnowych krzywizny, jak i idealna prostoliniowość elementów naciągowych, zastosowane niezależnie lub łączone, decydują o ostatecznej formie układu. Przez specyficzną statykę konstrukcji cięgnowych, których istota polega na przenoszeniu sił rozciągających, uzyskuje się konstrukcje lekkie i materiałooszczędne. Prezentując różnorodność realizacji, możliwych zastosowań projektowych i wielości rozwiązań technicznych, autor przedstawia w formie graficznej, wizję przestrzennego zestawienia konwencjonalnych (kubicznych) form budynków, z charakterystyczną ażurową geometrią określonych ustrojów cięgnowych. Przez to architektoniczno-konstrukcyjne spojenie zróżnicowanej materii powstaje specyficzny efekt, swoista synergia form.

Słowa kluczowe: systemy konstrukcyjne, ustroje cięgnowe, formy kubiczne, synergia form

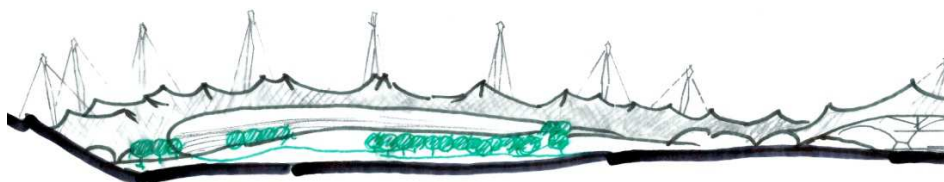
1. Wprowadzenie

Cięgna, wiotkie pręty przeznaczone do przenoszenia sił rozciągających są istotą konstrukcji wiszących. W zakresie różnych zastosowań, wariantów i zestawień, mogą stanowić określone układy cięgnowe czy wieszarowe, jak również być elementami połączonych systemów konstrukcyjnych tworząc konfiguracje ze sztywnymi ustrojami kratownicowymi, łukowymi, powłokowymi czy ramowymi.

¹ Stanisław Krzaklewski, Zakład Urbanistyki i Architektury, Wydział Budownictwa Inżynierii Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej, 35-959 Rzeszów Al. Powstańców Warszawy 12, tel. 17 8541048, e-mail: klewski@prz.edu.pl

2. Kształty i formy ustrojów cięgowych

Kształt ustrojów cięgowych zależy od zastosowanego schematu statycznego determinującego układ konstrukcji cięgowej. Kształt jaki przyjmuje ustrój cięgowy zależy od sposobu zamocowania i obciążenia cięgien. Jeśli np. cięgno jest obciążone równomiernie wzdłuż osi poziomej to przyjmuje ono kształt paraboli drugiego stopnia, gdy jest obciążone równomiernie wzdłuż jego własnej osi, przybiera kształt krzywej łańcuchowej, a obciążone siłami skupionymi przybiera kształt wieloboku sznurowego [2]². Inny obraz przedstawiają natomiast cięgna przenoszące siły między dwoma ustrojami sztywnymi, między punktami mocowania i podwieszenia gdy jako elementy naciągowe przybierają kształty idealnie proste. Przez układy wielocięgnowe otrzymujemy ustroje o różnorodnych złożonych kształtach będących uformowaniami np. w postaci wielokreślnych powierzchni namiotowych. Zawieszenie ich na wielomasztowych układach, umożliwia efektywne przekrycie praktycznie dowolnych powierzchni, (przykład, zadaszenie stadionu olimpijskiego w Monachium rys.1). Tak uzyskiwane przy formowaniu konstrukcji cięgowych specyficzne krzywizny, jak i charakterystyczna dla systemów naciągowych idealna prostoliniowość, zastosowane niezależnie lub łączone, decydują o efekcie formalnym danego ustroju. Obrazują w układzie cięgien rzeczywisty rozkład sił, uzewnętrzając tym samym imponującą zazwyczaj szczerłość form. Przez specyficzną statykę konstrukcji cięgowych, której istota polega głównie na przeniesieniu sił rozciągających, uzyskuje się konstrukcje lekkie i bardzo oszczędne pod względem zużycia materiałów [1]³.



Ryc.1. Zadaszenie stadionu olimpijskiego w Monachium (szkic autora)

Fig.1. Roof of the Olympic Stadium in Munich (drawing by the author)

² Opracowano na podstawie; Pyrak S., Szulborski K.: *Mechanika konstrukcji dla architektów*, Arkady Warszawa 1994. s. 290 - 292.

³ Opracowano na podstawie; Borusiewicz W.: *Konstrukcje budowlane dla architektów*, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1973. s. 289 – 304.

3. Kształtowanie optymalnej formy jako zadanie badawcze architektury

W zakresie różnorodnych zastosowań ustrojów cięgowych interesująca wydaje się możliwość zestawiania ich z konwencjonalnymi (prostokątnymi) formami budynków. Budynki te wzbogacone o elementy konstrukcji wieszarowych, stanowiąc jednocześnie podstawę ich mocowania, dają specyficzny efekt zestawienia materii zwartej (pełnej, „solidnej”) i ażurowej, („subtelnej”). Wizję takiego zestawienia (budynków wysokich związanych w układzie urbanistycznym z traktem komunikacyjnym w postaci kładki dla pieszych zawieszanej między budynkami za pomocą określonej konstrukcji wieszarowej) przedstawiają rys. 2 i 3. Ta autorska sugestia obrazuje charakterystyczny efekt wizualny, uzyskany w wyniku zestawienia kontrastujących elementów kompozycyjnych, diametralnie różnych systemów konstrukcyjnych tworzących synergię.

„Formowanie jest zadaniem badawczym architektury”- to niewątpliwie słuszne stwierdzenie można odnieść nie tyle do dokonań realizacyjnych co do prób i poszukiwań, antycypujących różnorodne rozwiązania, w ramach konkretnych czy symulowanych zadań projektowych... „W badania estetyki nowego wyrazu współczesnej architektury zaangażowana jest duża grupa ludzi, już nie indywidualne osoby, a rzesze architektów i studentów architektury. Ko-



Ryc.2. Wisząca kładka spojona w układzie urbanistycznym z budynkami (opr. autora)

Fig.2. Suspension footbridge merging, in the urban arrangement with buildings (developed by the author)



Ryc.3. Swoista synergia kubicznych form budynków z ustrojami cięgowymi (opr. autora)

Fig.3. Specific synergy of cubic forms of buildings and tensile structures (developed by the author)

nieczna jest współpraca w poszukiwaniu piękna, bo oczywiście największe znaczenie mają działanie, próbowanie, modelowanie i odwaga.”⁴

Literatura

- [1] Borusiewicz W.: Konstrukcje budowlane dla architektów, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1973. s. 289 – 304.
- [2] Pyrak S., Szulborski K.: Mechanika konstrukcji dla architektów, Arkady, Warszawa 1994. s. 290 - 292.
- [3] Pokrzywnicka K.: Estetyka i architektura na rozdrożu, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2013. s. 67.

⁴ Pokrzywnicka K.: Estetyka i architektura na rozdrożu, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2013. s. 67.

SYNERGY OF CUBIC FORMS OF BUILDINGS AND TENSILE STRUCTURES

Summary

Tensile structures, basically designed to carry tensile forces, are used independently or in combination with other construction systems. Generally, shapes of tensile structures depend on both the method of fastening and loading of tension members. Based on typical patterns of loading and fastening it is possible to distinguish among them arch-shaped curves and string polygons; on the other hand if the forces are carried between two rigid systems and the tension members constitute the pulling elements, the structures assume perfectly straight shapes. Furthermore, by applying systems of multiple tension members we can obtain structures with complex shapes, taking such forms as multi-spanned tent-like surfaces, which are suspended on masts and make it possible to provide attractive cover for practically any surfaces; example – the roof of the Olympic Stadium in Munich Fig. 1. The characteristic features of tensile structures such as curvatures and perfectly rectilinear pulling elements, used independently or in combination, impact the final form of the construction. The specific statics of tensile structures, whose purpose is to carry tensile forces, makes it possible to obtain light-weight and material-saving constructions. Starting with the variety of executed projects, feasible design applications and multiple technological solutions, the author presents, in a graphic form, the vision of spatial combination utilizing conventional (cubic) forms of buildings with the characteristic openwork geometry of selected tensile structures. These buildings simultaneously provide support for mounting the tension systems. This architectural and structural fusion of varied materials makes it possible to create a unique effect, a specific synergy of forms Fig. 2 and Fig. 3.

Keywords: construction systems, tensile structures, cubic forms, synergy of forms

Przesłano do redakcji: 10.02.2016 r.

Przyjęto do druku: 1.06.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.114

Sabina KSIĄŻEK¹
Małgorzata KIDA²
Piotr KOSZELNIK³

BENZOTRIAZOLE – WYSTĘPOWANIE I TRWAŁOŚĆ W ŚRODOWISKU

Praca zawiera przegląd literatury dotyczący właściwości i występowania benzotriazoli (BTR) w różnych komponentach środowiska. Szczególną uwagę zwrócono na problem zagrożenia dla jakości środowiska wynikającego z obecności i trwałości w środowisku związków z tej grupy i ich pochodnych. Właściwości benzotriazoli sprawiają, że są one powszechnie wykorzystywane w wielu gałęziach przemysłu. Stosuje się je między innymi jako inhibitory korozji, stabilizatory światła ultrafioletowego do tworzyw sztucznych oraz jako środki rozjaśniające w przemyśle metalowym. Ponadto znajdują zastosowanie w produkcji kosmetyków, detergentów, leków, materiałów budowlanych i części samochodowych. Istnieją jednak ograniczone dane dotyczące losu benzotriazoli, które są uwalniane do środowiska. Ze względu na odporność benzotriazoli na utlenianie w warunkach otoczenia i na promieniowanie UV, mogą być obecne w środowisku przez bardzo długi okres czasu. Stabilność benzotriazoli skutkuje tym, że nie są one usuwane ze ścieków przy zastosowaniu konwencjonalnych metod z zadowalającą wydajnością. Dodatkowo, odporność na biodegradację i właściwości fizyko-chemiczne benzotriazoli powodują, że są obecne we wszystkich komponentach środowiska. Zostały wykryte w ściekach, wodach powierzchniowych, osadach dennych, glebie, powietrzu, a nawet w kurzu domowym i organizmach żywych np. w rybach. Potwierdzone negatywne oddziaływanie na organizmy żywe, wynikające w szczególności z ich aktywności estrogenowej, mutagenności, toksyczności i rakotwórczości wymaga opracowania skutecznej metody eliminacji BTR.

Słowa kluczowe: benzotriazole, mikrozanieczyszczenia, związki endokrynnie czynne, degradacja

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Sabina Książek Politechnika Rzeszowska, Zakład Inżynierii i Chemii Środowiska, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, tel. + 48 (017) 865 1065, + 48 (017) 865 2407, e-mail: sabina_ksiazek@outlook.com

² Małgorzata Kida, Politechnika Rzeszowska

³ Piotr Koszelnik, Politechnika Rzeszowska

1. Wprowadzenie

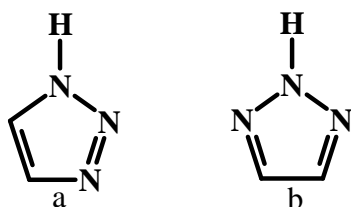
Benzotriazole należą do nowo pojawiających się zanieczyszczeń środowiska wodnego, które zaliczane są do związków endokrynnie czynnych. Związki z grupy benzotriazoli oraz ich pochodne są szeroko wykorzystywane w wielu gałęziach przemysłu. Ze względu na ich właściwości, znalazły zastosowanie w produkcji opon i gumy, jako inhibitory korozji, w produkcji środków biobójczych, detergentów oraz leków. Ponadto, stosowane są jako stabilizatory UV w plastikach, farbach, foliach i powłokach oraz w systemach chłodniczych (grzejniki samochodowe i kotły handlowe), jak również jako dodatki do produktów naftowych, takich jak płyny hydrauliczne i środki smarujące. Związki te były również wykorzystywane w przemyśle fotograficznym [2].

Ich odporność na biodegradację i utlenianie w warunkach naturalnych powoduje, że benzotriazole mogą utrzymywać się w środowisku przez bardzo długi czas [6, 12]. Dodatkowo badania toksykologiczne wykazały, że związki te są niebezpieczne dla roślin, toksyczne i mutagenne dla niektórych mikroorganizmów. Natomiast 1H-benzotriazol wykazuje właściwości rakotwórcze dla człowieka [4, 11, 17]. Obecność benzotriazoli i innych mikrozanieczyszczeń w wodach powierzchniowych i w wodzie pitnej świadczy o tym, że konwencjonalne metody oczyszczania wody i ścieków są niewystarczające i aktualne pozostają badania nad opracowaniem skutecznej metody eliminowania związków, które często w małych ilościach są bardzo niebezpieczne i toksyczne dla środowiska.

Celem artykułu jest omówienie właściwości, występowania benzotriazoli w różnych komponentach środowiska oraz metod eliminowania ich z roztworów wodnych na podstawie przeglądu literatury.

2. Właściwości chemiczne i fizyczne benzotriazoli

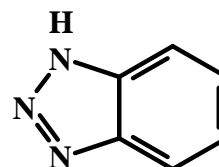
Benzotriazole (BTR) powstają w wyniku połączenia się triazolu z cząsteczką benzenu. Triazol jest pięciocłonowym związkiem heterocyklicznym zawierającym trzy atomy azotu i parę sąsiadujących atomów węgla. Na rysunku 1 zaprezentowano dwa najprostsze izomery triazolu [5].



Rys. 1. Struktura 1H-triazolu (a) i 2H-triazolu (b), opracowano na podstawie [2]

Fig. 1. Structure of the 1H-triazole (a) and 2H-triazole (b), based on [2]

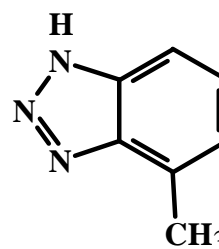
Przedstawicielem benzotriazoli jest związek 1H-benzotriazol. Struktura tego związku została przedstawiona na rys. 2 [7].



Rys. 2. 1H-Benzotriazol, opracowano na podstawie [2]

Fig. 2. 1H-Benzotriazole, based on [2]

Od momentu odkrycia podstawowej struktury BTR, metody syntezy tych związków szybko ewoluowały. Wiele z tych metod opiera się na reakcji diazowania. W skrócie, BTR mogą być wytwarzane w reakcji fenylenodiaminy, azotynu sodowego i kwasu octowego, poprzez diazowanie jednej z grup aminowych [19]. Struktura benzotriazolu jest podatna na szereg reakcji i można otrzymać wiele pochodnych, jednakże w większości przypadków grupa triazolowa pozostaje niezmienną [5].



Rys. 3. 5-metylobenzotriazol, opracowano na podstawie [2]

Fig. 3. 5-methylbenzotriazole, based on [2]

BTR to polarne związki, które stosunkowo dobrze rozpuszczają się w wodzie. Przykładowo, rozpuszczalność 1H-benzotriazolu (1H-BTR) wynosi 19,8 g/l, a 5-metylobenzotriazolu (5Me-BTR) (rys. 3) 3,1 g/l. Natomiast współczynniki podziału oktanol-woda ($\log K_{ow}$) wynoszą odpowiednio 1,4 i 1,7 dla 1H-BTR i 5Me-BTR (tab. 1) [1].

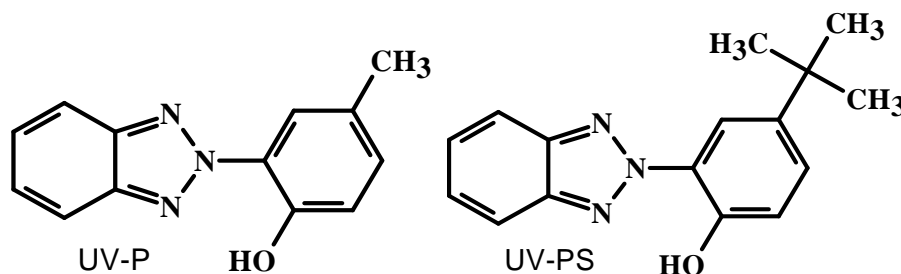
Tabela 1. Wybrane właściwości 1H-BTR i 5Me-BTR, opracowano na podstawie [1]

Table 1. Selected properties of 1H-BTR and 5-methyl-BTR, based on [1]

Parametry	1H-BTR	5Me-BTR
pK_a	8,4	-
$\log K_{ow}$	1,4	1,7
Rozpuszczalność w wodzie [g/l]	19,8	3,1

Stabilność jest kluczową cechą większości wykorzystywanych w przemyśle benzotriazoli. BTR tworzą bardzo stabilne kompleksy z wieloma metalami. Kompleks BTR z metalem tworzy warstwę pasywną na powierzchni metalowej, zapobiegając reakcji powierzchniowej, czyli korozji. Właściwości antykorozyjne posiadają cząsteczki zawierające atom wodoru w pozycji 1 oraz benzotriazole z grupą metylową, na przykład 4Me-BTR i 5Me-BTR [18].

W przypadku stabilizacji na promieniowanie UV stosowane są natomiast BTR z grupą fenyłową w pozycji 2 (rys. 4). Są one zdolne do absorbowania światła UV w zakresie 300-400 nm. Mechanizm stabilizacji polega na przekształceniu pochłoniętej energii świetlnej na ciepło, która jest w istocie odwracalną reakcją przeniesienia protonu. Wydajność absorpcji zależy od rodzaju i ilości użytego benzotriazolu oraz od składu materiału [2].



Rys. 4. Przykłady benzotriazoli zdolnych do absorbowania promieniowania UV, opracowano na podstawie [2]

Fig. 4. Examples of the benzotriazoles capable of absorbing UV radiation, based on [2]

3. Występowanie benzotriazoli w środowisku

Szerokie zastosowanie benzotriazoli doprowadziło do ich rozpowszechnienia się w środowisku. Z kolei stopniowy wzrost poziomu zanieczyszczenia środowiska tymi substancjami spowodował ich akumulację w organizmach żywych, jednocześnie tworząc zagrożenie dla ich zdrowia, przede wszystkim ze względu na właściwości kancerogenne. Człowiek jest narażony na benzotriazole pochodzące z różnych źródeł emisji, dominującą rolę odgrywają środki czystości oraz leki. Na przykład, związki te stanowią jeden ze składników tabletek przeznaczonych do mycia naczyń w zmywarkach. Janna i in. (2011) oraz Vetter i in. (2013) w swoich publikacjach podają stężenia benzotriazoli w detergentach do mycia naczyń stosowanych w Wielkiej Brytanii i Niemczech. Zawartość BTR w tabletkach do zmywarek w Niemczech wahała się od 2 do 66 mg, podczas gdy podobne badania proszków i tabletek w Wielkiej Brytanii wykazały nieco niższe stężenia, na poziomie od 1,45 do 28 mg BTR w jednej tabletkce. W wyniku tego, zawartość związków w ściekach dopływających do wybranych trzech oczysz-

czalni ścieków w Niemczech obserwowano w zakresie od 17 do 44 $\mu\text{g/l}$ dla 1H-benzotriazolu oraz od 1,1 do 4,9 $\mu\text{g/l}$ dla metylo-1H-benzotriazolu (TT) [16]. Ponadto, substancje te mogą migrować pomiędzy różnymi elementami środowiska. W USA, w wodach powierzchniowych stwierdzono obecność 1H-BTR w 45% badanych próbkach, co wskazuje, że związki te są powszechne w wodach naturalnych, a ich głównym źródłem są ścieki oczyszczone. Natomiast na terenie Unii Europejskiej w 100 wybranych rzekach wykryto 1H-BTR i TT odpowiednio w 94% i 81% analizowanych próbkach, na poziomie 8 $\mu\text{g/l}$ dla 1H-BTR i 19 $\mu\text{g/l}$ dla TT [10]. Substancje te łatwo adsorbują się na cząstkach stałych, w USA w osadach dennych rzeki Pawtuxet związki z grupy BTR wykryto w granicach 4300–5200 mg/kg [15], w Chinach w rzece Songhau od 0,31 do 7,12 $\mu\text{g/kg}$ [14]. Natomiast w Hiszpanii w kurzu domowym zawartość tych związków wahała się w przedziale 22 – 657 $\mu\text{g/kg}$ [3]. W glebie zazwyczaj BTR bada się w okolicach dróg, stref przemysłowych, na terenach miejskich – w Sztokholmie wartość ta wyniosła 3,7 $\mu\text{g/g}$ dla UV 360 nm [2, 9].

Niestety w literaturze jest mało danych na temat toksyczności poszczególnych związków z grupy BTR na organizmy żywe. Stopień narażenia na benzotriazole w głównej mierze jest uzależniony od ich stężenia. Granica tolerancji dla ryb słodkowodnych to wartość 27,5 ppm w czasie ekspozycji równej 48 godzin i 25 ppm w ciągu 96 godzin. Przy czym śmiertelność jest znacznie wyższa po 96 godzinach ekspozycji na BTR [22].

4. Możliwości usuwania BTR

Benzotriazole są odporne na biodegradację, chlorowanie oraz konwencjonalne oczyszczanie ścieków [16]. Mogą być natomiast usuwane w procesie ozonowania i przy zastosowaniu zaawansowanego utleniania [13]. Szybki rozkład benzotriazoli zaobserwowano w reakcji z odczynnikiem Fentona [22]. BTR ulegają również degradacji fotochemicznej, jednakże wymagane są wysokie dawki promieniowania UV i produkty pośrednie mogą mieć formę bardziej toksyczną. Przykładowo, 1H-BTR może być usuwany przez promieniowanie UV w środowisku o pH poniżej 7. Wydajność tego procesu jest znikoma, a produktami reakcji są trująca anilina i fenazyna [9]. Adsorpcja na węglu aktywnym okazała się być skuteczna w eliminacji benzotriazoli zawierających grupy metylowe [16]. W procesie ozonowania możliwe jest usuwanie benzotriazoli o właściwościach antykorozyjnych. Według zespołu badawczego Weissa i in. (2006) wydajność ta może wynosić nawet 99%, ale mechanizm tej reakcji nie został jeszcze dokładnie poznany i nieznane są produkty końcowe ozonowania benzotriazoli [13]. Tabela 2 przedstawia wydajność usuwania BTR w przykładowych procesach.

Tabela 2. Eliminacja BTR, opracowano na podstawie [9]

Table 2. Elimination of BTRs, based on [9]

	Związek chemiczny	Wydajność eliminacji [%]
Oczyszczalnia ścieków (Berlin)	1H-BTR	37
	4Me-BTR	0
	5Me-BTR	11
Oczyszczalnia ścieków (Europa)	1H-BTR	34,5
	TT _s	11,3
Oczyszczalnia ścieków (Szwajcaria)	1H-BTR	22,6
	TT _s	44,4
Bioreaktor Membranowy	1H-BTR	61
	4Me-BTR	14
	5Me-BTR	61
Ozonowanie	BTR	>99

5. Podsumowanie

Benzotriazole to grupa związków, wśród których liczne wykazują właściwości mutagenne i kancerogenne. Dodatkowo, BTR wykazują potencjalną zdolność do biokumulacji. W zależności od matrycy są wykrywane w szerokich granicach stężeń. BTR są trwałe w środowisku, a długotrwałe narażenie na ich działanie nawet w małych stężeniach może prowadzić do poważnych skutków zdrowotnych. W konsekwencji tego, ważnym aspektem związanym z obecnością tych związków są cykliczne pomiary ich stężeń i badania wpływu na zdrowie organizmów żywych. Znajomość trwałości substancji organicznej i jej produktów rozkładu ma również ogromne znaczenie dla wiarygodności wyników oznaczeń różnego rodzaju analitów w poszczególnych próbkach środowiskowych oraz w celu opracowania skutecznej metody ich usuwania. Ze względu na potencjalnie wysoką odporność na degradację substancje te mogą być obecne w środowisku przez bardzo długi czas.

Literatura

- [1] Breedveld G.D., Roseth R., Hem L., Sparrevik M. Triazoles in the terrestrial Environment. NGI report no. 20001103-1, Oslo 2002.
- [2] Cantwell M.G., Sullivan J.C., Burgess R.M. Benzotriazoles: History, Environmental Distribution, and Potential Ecological Effects. Comprehensive Analytical Chemistry, Vol. 67. Published by Elsevier B.V. 2015.
- [3] Carpinteiro I., Abuin B., Rodriguez I., Ramil M., Cela R. Journal of Chromatography A, 1217 (24), 2010, pp. 3729–3735.
- [4] Casado J., Nescatelli R., Rodriguez I., Ramil M., Marini F., Cela R. Determination of benzotriazoles in water samples by concurrent derivatization–dispersive liquid–

- liquid microextraction followed by gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1336, 2014, pp. 1–9.
- [5] Davis L.N., Santodonato J., Howard P., Saxena J. Investigation of Selected Potential Environmental Contaminants: Benzotriazoles. Final Report Prepared for Office of Toxic Substances, US Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1977.
- [6] Durjava M.K., Kolar B., Arnus L., Papa E., Kovarich S., Sahlin U., Peijnenburg W. Experimental Assessment of the Environmental Fate and Effects of Triazoles and Benzotriazole. *ATLA* 41, 2013, pp. 65–75.
- [7] Hart D.S., Davis L.C., Erickson L.E., Callender T.M. Sorption and partitioning parameters of benzotriazole compounds. *J Microc* 77, 2004, pp. 9-17.
- [8] Janna H., Scrimshaw M.D., Williams R.J., Churchley J., Sumpter J.P. From dishwasher to tap? Xenobiotic substances benzotriazole and tolyltriazole in the environment. *Environmental Science and Technology*, 45 (9), 2011, pp. 3858 - 3864.
- [9] Kiss A. System studies on 1H-Benzotriazol and Tolyltriazoles in river water and wastewater: Sources, fate and risks. Osnabrück, 2012.
- [10] Loos R., Gawlik B.M., Locoro G., Rimaviciute E., Contini S., Bidoglio G. EU-wide survey of polar organic persistent pollutants in European river waters. *Environmental Pollution*, 157 (2), 2009, pp. 561–568.
- [11] Mazioti A.A., Stasinakisa A. S., Gatidou G., Thomaidisb N.S., Andersen H.R. Sorption and biodegradation of selected benzotriazoles and hydroxybenzothiazole in activated sludge and estimation of their fate during wastewater treatment. *Chemosphere*, 131, 2015, pp. 117–123.
- [12] Matamoros V., Jover E., Bayona J.M. Occurrence and fate of benzothiazoles and benzotriazoles in constructed wetlands. *Water Science & Technology–WST*, 61, (1), 2010, pp. 191–198.
- [13] Mawhinney D.B., Vanderford B.J., Snyder S. Transformation of 1H-benzotriazole by ozone in aqueous solution. *Environmental Science and Technology*, 46 (13), 2012, pp. 7102–7111.
- [14] Nakata H., Murata S., Filatreau J. Occurrence and Concentrations of Benzotriazole UV Stabilizers in Marine Organisms and Sediments from the Ariake Sea, Japan. *Environmental Science and Technology*, 43 (18), 2009, pp. 6920–6926.
- [15] Reddy C.M., Quinn J.G., King J.W. Free and bound benzotriazoles in marine and freshwater sediments. *Environmental Science and Technology*, 34 (6), 2000, pp. 973–979.
- [16] Reemtsma T.H., Mieke U., Duennbier U., Jekel M. Polar pollutants in municipal wastewater and the water cycle: occurrence and removal of benzotriazoles. *Water Research*, 44 (2), 2010, pp. 596–604.
- [17] Roshani B., McMasterb I., Rezaeib E., Soltan J. Catalytic ozonation of benzotriazole over alumina supported transition metal oxide catalysts in water. *Separation and Purification Technology*, 135, 2014, pp. 158–164.
- [18] Sease C., *Studies in Conservation* 23 (2) (1978) 76–85.
- [19] Smiley R.A. Phenylene- and Toluenediamines, *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, sixth ed., 26, 2002, pp. 617–622. http://dx.doi.org/10.1002/14356007.a19_405, [dostęp: 10 września 2015 r.].

- [20] Vetter W., Lorenz J. Determination of benzotriazoles in dishwasher tabs from Germany and estimation of the discharge into German waters. *Environmental Science Pollution Research*, 20, 2013, pp. 4435–4440.
- [21] Weiss S., Jakobs J., Reemtsma T. Discharge of three benzotriazole corrosion inhibitors with municipal wastewater and improvements by membrane bioreactor treatment and ozonation. *Environmental Science and Technology*, 40 (23), 2006, pp. 7193–7199.
- [22] Wu X.N., Chou D., Lupher L.C. Benzotriazoles: toxicity and biodegradation. *Snow Bird Conference on Hazardous Waste Research*, 1998, pp. 374–382.

BENZOTRIAZOLES – PROPERTIES AND STABILITY IN THE ENVIRONMENT

S u m m a r y

The work includes a review of the literature concerning the characteristics and the occurrence of benzotriazoles (BTR) in various environmental components. Particular attention was paid to the problem of risks to the quality of the environment resulting in the presence and persistence in the environment of compounds from this group and their derivatives. Properties of benzotriazoles make them widely used in many industries. They are used i.a. as corrosion inhibitors, ultraviolet light stabilizers for plastics and as brightening agents in metal industry. In addition, they are used in the production of cosmetics, detergents, medicines, building materials and auto parts. However, there is limited data on the fate of benzotriazoles that are released into the environment. Because of the benzotriazole resistance to oxidation at ambient and UV radiation they can be present in the environment for a long period of time. Stability of benzotriazoles effect that they are not removed from the waste water by conventional methods with satisfactory yields. Additionally, resistance to biodegradation and physicochemical properties of the benzotriazoles cause their presence in all components of the environment. They were detected in wastewater, surface water, sediments, soil, air, and even in house dust and in living organisms, e.g. in fish. Confirmed negative impact on living organisms, caused in particular by their estrogenic activity, mutagenicity, toxicity and carcinogenicity results in need to develop effective methods of elimination the BTRs.

Keywords: benzotriazoles, micro-pollutants, endocrine-active compounds, degradation

Przesłano do redakcji: 30.08.2015 r.

Przyjęto do druku: 1.03.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.115

Justyna KWAŚNY¹
Wojciech BALCERZAK²
Piotr REZKA³

BIOGAZ I CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH METOD JEGO ODSIARCZANIA

W niniejszym artykule w oparciu o dane literaturowe, poruszono kwestie otrzymywania biogazu oraz jego odsiarczania. Biogaz stanowi odnawialne źródło energii, które powstaje w wyniku fermentacji beztlenowej biomasy różnego pochodzenia. W zależności od rodzaju substratów stosowanych w procesie, zmienia się skład chemiczny otrzymywanej mieszaniny gazowej. Należy pamiętać, że pozyskiwany biogaz surowy zawiera tylko średnio 60% obj. metanu, natomiast pozostałymi składnikami są ditlenek węgla, para wodna, siarkowodór, amoniak, siloksany i inne. Wyróżnia się biogaz wysypiskowy, który otrzymuje się w wyniku przetwarzania nieposegregowanych odpadów komunalnych; biogaz rolniczy, otrzymywany z odpadów rolniczych, a także biogaz pozyskiwany z osadów ściekowych i biogaz powstający w wyniku przetworzenia odpadów z branży przemysłu żywnościowego. Obecność w biogazie surowym substancji gazowych, innych niż metan, obniża jego potencjał energetyczny, a także ogranicza możliwości jego zastosowania. Wspomniane substancje gazowe stanowią zanieczyszczenia, które charakteryzują się niekorzystnym wpływem na środowisko naturalne (gazy cieplarniane) oraz korozyjnością w stosunku do aparatury (głównie siarkowodór). Aby polepszyć właściwości użytkowe biogazu należy przeprowadzić jego odsiarczanie, oczyszczanie i uzdatnianie. Skutkuje to uzyskaniem biogazu o właściwościach gazu ziemnego, który można wtłoczyć do sieci infrastruktury gazowej. Odsiarczanie biogazu polega na usunięciu lub ograniczeniu zawartości siarkowodoru w mieszaninie gazowej. Proces ten może być prowadzony kilkoma metodami. Wśród metod odsiarczania wyróżnia się m.in. utlenianie biologiczne, metody mokre, a także metody sorpcyjne, np. adsorpcję na węglu aktywnym.

Słowa kluczowe: biogaz wysypiskowy, adsorbenty, metody biologiczne, usuwanie siarkowodoru, węgiel aktywny, zeolity

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Justyna Kwaśny, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, kwasny.justyna@gmail.com

² Wojciech Balcerzak, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, wb@vistula.wis.pk.edu.pl

³ Piotr Rezka, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, rezkapiotr@gmail.com

1. Wstęp

Wraz z rozwojem cywilizacji rośnie zapotrzebowanie na energię, której tradycyjne zasoby nieustannie się wyczerpują. Również powszechnie wiadomo, że stosowanie paliw kopalnianych jest niekorzystne dla środowiska naturalnego. Dlatego też, na znaczeniu zyskują odnawialne źródła energii (OZE), których zasoby stale się uzupełniają. Do grupy tych nośników energii zalicza się promieniowanie słoneczne, wodę, wiatr, źródła geotermalne, a także biomasę [16], z której otrzymuje się biopaliwa stałe, biopaliwa płynne i biogaz. Stosowanie odnawialnych źródeł energii w znacznym stopniu zmniejsza szkodliwy wpływ sektora energetycznego na środowisko naturalne, co jest zauważane przede wszystkim w ograniczeniu emisji zanieczyszczeń, głównie gazów cieplarnianych do atmosfery.

Biogaz powstaje w wyniku fermentacji metanowej biomasy różnego pochodzenia. Surowy biogaz zawiera znaczne ilości zanieczyszczeń, które obniżają jego potencjał energetyczny lub uniemożliwiają jego zastosowanie np. w sieci gazu ziemnego, ze względu na wysoką korozyjność. W celu poszerzenia możliwości aplikacyjnych biogazu przeprowadza się jego odsiarczanie, oczyszczanie i uzdatnianie do jakości gazu ziemnego. Odsiarczanie biogazu polega na usunięciu siarkowodoru, co może odbywać się różnymi metodami, które zostaną omówione w dalszej części referatu.

2. Charakterystyka biogazu

Produktem procesu fermentacji beztlenowej jest biogaz, którego głównym składnikiem jest metan, następnie tlenek węgla (IV) i para wodna oraz inne substancje gazowe [1,23,25,26,29,33]. W zależności od surowców z jakich jest pozyskiwany wyróżnia się biogaz wysypiskowy, rolniczy, z osadów ściekowych i z odpadów rzeźniczych, browarniczych i innych pochodzących z branży żywnościowej [9,32]. Rodzaj biomasy stanowiącej substraty w procesie fermentacji metanowej determinuje skład chemiczny powstałej mieszaniny, nazywanej często biogazem surowym. Różnice zawartości poszczególnych składników prezentuje tabela 1. Hernández i współpracownicy [13] analizowali skład chemiczny biogazu wysypiskowego z Turynu, a wyniki jakie otrzymali przedstawiono w tabeli 2. Biogaz powstający z odpadów gospodarstwa domowego i na wysypiskach odpadów komunalnych (nieposegregowanych) zawiera znaczne ilości związków aromatycznych oraz chlorowco- i fluoroorganicznych, co wynika z obecności odpadów tworzyw sztucznych we wsadzie fermentacyjnym. Największą zawartością siarkowodoru w biogazie surowym, charakteryzuje się biogaz pochodzenia rolniczego. Natomiast biogaz powstający z przetworzenia odpadów branży żywnościowej wykazuje największą zawartość amoniaku. W przypadku biogazu wysypiskowego problematyczna jest również obecność siloksanów, pół-lotnych związków krzemorganicznych, które podczas spalania ulegają przemianie do krzemionki. W efekcie może dojść do ścierania części ruchomych silnika itp. [13,27,32].

Tabela 1. Skład chemiczny biogazu różnego pochodzenia, opracowano na podstawie [3]

Table 1. The chemical composition of various origins biogas, on the basis of [3]

Składnik	Jednostka	Odpady z gospodarstw domowych	Osad z oczyszczalni ścieków	Odpady rolniczych	Odpady z przemysłu rolnospożywczego
CH ₄	% obj.	50–60	60–75	60–75	68
CO ₂		34–38	19–33	19–33	26
N ₂		0–5	0–1	0–1	-
O ₂		0–1	< 0,5	< 0,5	-
H ₂ O	% obj. (w 40°C)	6	6	6	6
H ₂ S	mg/m ³	100–900	1000–4000	3000–10 000	100
NH ₃		-	-	50–100	400
Związki aromatyczne		0–200	-	-	-
Związki chlorowco-organiczne lub fluoroorganiczne		100–800	-	-	-

Tabela 2. Charakterystyka biogazu wysypiskowego

Table 2. Characteristics of landfill biogas

Parametr	Jednostka pomiarowa	Przedział wartości wg						
		[13]	[10]	[27]	[20]	[34]	[31]	[2]
Temperatura	°C	9–26	n-p**	n-p	n-p	37,7–48,9	n-p	n-p
Wilgotność	% v	0,6–1,1	n-p	n-p	n-p	n-p	1–5	n-p
CH ₄	% v	42,8–50,2	40,0–70,0	32–58	55–65	45–60	35–65	30–60
O ₂	% v	1,5–2,8	0–5,0	0,33–6	n-p	0,1–1,0	1	0–10
CO ₂	% v	34–40,9	30,0–50,0	31–54	40–45	40–60	15–40	15–40
CO	% v	< 0,001–0,003	n-p	0,025–0,32	n-p	0,0–0,2	n-p	
N ₂	% v	11,4–16	0–20	1,2–19	n-p	2–5	15	0–50
H ₂	% v	< 0,1	n-p	< 0,01	n-p	0,0–0,2	0–3	n-p
BTEX*	ppm _v	n-p	n-p	132–168 mg/Nm ³	28,7–65,4	n-p	n-p	n-p
Siloksany	mg/m ³ _N	< 0,05–0,2	0–100,0	13,8 mgSi/Nm ³	n-p	n-p	n-p	0–50
Lotne związki organiczne całkowite	mg/m ³ _N	n-p	n-p	581–1540	0,2–4500	n-p	n-p	n-p
NH ₃	mg/m ³ _N	< 0,5–15,7	n-p	0,022–0,055 % v	n-p	n-p	5 ppm	0–5
Chlor całkowity	mgCl/m ³ _N	17,4–32,0	n-p	0,12–21,50	n-p	n-p	5 mg/m ³ _N	0–800 mg/m ³ _N
Fluor całkowity	mgF/m ³ _N	1,2 < 6,6	n-p	n-p	n-p	n-p	n-p	0–800 mg/m ³ _N
H ₂ S	ppm	114,3–205,0	0–4000	77–3400	n-p	n-p	0–100	0–1000 mg/m ³ _N
Merkaptany	ppm	0,7–27,7	0–100,0	n-p	n-p	n-p	n-p	n-p

*BTEX - Benzen, toluen, etylobenzen, ksyleny; **n-p - Nie podano

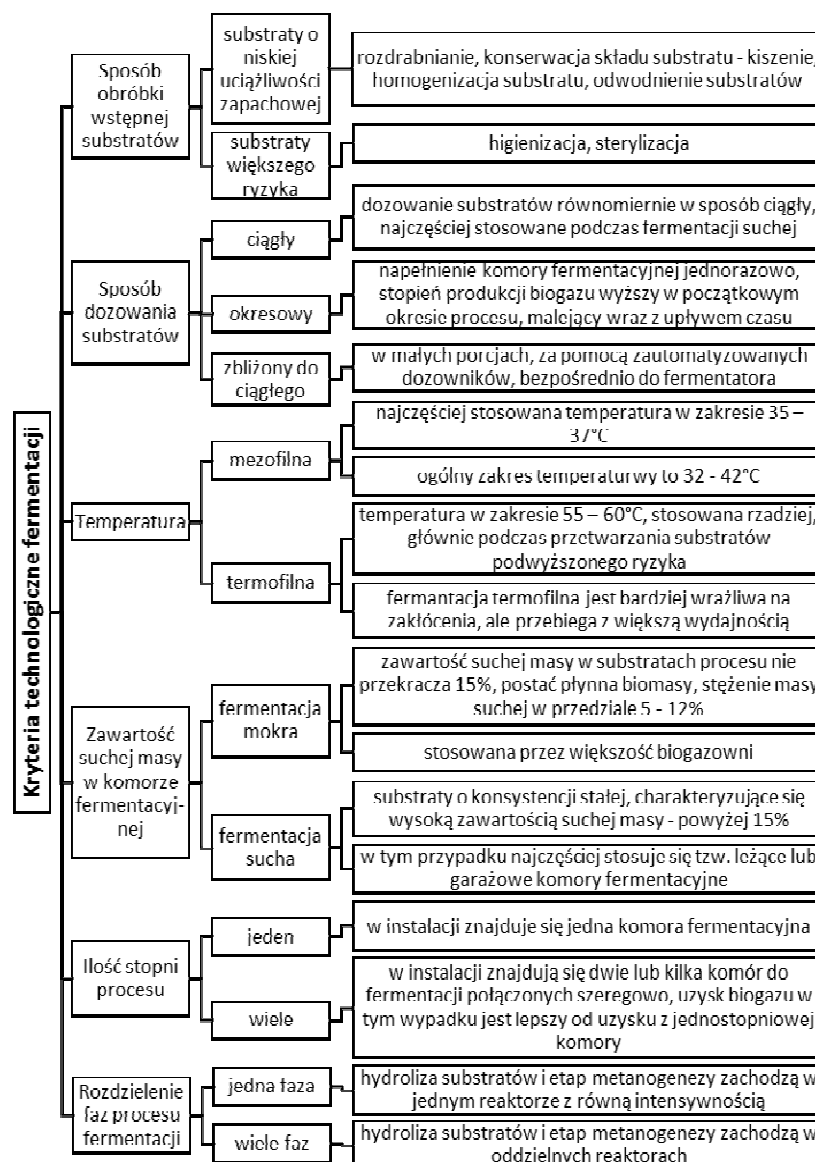
Na skład chemiczny biogazu surowego, oprócz rodzaju biomasy, wpływa również sposób prowadzenia procesu technologicznego. Istotny wpływ na przebieg procesu fermentacji metanowej ma temperatura, wilgotność, odczyn pH, rodzaj mikroorganizmów, ale również ilość komór fermentacyjnych, sposób dozowania substratów procesu, a także zawartość suchej masy w komorze fermentacyjnej. W tabeli 3 przedstawiono parametry prowadzenia fermentacji beztlenowej.

Tabela 3. Charakterystyka parametrów prowadzenia fermentacji metanowej, opracowano na podstawie [11,12,19,24,28]

Table 3. Characteristics of methane fermentation parameters, on the basis of [11,12,19,24,28]

Parametr	Optymalne warunki procesu	Bakterie aktywne w podanym zakresie	Warunki najczęściej utrzymywane	Możliwe utrudnienia
Temp. [°C]	20 – 25	psychrofilne	30 – 40	W niektórych przypadkach (materiał pochodzenia zwierzęcego - Animal By Product) zachodzi konieczność higienizacji, w celu usunięcia bakterii chorobotwórczych - możliwość fermentacji z użyciem bakterii termofilnych. Prowadzenie procesu w wyższej temperaturze sprawia, że jest on bardziej wrażliwy na zakłócenia. Dlatego też, proces higienizacji najczęściej prowadzi się przed fermentacją, poprzez wygrzewanie substratu w temperaturze min. 70°C przez min. godzinę, przy określonym rozmiarze cząstek materiału – max 12 mm.
	35 – 37	mezofilne		
	55 – 60	termofilne		
Zawartość węgla i azotu - stosunek C/N	10 – 30	wszystkie rodzaje bakterii biorące udział w procesie	10 – 30	Nadmierna ilość związków azotu w substratach procesu prowadzi do jego akumulacji w postaci NH ₃ , który przy wysokim stężeniu jest toksyczny dla bakterii metanogennych. Nadmierna zawartość węgla skutkuje jego niepełnym wykorzystaniem i obecnością w masie pofermentacyjnej. Regulację przeprowadza się za pomocą dodatku odpowiednich kosubstratów.
Odczyn pH	4,5 – 6,3	hydrolizujące i kwasotwórcze	6,5 – 7,5	Obniżenie pH na skutek nadmiernej koncentracji lotnych kwasów tłuszczowych. W przypadku prowadzenia procesu w jednym fermentatorze, zachodzi konieczność utrzymywania pH w wyższym zakresie.
	6,8 – 7,5	acetogenne i metanogenne		

Natomiast charakterystykę kryteriów technologicznych procesu fermentacji zawarto na rysunku 1, gdzie uwzględniono takie czynniki jak temperatura, zawartości suchej masy w komorze fermentacyjnej, a także liczba tych komór, rozdział faz procesu fermentacji oraz sposób dozowania substratów. Wymienione kryteria wpływają na dostępność i żywotność mikroorganizmów odpowiadających za poszczególne etapy fermentacji beztlenowej.



Rys. 1. Charakterystyka kryteriów prowadzenia fermentacji metanowej, opracowano na podstawie [17,19]

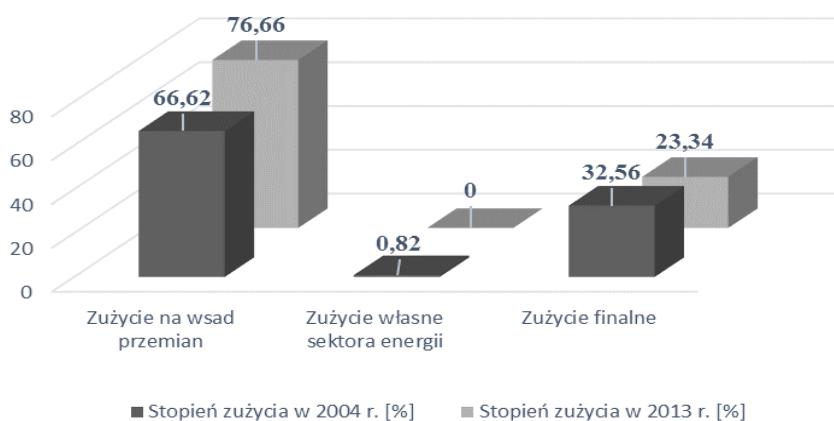
Fig. 1. Characteristics of methane fermentation criteria, on the basis of [17,19]

Skład chemiczny biogazu decyduje o możliwościach jego zastosowania. Obecnie głównym sposobem zużycia biogazu jest jego przetworzenie na ciepło. Według danych Głównego Urzędu Statystycznego [9] w latach 2004-2013 ilość pozyskanego biogazu wzrastała.

Strukturę zużycia biogazu w 2004 i 2013 roku przedstawiono na rysunku 2. Produkcja tego gazu palnego w 2004 roku wynosiła 1941 TJ, podczas gdy w 2013 wzrosła i wyniosła 7593 TJ. W tym okresie biogaz używany był głównie w ciepłowniach i elektrociepłowniach. Natomiast tzw. zużycie finalne, czyli końcowe dotyczy wykorzystania biogazu przez sektor przemysłowy, sektor handlu i usług, a także budownictwo, rolnictwo i leśnictwo.

Zarówno w 2004 jak i 2013 roku głównym kierunkiem spożytkowania biogazu było zużycie na wsad przemian, polegające na przetworzeniu go na inny nośnik energii, co skutkuje ponownym uzyskaniem energii. Wzrost tego kierunku zużycia skutkował zmniejszeniem zużycia finalnego biogazu, w porównaniu z 2004 rokiem. Również nie bez znaczenia jest udział innych OZE w wytwarzaniu energii pierwotnej i jej zużyciu finalnym. Należy podkreślić, że na przestrzeni omawianych lat następował wzrost zużycia finalnego energii pozyskanej z biopaliw stałych, odpadów komunalnych, a także obserwowano wzrost zużycia finalnego energii słonecznej i geotermalnej. Strategicznym celem polityki Polski jest zwiększenie udziału energii ze źródeł odnawialnych w finalnym zużyciu energii brutto, które w roku 2020 powinno osiągnąć poziom 15%. W roku 2012 udział energii ze źródeł odnawialnych w finalnym zużyciu energii ogółem w Polsce wyniósł 7,2%. Według Iglińskiego i współpracowników [14] Polska, jako kraj rolniczy dysponuje ogromnym potencjałem biomasy, który może zostać wykorzystany do produkcji biogazu. Może o tym świadczyć fakt, że w ciągu ostatnich 15 lat wybudowano w kraju 250 biogazowni.

Biogaz surowy, jak pokazano w tabelach 1 i 2 zawiera oprócz metanu również inne substancje gazowe, które są uznawane za zanieczyszczenie. Obniżają one potencjał energetyczny biogazu i dodatkowo mają właściwości korozyjne, co ogranicza możliwości jego zużycia [4]. Dlatego też, istotne jest usunięcie z biogazu gazowych zanieczyszczeń, dążąc do uzyskania medium o właściwościach gazu ziemnego.



Rys. 2. Struktura zużycia biogazu w 2004 i 2013 roku, opracowano na podstawie [9]

Fig. 2. The structure of biogas consumption in 2004 and 2013 years, on the basis of [9]

3. Podział i charakterystyka wybranych metod odsiarczania biogazu

Odsiarczanie biogazu polega na usunięciu H_2S i ewentualnie innych gazowych związków siarki obecnych w mieszaninie. Najczęściej jednak dotyczy to ograniczenia zawartości H_2S , który oprócz nieprzyjemnego zapachu charakteryzuje się wysoką reaktywnością z większością metali, np. żelazem, miedzią, przez co powoduje korozję rur przesyłowych i aparatury. Gaz ten ulega przemianie do SO_2 i H_2SO_4 , które również mają właściwości wysoko korozyjne, a także są niebezpieczne dla zdrowia i środowiska naturalnego [26].

Wśród metod odsiarczania biogazu wyróżnić można utlenianie biologiczne, techniki adsorpcyjne, zastosowanie złóż rudy darniowej oraz metody mokre [15]. Ich wybór jest zależny od zawartości H_2S w biogazie surowym [7].

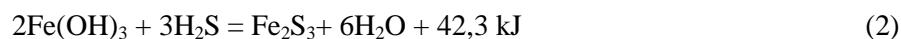
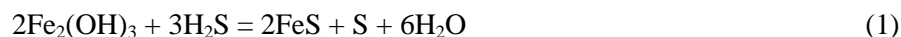
3.1. Metody mokre

Metody mokre polegają na sorpcji H_2S w roztworach chemicznych wiążących siarkowodor. Zachodzą poprzez wymywanie H_2S z biogazu w płuczkach wieżowych za pomocą odpowiedniej cieczy roboczej. Wśród metod mokrych wyróżnia się metody oparte na adsorpcji fizycznej, które polegają na rozpuszczeniu H_2S w wodzie lub rozpuszczalnikach organicznych [2]. Znana jest metoda stosowania, jako ciecz roboczą CH_3OH w temperaturze od $-20^\circ C$ do $-70^\circ C$, pod ciśnieniem 2 – 5 MPa (proces Rectisol i Ifpex). Niestety te metody charakteryzują się wysokimi kosztami regeneracji cieczy, dużym jej zużyciem – są nieoptymalne. Natomiast często stosowane są metody mokre oparte na adsorpcji chemicznej, np. w roztworze sody kaustycznej ($NaOH$), w wodnych roztworach alkanoloamin i w roztworze chlorku żelaza. Stosowanie roztworów $NaOH$ jest optymalne w sytuacji, gdy stężenie H_2S mieści się w granicach 0,05 – 1,5%, dla biogazu wytwarzanego w ilości 50 – 1200 m^3/h . Na skutek odsiarczania z cieczy roboczej powstaje ściek, który należy odprowadzić do oczyszczalni. Stosowanie alkanoloamin skutkuje selektywnym usuwaniem siarkowodoru, w przypadku użycia trietanolaminy (TEA). Natomiast roztwory MEA – monoetanolaminy i DEA – dietanolaminy pozwalają usunąć również ditlenek węgla [15].

3.2. Stosowanie złóż rudy darniowej

Ruda darniowa jest to porowata skała osadowa charakteryzująca się brunatnym kolorem. Powstaje z rozpuszczalnych związków żelaza znajdujących się w wodzie przy udziale określonych bakterii. Skała ta najczęściej występuje na obszarach, gdzie wody gruntowe znajdowały się blisko powierzchni gleby, np. na terenach bagiennych. W Polsce ruda występuje m.in. na Mazowszu [35].

Metoda z zastosowaniem rudy darniowej polega na adsorpcji H_2S na zasadowych tlenkach żelaza, w wyniku przepuszczenia biogazu przez złożo. Produktami reakcji jest siarka elementarna oraz siarczki żelaza (II) i (III). Proces opisują poniższe reakcje chemiczne.



Regenerację złoża prowadzi się przeprowadzając przez nie powietrze z dodatkiem pary wodnej. Jest to metoda efektywna, gdyż stężenie H_2S w oczyszczonym gazie nie przekracza kilku mg/dm^3 [15]. Cybulska i współpracownicy [6] prowadzili odsiarczanie biogazu z zastosowaniem masy odsiarczającej, utworzonej na bazie rudy darniowej. Rudę poddano modyfikacji poprzez dodatek modyfikatora spulchniającego i alkalicznego w ilości odpowiednio 9,1 i 3,4 % suchej masy. Autorzy badali zmiany skuteczności odsiarczania biogazu w czasie i wykazali, że takie rozwiązanie pozwala na obniżenie stężenia H_2S poniżej $200 \text{ mg}/\text{m}_n^3$. W warunkach badanej oczyszczalni złożę należy wymieniać w odstępach sześciu miesięcy [6].

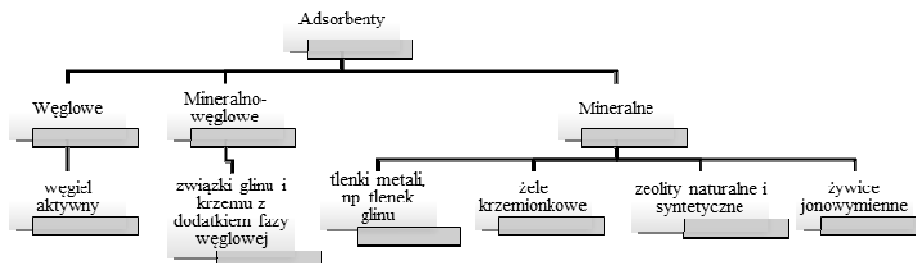
3.3. Biologiczne odsiarczanie biogazu

Jedną z najczęściej stosowanych metod usuwania z biogazu H_2S jest utlenianie biologiczne, które polega na dostarczeniu powietrza do biogazu, a następnie przepuszczeniu mieszaniny przez czynną warstwę biologiczną. Efektem działania bakterii z rodziny *Thiobacillus* jest otrzymanie siarki elementarnej oraz siarczynów. Wydajność usunięcia H_2S mieści się w granicach 80–99% [25], przy czym stężenie siarkowodoru po odsiarczaniu wynosi od 30–150 mg/m^3 . Metodę charakteryzują niskie koszty inwestycyjne i eksploatacyjne. Zaletą jest brak konieczności wprowadzania do układu dodatkowych substancji chemicznych i możliwość bezobsługowego prowadzenia procesu [2,7,15,22,26]. Należy podkreślić, że rodzaj otrzymywanej substancji ściśle zależy od stężenia rozpuszczonego O_2 – powstawaniu siarki elementarnej sprzyja ograniczenie dostępu tlenu, przy zwiększonym obciążeniu H_2S [26].

3.4. Adsorpcyjne techniki usuwania siarkowodoru z biogazu

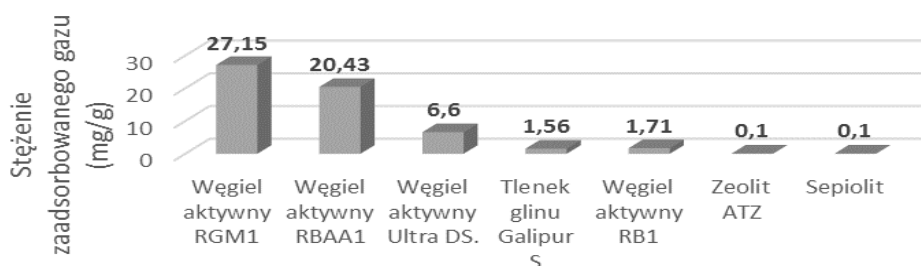
Adsorpcyjne techniki odsiarczania skutkują wysokim stopniem usunięcia ~99%, jednak w większości przypadków ich stosowanie jest opłacalne dla niższych stężeń H_2S . Istotą procesu jest przepuszczenie biogazu przez kolumnę filtracyjną wypełnioną adsorbentem. Jako adsorbenty stosuje się adsorbenty węglowe, mineralne i mineralno-węglowe, których podział przedstawiono na rysunku 3.

Węgiel aktywny jest jednym z najbardziej znanych i uniwersalnych adsorbentów [7], który charakteryzuje się wysoką skutecznością adsorpcji zanieczyszczeń i niskimi kosztami stosowania. Możliwość wielokrotnego użycia i odzyskiwania produktu wpływa na obniżenie kosztów eksploatacyjnych [2,13]. Dostępne dane literaturowe [13,21,30] pokazują wyższą skuteczność adsorpcji siarkowodoru na węglu aktywnym w porównaniu z zeolitami, komercyjnymi adsorbentami tlenkowymi i sitami jonowymi, co potwierdzają wyniki uzyskane przez Sisani i współpracowników [30], przedstawione na rysunku 4.



Rys. 3. Rodzaje adsorbentów do odsiarczania biogazu, opracowano na podstawie [13,18,35]

Fig. 3. The types of biogas desulfurization adsorbents, on the basis of [13,18,35]



Rys. 4. Porównanie skuteczności adsorpcji siarkowodoru z biogazu, opracowano na podstawie [30]

Fig. 4. Comparison of efficacy of hydrogen sulphide from biogas adsorption, on the basis of [30]

Sisani i współpracownicy [30] prowadzili adsorpcję w temperaturze 30°C i wykazali zupełną nieprzydatność zeolitu ATZ i sepiolitu w tym procesie.

Natomiast badania Micoli i współpracowników [21] pokazały, że skuteczność odsiarczania z zastosowaniem zeolitów może być znacznie poprawiona, poprzez modyfikację chemiczną ich struktury. Dokonuje się tego na drodze wymiany jonowej lub impregnacji.

Autorzy w procesie usuwania H₂S stosowali modyfikowane na drodze wymiany jonowej (Ex) oraz impregnowane jonami miedzi (Im-Cu) i cynku (Im-Zn) zeolity, a także impregnowane roztworami Na₂CO₃, KOH i NaOH węgle aktywne (AC).

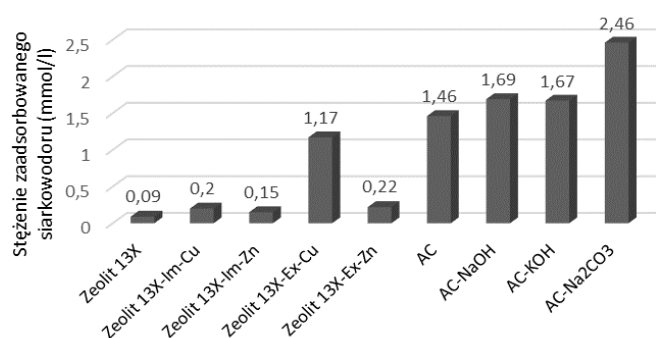
Wyniki, jakie uzyskali przedstawiono na rysunku 5.

Najwyższą wydajność adsorpcji H₂S uzyskano dla AC impregnowanego roztworem Na₂CO₃.

Należy podkreślić, że niezależnie od impregnacji, węgiel aktywny okazał się być bardziej skuteczny niż badane adsorbenty zeolitowe.

Na uwagę zasługuje fakt znacznego zwiększenia wydajności odsiarczania po przeprowadzeniu modyfikacji struktury zeolitów na drodze wymiany jonowej jonami Cu²⁺.

Uzyskane przez Micoli i współpracowników [21] wyniki potwierdziły słuszność tezy, mówiącej, że modyfikacja struktury prowadzi do zwiększenia skuteczności odsiarczania biogazu.



Rys. 5. Porównanie skuteczności adsorbentów zeolitowych i węgla aktywnego w odsiarczaniu biogazu, opracowano na podstawie [21]

Fig. 5. Comparison of efficacy of zeolite adsorbents and activated carbon in biogas desulfurization, on the basis of [21]

4. Podsumowanie

W ostatnim czasie ilość biogazu pozyskiwanego z biomasy na drodze fermentacji metanowej systematycznie rosła. Głównym sposobem spożytkowania biogazu jest stosowanie go, jako wsadu w elektrociepłowniach i ciepłowniach. Niestety ze względu na skład chemiczny biogazu surowego, możliwości jego zastosowania są ściśle ograniczone. Za niekorzystny wpływ na środowisko naturalne, obniżenie potencjału energetycznego mieszaniny oraz zwiększenie jej korozyjności odpowiadają gazy, takie jak siarkowodór. Należy ograniczać zawartość tych zanieczyszczeń, w celu poprawienia właściwości użytkowych biogazu. Dlatego też, przeprowadza się jego odsiarczanie, które polega na zmniejszeniu zawartości lub usunięciu siarkowodoru z mieszaniny gazowej. Wyróżnia się kilka metod odsiarczania biogazu, takich jak metody mokre, biologicznego utleniania oraz szereg technik sorpcyjnych. Najwyższym stopniem usunięcia siarkowodoru (do 99,5%) charakteryzują się metody biologiczne. Również techniki adsorpcyjne skutkują wysoką wydajnością odsiarczania, zwłaszcza przy stosowaniu adsorbentów węglowych. Jednak w przypadku użycia adsorbentów, istotne jest ustalenie maksymalnego stężenia H₂S, przy którym proces odsiarczania jest opłacalny. Warto również przeprowadzać modyfikację struktury adsorbentów, gdyż skutkuje to polepszeniem właściwości adsorpcyjnych, a w efekcie prowadzi do zwiększenia wydajności procesu odsiarczania.

Literatura

- [1] Bancer D., Czechowska-Kosacka A., Kosacki R.; Biogazownie źródłem paliw alternatywnych, *Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury*, XXXII, 62 (1/15), 2015, 5-12, DOI: 10.7862/rb.2015.1.
- [2] Biogas cleaning, Petersson A., in *The biogas hand book*, edited by Wellinger A., Murphy J.P., Baxter D., Woodhead Publishing Limited, 2013, DOI: 10.1533/9780857097415.3.329.
- [3] Biogas composition, Biogas renewable energy – Information webside on biogas, dostęp online <http://www.biogas-renewable-energy.info/> {dostęp 17.10.2015 r.}
- [4] Budzianowski W.M.; A review of potential innovations for production, conditioning and utilization of biogas with multiple-criteria assessment, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 54, 2016, 1148-1171.
- [5] Choma J., Osuchowski Ł., Jaroniec M.; Właściwości i zastosowanie węgla aktywnych otrzymanych z minerałów polimerowych, *Ochrona Środowiska* 36, 2, 2014, 3-16.
- [6] Cybulska H., Gaj K., Knop F., Steininger M.; Badania sorpcji siarkowodoru zawartego w biogazie na uaktywnionej rudzie darniowej, w *Aktualne problemy w ochronie powietrza atmosferycznego* pod red. Musialik-Piotrowska A., Rutkowski J.D.; Materiały z IX konferencji "POL-EMIS 2008", Karpacz 18-21 czerwca 2008 r. ISBN 978-83-921167-6-9, wyd. PZITS nr 880.
- [7] de Arespachoga N., Valderrama C., Mesa C., Bouchy L., Cortina J.L.; Biogas deep clean-up based on adsorption technologies for Solid Oxide Fuel Cell applications, *Chemical Engineering Journal* 255, 2014, 593-603.
- [8] de Arespachoga N., Valderrama C., Raich-Montiu J., Crest M., Mehta S., Cortina J.L.; Understanding the effects of the origin, occurrence, monitoring, control, fate and removal of siloxanes on the energetic valorization of sewage biogas —A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 52, 2015, 366-381.
- [9] *Energia ze źródeł odnawialnych w 2013 r.*, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2014, ISSN: 1898- 4347.
- [10] Fängmark IE, Hammarström LG, Strömqvist M.E., Ness A.L., Norman P.R., Osmond N.M.; Estimation of activated carbon adsorption efficiency for organic vapours I. A strategy for selecting test compounds, *Carbon* 40, 2002, 2861-2869.
- [11] Głazka A., Wardal W. J., Romaniuk W., Domasiewicz T., *Biogazownie rolnicze*, Monografia, MULTICO Oficyna Wydawnicza, Warszawa 2010.
- [12] Hamawand I.; Anaerobic digestion process and bio-energy in meat industry: A review and a potential, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 44, 2015, 37-51.
- [13] Hernández S.P., Scarpa F., Fino D., Conti R.; Biogas purification for MCFC application, *International Journal of Hydrogen Energy* 36, 13, 2011, 8112-8118.
- [14] Igliński B., Buczkowski R., Cichosz M.; Biogas production in Poland – Current state, potential and perspectives, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 50, 2015, 686-695.
- [15] Jędrzak A., *Biologiczne przetwarzanie odpadów*, Wyd. PWN, Warszawa 2007, 186-190, ISBN 978-83-01-15166-9.

- [16] Kalda G., Fornagiel A.; Ochrona środowiska i racjonalne zużycie energii, *Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury*, XXXI, 61 (1/14), 2014, 67-84, DOI:10.7862/rb.2014.5.
- [17] Kujawski O.; Przegląd technologii produkcji biogazu cz. I, *Czysta Energia* 12, 2009, dostęp online <http://www.cire.pl/pliki/2/TechnologieKujawski1.pdf>. {dostęp 17.10.2015 r.}
- [18] Kwaśny J., Balcerzak W.; Characteristics of selected indirect methods of reducing the emission of odors, *Archives of Waste Management and Environmental Protection*, 16, 4, 2014, 125-134.
- [19] Kwaśny J., Banach M., Kowalski Z., Przegląd technologii produkcji biogazu różnego pochodzenia, *Czasopismo Techniczne seria Chemia, 2-Ch*, 2012, 17, 109, 83-102, ISSN 0011-4561.
- [20] Lakhout A., Schirmer W.N., Johnson T.R., Cabana A., Cabral A.R.; Evaluation of the efficiency of an experimental biocover to reduce BTEX emissions from landfill biogas, *Chemosphere* 97, 2014, 98-101.
- [21] Micoli L., Bagnasco G., Turco M., H₂S removal from biogas for fuelling MCFCs: New adsorbing materials, *International Journal of Hydrogen Energy* 39, 2014, 1783-1787.
- [22] Nemati M., Harrison S.T.L., Hansford G.S., Webb C.; Biological oxidation of ferrous sulphate by *Thiobacillus ferrooxidans*: a review on the kinetic aspects, *Biochemical Engineering Journal*, 1, 1998, 171-190.
- [23] Piwowar A., Dzikuć M., Adamczyk J.; Agricultural biogas plants in Poland – selected technological, market and environmental aspects, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 58, 2016, 69-74.
- [24] Pozyskiwanie i energetyczne wykorzystanie biogazu rolniczego, pod red. Głodek E., Wyd. Instytut Śląski, Opole 2007.
- [25] Ramos I., Fdz-Polanco M.; Microaerobic control of biogas sulphide content during sewage sludge digestion by using biogas production and hydrogen sulphide concentration, *Chemical Engineering Journal* 250, 2014, 303-311.
- [26] Ramos I., Pérez R., Reinoso M., Torio R., Fdz-Polanco M.; Microaerobic digestion of sewage sludge on an industrial-pilot scale: The efficiency of biogas desulphurisation under different configurations and the impact of O₂ on the microbial communities, *Bioresource Technology* 164, 2014, 338-346.
- [27] Rey M.D., Font R., Aracil I.; Biogas from MSW landfill: Composition and determination of chlorine content with the AOX (adsorbable organically bound halogens) technique, *Energy* 63, 2013, 161-167.
- [28] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1069/2009 z dnia 21 października 2009 r. określające przepisy sanitarne dotyczące produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego, nieprzeznaczonych do spożycia przez ludzi, i uchylające rozporządzenie (WE) nr 1774/2002.
- [29] Sheets J.P., Ge X., Li Y.-F., Yu Z., Li Y.; Biological conversion of biogas to methanol using methanotrophs isolated from solid-state anaerobic digestate, *Bioresource Technology* 201, 2016, 50-57.
- [30] Sisani E. et al.; Adsorptive removal of H₂S in biogas conditions for high temperature fuel cell systems, *International Journal of Hydrogen Energy* 39, 2014, 21753-21766.

- [31] Sun Q. et al.; Selection of appropriate biogas upgrading technology-a review of biogas cleaning, upgrading and utilization, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 51, 2015, 521-532.
- [32] Surita S.C., Tansel B.; Preliminary investigation to characterize deposits forming during combustion of biogas from anaerobic digesters and landfills, *Renewable Energy* 80, 2015, 674-681.
- [33] Verrielle M., Allam N., Depelchin L., Le Coq L., Locoge N.; Improvement in 8h-sampling rate assessment considering meteorological parameters variability for biogas VOC passive measurements in the surroundings of a French landfill, *Talanta* 144, 2015, 294-302.
- [34] Xydis G., Nanaki E., Koroneos C.; Exergy analysis of biogas production from a municipal solid waste landfill, *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 4, 2013, 20-28.
- [35] Żarczyński A., Rosiak K., Anielak P., Wolf W.; Praktyczne metody odsiarczania biogazu z siarkowodoru. Cz. 1. Zastosowanie sorbentów stałych, *Acta Innovations* 12, 2014, 24 – 34, ISSN 2300-5599.

BIOGAS AND CHARACTERISTICS OF ITS SELECTED DESULPHURIZATION METHODS

Summary

In this article, based on the literature, the issues of obtaining biogas and its desulphurization were discussed. Biogas is a renewable source of energy that is produced by anaerobic fermentation of various origins biomass. Depending on the type of feedstock used in the process, chemical composition of obtained gas mixture is changed. Must be remembered that sourced raw biogas contains only an average of 60% vol. methane and other ingredients are CO₂, water vapor, hydrogen sulfide, NH₃, siloxanes and others. Biogas is divided into landfill biogas, agricultural biogas, biogas extracted from sewage sludge and biogas which is produced by processing waste from the food industry. The presence of gases other than methane in the raw biogas, reduce its potential energy and limits possibility of its application. These gaseous substances are the impurities which have a negative impact on the environment (CO₂) and are corrosive with respect to the apparatus (mainly H₂S). To improve the performance of the biogas its desulfurization, purification and treatment should be carried out. The obtained biogas has properties as natural gas and can be pumped into the gas infrastructure network. Desulfurization of biogas involves removing or reducing the amount of hydrogen sulfide in the gas mixture. Desulphurization methods can be divided into biological oxidation, wet methods and the adsorption method.

Keywords: landfill biogas, adsorbents, biological methods, removal of hydrogen sulfide, activated carbon, zeolites

Przesłano do redakcji: 30.10.2015 r.

Przyjęto do druku: 1.03.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.116

Edyta ŁASKAWIEC¹
Joanna WYCZARSKA-KOKOT²
Mariusz DUDZIAK³

ANALIZA JAKOŚCI WODY BASENOWEJ W OBIEGACH O RÓŻNYCH ROZWIĄZANIACH UKŁADÓW FILTRACYJNYCH

W pracy przedstawiono wyniki analiz fizykochemicznych oraz ocenę toksykologiczną wody z sześciu obiegów basenowych. Podstawową różnicą w zastosowanych technologiach wody obiegowej jest sposób jej filtracji. Do oceny jakościowej wybrano filtry ciśnieniowe o wypełnieniu piaskowo-antracytowy oraz z Aktywnego Szkla Filtracyjnego AFM[®], a także filtr podciśnieniowy z ziemią krzemkową. Ponadto obiekty badań charakteryzowały się zróżnicowanym przeznaczeniem niecek basenowych. Ocenę toksykologiczną przeprowadzono w oparciu o test inhibicji bioluminescencji bakterii - Microtox[®] oraz biotest przeżywalności skorupiaków *Daphnia magna*. Analiza fizykochemiczna próbek wody basenowej wskazuje na duże zróżnicowanie jej jakości. W większości punktów poboru próbek wody stwierdzono stężenia chloru wolnego i związanego przekraczające wartości dopuszczalne, określone w DIN 19643 oraz rozporządzeniu Ministra Zdrowia. Wyniki przeprowadzonych biotestów wskazują na wysoką toksyczność wody basenowej w stosunku do organizmów testowych. Wrażliwość użytych organizmów wskaźnikowych na związki występujące w badanych próbkach była zbliżona. Wsparcie analizy fizykochemicznej przy pomocy narzędzi toksykologicznych umożliwia pełniejszy opis jakości wody basenowej. Przedstawione wyniki badań pokazują, że zachowanie odpowiedniej jakości wody basenowej, zgodnej z rygorystycznymi wymaganiami w tym zakresie stanowi duże wyzwanie dla wielu zarządców obiektów basenowych. Szczególnie wyraźnym problemem jest przekraczanie norm chloramin.

Słowa kluczowe: wskaźniki fizykochemiczne, chloraminy, ocena toksykologiczna, klasyfikacja toksykologiczna

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Edyta Łaskawiec, Politechnika Śląska, Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, ul. Stanisława Konarskiego 18, 44-100 Gliwice tel. 322371698; edyta.laskawiec@polsl.pl

² Joanna Wyczarska-Kokot, Politechnika Śląska, Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, ul. Stanisława Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, tel. 322371698; joanna.wyczarska-kokot@polsl.pl

³ Mariusz Dudziak, Politechnika Śląska, Instytut Inżynierii Wody i Ścieków, ul. Stanisława Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, tel. 322371698; mariusz.dudziak@polsl.pl

1. Wprowadzenie

Stopień zanieczyszczenia wody basenowej zależy przede wszystkim od obciążenia basenu osobami kąpiącymi się. Ponieważ głównym procesem w systemie uzdatniania wody basenowej jest filtracja, jej sprawność powinna zapewnić jakość wody zgodną z przyjętymi wytycznymi niezależnie od zastosowanej technologii oraz obciążenia niecki basenowej [1-3]. W trakcie filtracji zachodzi przede wszystkim oddzielanie części stałych na powierzchni i wewnątrz złoża filtracyjnego, któremu mogą towarzyszyć dodatkowe chemiczne i biologiczne procesy. Pozwala to na usunięcie mętności, zawiesin oraz mikroorganizmów [4, 5]. Filtry mogą być projektowane zarówno jako urządzenia otwarte, jak i zamknięte, działające w systemie podciśnieniowym lub ciśnieniowym.

Dobór odpowiedniej technologii wody basenowej zależy od wielu czynników, a każdy obiekt stanowi indywidualny przypadek. Gwarancją uzyskania wymaganej jakości wody basenowej zgodnej z bardzo rygorystycznymi wymaganiami sanitarno-higienicznymi w tym zakresie oprócz nowoczesnej technologii są kontrola jej jakości i prawidłowa eksploatacja basenu.

Opublikowane w grudniu 2015 roku Rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie wymagań jakim powinna odpowiadać woda na pływalniach (Dz. U. 2015. poz. 2016) w sposób szczegółowy reguluje zakres podstawowych parametrów jakości wody basenowej, częstość poboru próbek wody oraz metody ich badania. Mając na uwadze te wymagania wielu właścicieli obiektów basenowych zostało zmuszonych do weryfikacji skuteczności systemów uzdatniania wody.

Celem niniejszej pracy jest porównanie sprawności działania różnych rozwiązań filtrów basenowych, w oparciu o analizę fizykochemiczną podstawowych parametrów dla próbek pobranych w wybranych etapach uzdatniania wody basenowej. Ocenę jakości fizykochemicznej próbek wody prowadzono w oparciu o aktualnie stosowane w tym zakresie standardy [1-3]. Ponadto dla części z badanych obiegów wykonano ocenę toksykologiczną z wykorzystaniem biotestu bakteryjnego Microtox[®] oraz testu przeżywalności skorupiaków *Daphnia magna*, która miała na celu określenie wpływu chloru oraz jego związków na organizmy testowe [6].

2. Metodyka badań

2.1. Charakterystyka badanych obiektów basenowych

Przedmiotem badań były próbki wody pobrane z niecek, ze zbiorników przelewowych, z kurków probiecznych przed i po filtrach lub po dezynfekcji, w trakcie codziennej eksploatacji basenów. Wszystkie badane obiekty charakteryzują się wysokim obciążeniem lusta wody osobami kąpiącymi się. W przykładowo przypadku niecki do nauki pływania jest to od 9 do 22 osób na godzinę. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe informacje o badanych basenach.

Tabela 1. Charakterystyka badanych obiegów basenowych i stosowanej technologii filtracji

Table 1. The characteristics of swimming pool waters circulations and filtration technology

Obiekt basenowy	Numer obiegu	Rodzaj basenu	Powierzchnia lustra wody [m ²]	Technologia filtracji	Wydajność filtra [m ³ /h]
Szkolna pływalnia kryta	1	basen do nauki pływalnia	90	filtr ciśnieniowy piaskowo-antracytowy	23
Basen kryty 1	2	wanny z hydromasażem	4,15	filtr ciśnieniowy piaskowo-antracytowy	30
	3	tunel wodny	4,15	filtr ciśnieniowy piaskowo-antracytowy	30
Basen kryty 2	4	basen rekreacyjny + 2 wanny z hydromasażem	156,2	filtr podciśnieniowy z ziemią okrzemkową	116
	5	basen pływakcki	400	filtr podciśnieniowy z ziemią okrzemkową	178
	6	brodzik dla dzieci	29,9	filtr ciśnieniowy ze złożem szklanym AFM [®]	22

We wszystkich badanych obiegach wody basenowej filtracja jest podstawowym procesem uzdatniania. Woda do nieszczelników doprowadzana jest systemem dennych lub bocznych dysz z regulowanym przepływem. Natomiast odprowadzanie odbywa się poprzez rynny przelewowe do zbiorników przelewowych, w których straty wody powstałe w wyniku rozchlapywania, parowania, czy płukania filtrów uzupełniane są świeżą wodą wodociągową. Woda następnie pompowana jest do zespołu filtrów. W przypadku filtracji ciśnieniowej do rurociągu przed filtrami dozowany jest koagulant (najczęściej hydroksychlorek glinu). Oczyszczona woda jest podgrzewana w wymiennikach ciepła, poddawana dezynfekcji i korekcie pH. Rozpatrywane obiekty basenowe są wyposażone w automatyczne układy kontroli jakości wody (temperatura, redox, pH, chlor wolny).

2.2. Procedura analityczna oraz ocena toksykologiczna

Analizy fizykochemiczne obejmowały pomiar odczynu (pH), przewodności właściwej, absorbancji w nadfiolecie przy długości fali 254 nm, stężenia chloru wolnego i całkowitego, oraz azotu amonowego i azotanowego w próbkach wody basenowej. Pomiar stężenia chloru, metodą kolorymetryczną, wykonano przenośnym urządzeniem Pocket ColorimeterTM II firmy Hach[®]. Stężenia azotu azotanowego oraz amonowego określono przy użyciu testera photolyser 400 (Dinotec). Pomiar przewodności właściwej oraz pH próbek wody wykonano miernikiem wieloparametrowym inoLab[®] 740 (WTW, Pomiarowy i Analityczny

Sprzęt Techniczny). Absorbancję mierzono z użyciem UV VIS Cecil 1000 firmy Analytik Jena AG, przy długości drogi optycznej kuwety $d = 1\text{cm}$. Wartość absorbancji przy długości fali 254 nm wyznaczono w oparciu o metodę pomiaru absorbancji w nadfiolecie UV_{254} , zgodnie ze standardami przyjętymi przez US EPA [7], a ostateczny wynik analizy zestawiono jako UV_{254} w m^{-1} .

Wodę w wybranych obiegach basenowych poddano ocenie toksykologicznej z wykorzystaniem testu bakteryjnego Microtox[®], który pozwala na określenie wielkości efektu toksycznego na podstawie inhibicji bioluminescencji bakterii *Aliivibrio fischeri*. Biotest został przeprowadzony w oparciu o procedurę Screening Test systemu MicrotoxOmni w analizatorze Microtox Model 500 firmy Tigret Sp. z o. o. pełniącym rolę zarówno inkubatora, jak i fotometru. Procent inhibicji względem próby kontrolnej zawierającej bakterie nie poddane działaniu potencjalnego toksykanta, zmierzono po 5 i 15 minutowym czasie ekspozycji.

Test toksyczności w wykorzystaniu skorupiaków *Daphnia magna* przeprowadzono według metodyki własnej w oparciu o zalecenia OECD [8]. Organizmy pochodziły z hodowli testowej. Do przeprowadzenia testu wykorzystano po 10 cm^3 próbek wód basenowych, które umieszczono w dołkach testowych, a następnie wprowadzono do nich nowonarodzone skorupiaki. Płytki inkubowano w temperaturze 20°C w ciemności. Określenia liczby unieruchomionych i uśmierconych organizmów dokonano po 24 oraz 48 godzinach. Dla każdej z próbek wód basenowych oraz próby kontrolnej stanowiącej standardową pożywkę do hodowli *Daphnia magna*, obliczono procentowy efekt toksyczności.

Przeprowadzona ocena toksykologiczna miała miejsce w odpowiednim odstępie czasu (3 doby) zapewniającym zminimalizowanie wpływu chloru wolnego na procesy metaboliczne i funkcje życiowe organizmów wykorzystywanych w biotestach.

Klasyfikacji toksyczności próbek wody basenowej dokonano w oparciu o system opisany przez Persoone'a i in., wykorzystujący wielkość obserwowanego efektu toksycznego u organizmu wskaźnikowego (Tabela 2) [9]. Wyniki oceny toksykologicznej przedstawiono w formie wykresów słupkowych (Rys. 1÷6).

Tabela 2. System klasyfikacji toksyczności, na podstawie [9]

Table 2. The classification system for toxicity, based on [9]

Efekt [%]	Klasa toksyczności
< 25	nietoksyczna
25÷50	niska toksyczność
50,1÷75	toksyczna
75,1÷100	wysoka toksyczność

3. Wyniki badań

3.1. Analiza fizykochemiczna

W tabelach 3 ÷ 8 przedstawiono wyniki analizy fizykochemicznej dla poszczególnych obiegów. W większości próbek wody pobranych z obiegów z filtrami piaskowo-antracytowymi (obiegi nr 1-3) wartości pH oraz przewodnictwa właściwego odpowiadały zalecanym wartościom ustalonym w rozporządzeniach [1-3]. Podwyższone wartości przewodności odnotowano dla próbek pobranych z obiegu wanny z hydromasażem (Tabela 4). Przyczyną może być bliska odległość od drugiej wanny z hydromasażem, która jest wypełniona solanką. Dochodzić może do przenoszenia resztek soli na ciele oraz ubraniach osób kąpiących się do wanny z wodą słodką. Wartość absorbancji w nadfiolecie w poszczególnych obiegach wykazywała zróżnicowane wartości. W przypadku obiegów basenu do nauki pływania (Tabela 3) oraz wanny z hydromasażem (Tabela 4) nie odnotowano podwyższonych wartości, co świadczy o niewielkim udziale związków zawierających pierścienie aromatyczne, które mogą się przyczynić do powstawania niebezpiecznych dla zdrowia ubocznych produktów dezynfekcji. W przypadku obiegu tunelu wodnego (Tabela 5) próbka pobrana jako prefiltrat charakteryzowała się wysoką wartością absorbancji, wynoszącą $109,90 \text{ m}^{-1}$, co mogło być spowodowane dużą ilością zawieszin obecnych w próbce. Ponadto wartość absorbancji na poziomie 12 m^{-1} w filtracie wskazuje na ryzyko zateżenia ubocznych produktów dezynfekcji w tym obiegu. Jest to wartość podwyższona w stosunku do danych przedstawionych w literaturze dla wody uzdatnionej [10]. Próbka pobrana, jako odpływ do kanalizacji stanowiła wodę technologiczną po procesie płukania, która była odprowadzana bezpośrednio do sieci kanalizacyjnej.

Tabela 3. Parametry fizykochemiczne wody w obiegu basenu do nauki pływania

Table 3. Physicochemical parameters of water in circulation swimming pool to learn swimming

Parametr	Jednostka	Miejsce poboru próbki wody			
		Niecka, głębokość 0,0 m	Niecka, głębokość 0,3 m	Po chlorowaniu	Odpływ do kanalizacji
Odczyn (pH)	[-]	7,80	7,50	7,47	7,40
Przewodnictwo właściwe	[$\mu\text{S}/\text{cm}$]	1509	1142	1470	1442
Absorbancja UV_{254}	[m^{-1}]	2,00	2,30	2,93	2,90
Chlor całkowity	[$\text{mgCl}_2/\text{dm}^3$]	1,14	0,99	0,91	0,51
Chlor wolny	[$\text{mgCl}_2/\text{dm}^3$]	0,58	0,27	0,48	0,03
Chlor związany	[$\text{mgCl}_2/\text{dm}^3$]	0,56	0,72	0,43	0,48
Azot amonowy	[$\text{mgN-NH}_4/\text{dm}^3$]	0,35	0,44	0,36	1,46
Azot azotanowy	[$\text{mgN-NO}_3/\text{dm}^3$]	17,00	21,00	13,00	24,00

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody na pływalniach stężenie chloru wolnego w nieckach basenowych nie powinno przekraczać $0,6 \text{ mgCl}_2/\text{dm}^3$, natomiast w wannach z hydromasażem $0,7-1,0 \text{ mgCl}_2/\text{dm}^3$ [3]. Próbkę wody pobrane z wanny z hydromasażem oraz tunelu wodnego wykazywały odpowiednio wartości $0,85$ oraz $0,97 \text{ mgCl}_2/\text{dm}^3$.

Tabela 4. Parametry fizykochemiczne wody w obiegu wanny z hydromasażem

Table 4. Physicochemical parameters of water in circulation for hot tubs

Parametr	Jednostka	Miejsce poboru próbki wody			
		Wanna z hydromasażem	Zbiornik przelewowy	Prefiltrat	Filtrat
Odczyn (pH)	[-]	7,45	7,51	6,81	7,02
Przewodnictwo właściwe	[$\mu\text{S}/\text{cm}$]	2549	2604	2565	2365
Absorbancja UV_{254}	[m^{-1}]	2,10	3,50	4,40	8,00
Chlor całkowity	[$\text{mgCl}_2/\text{dm}^3$]	1,37	0,89	0,65	0,57
Chlor wolny	[$\text{mgCl}_2/\text{dm}^3$]	0,85	0,53	0,40	0,15
Chlor związany	[$\text{mgCl}_2/\text{dm}^3$]	0,52	0,36	0,25	0,42
Azot amonowy	[$\text{mgN-NH}_4/\text{dm}^3$]	0,36	0,47	0,22	0,26
Azot azotanowy	[$\text{mgN-NO}_3/\text{dm}^3$]	33,00	44,00	33,00	43,00

Szczególnie wyraźnym problemem było utrzymanie wymaganego stężenia chloru związanego, którego wartość dopuszczalna w próbkach pobranych z niecki powinna wynosić $0,2 \text{ mgCl}_2/\text{dm}^3$ według [1] i $0,3 \text{ mgCl}_2/\text{dm}^3$ według [3]. W próbkach pobranych z niecki basenu do nauki pływalnia stężenie chloramin wyraźnie przekraczało normę, co mogło być związane np. z wysokim obciążeniem niecki osobami kąpiącymi się, niewystarczającym uzupełnianiem obiegów wodą wodociągową lub niską sprawnością przebiegu procesów uzdatniania wody [11, 12].

Ważnym zjawiskiem jest obniżenie stężenia chloru wolnego po procesie filtracji, które zaobserwowano na podstawie wartości dla prefiltratu i filtratu w obiegu wanny z hydromasażem, czego przyczyną może być absorpcja na antracycie. Jednocześnie wzrosło stężenie chloramin co związane jest z wiązaniem zanieczyszczeń organicznych na drodze przepływu wody przez złożo.

Kolejnym ważnym wskaźnikiem jest stężenie azotu amonowego w wodzie basenowej, ponieważ stosunek ilościowy jaki tworzy z chlorem wolnym ma zasadniczy wpływ na rozkład stosunku ilościowego mono-, di- i trichloraminy oraz chlorowcopochodnych azotowych związków organicznych [11-13]. Według DIN 19643 maksymalna zawartość azotu amonowego w nieckach basenowych wynosi $0,5 \text{ mgN-NH}_4/\text{dm}^3$. Oznacza to, że wszystkie z próbek pobranych z pierwszych trzech przedstawionych obiegów spełniały wymóg normy w tym

zakresie [1]. Ponadto na podstawie stosunków stężeń $\text{Cl}_2/\text{N-NH}_4$ można przypuszczać, że w próbce pobranej z niecki tunelu wodnego dominowała dichloramina ($\text{Cl}_2/\text{N-NH}_4 = 4,85$), z kolei w próbce pobranej z basenu do nauki pływania na głębokości 0,3 m dominowała monochloramina, przy stosunku ilościowym $\text{Cl}_2/\text{N-NH}_4 = 0,61$.

Maksymalne stężenie azotu azotanowego regulowane jest zarówno przez normę DIN 19643, jak i Rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody na pływalniach i wynosi $20 \text{ mgN-NO}_3/\text{dm}^3$ ponad wartość zmierzoną w wodzie uzupełniającej obieg wody [1, 3]. Wyraźne przekroczenie stężenia azotu azotanowego miało miejsce we wszystkich próbkach wody pobranych z obiegów wanny z hydromasażem oraz tunelu wodnego. Ponadto wysoka zawartość związków azotu (V) w filtratach może przyczyniać się do zateżnienia chlorowcopochodnych azotowych w obiegu wody basenowej.

Tabela 5. Parametry fizykochemiczne wody w obiegu basenu tunelu wodnego

Table 5. Physicochemical parameters of water in circulation for water tunnel pool

Parametr	Jednostka	Miejsce poboru próbki wody			
		Niecka	Zbiornik przelewowy	Prefiltrat	Filtrat
Odczyn (pH)	[-]	7,28	7,85	6,23	6,90
Przewodnictwo właściwe	[$\mu\text{S}/\text{cm}$]	1533	1590	2394	1540
Absorbancja UV_{254}	[m^{-1}]	4,00	4,70	109,90	12,50
Chlor całkowity	[$\text{mgCl}_2/\text{dm}^3$]	1,18	0,76	0,02	0,02
Chlor wolny	[$\text{mgCl}_2/\text{dm}^3$]	0,97	0,32	0,00	0,01
Chlor związany	[$\text{mgCl}_2/\text{dm}^3$]	0,21	0,44	0,02	0,01
Azot amonowy	[$\text{mgN-NH}_4/\text{dm}^3$]	0,20	0,35	1,95	0,30
Azot azotanowy	[$\text{mgN-NO}_3/\text{dm}^3$]	66,00	61,00	77,00	110,00

Próbki wody basenowej pobrane z dwóch obiegów wyposażonych w filtry z ziemią okrzemkową (obiegi nr 4 i 5) charakteryzowały się zarówno wyższymi wartościami pH, jak i przewodnictwa właściwego w stosunku do próbek pobranych z obiegów wyposażonych w filtry piaskowo-antracytowe (Tabela 6 i 7). Jednak zarówno w przypadku próbek wody pobranych z niecki rekreacyjnej, jak i pływakiej standardy jakości zostały zachowane. Nieznacznie podwyższone wartości przewodnictwa właściwego odnotowano w próbkach wody pobranych z wanny do hydromasażu, zbiornika przelewowego oraz filtratu. Wartość absorbancji w nadfiolecie w próbkach pobranych ze wspólnego obiegu basenu rekreacyjnego i wani do hydromasażu była podwyższona w stosunku do wartości przyjmowanych dla wody po procesie uzdatniania [10].

Tabela 6. Parametry fizykochemiczne wody w obiegu basenu rekreacyjnego oraz wanien z hydromasażem

Table 6. Physicochemical parameters of water in circulation of recreational swimming pool and hot tubes

Parametr	Jednostka	Miejsce poboru próbki wody				
		Niecka, głębokość 0,0 m	Niecka, głębokość 0,3 m	Wanna z hydromasażem	Komora filtra	Filtrat
Odczyn (pH)	[-]	7,38	7,42	7,88	8,11	7,42
Przewodnictwo właściwe	[$\mu\text{S}/\text{cm}$]	2245	2001	3062	4562	2805
Absorbancja UV_{254}	[m^{-1}]	11,50	10,40	10,8	11,80	11,40
Chlor całkowity	[$\text{mgCl}_2/\text{dm}^3$]	2,05	2,00	1,73	2,06	2,07
Chlor wolny	[$\text{mgCl}_2/\text{dm}^3$]	0,65	0,65	0,17	0,58	0,55
Chlor związany	[$\text{mgCl}_2/\text{dm}^3$]	1,40	1,35	1,56	1,48	1,52
Azot amonowy	[$\text{mgN-NH}_4/\text{dm}^3$]	0,26	0,20	0,28	1,96	0,31
Azot azotanowy	[$\text{mgN-NO}_3/\text{dm}^3$]	3,92	4,65	8,52	12,00	14,00

Tabela 7. Parametry fizykochemiczne wody w obiegu basenu pływackiego

Table 7. Physicochemical parameters of water in circulation of swimming pool

Parametr	Jednostka	Miejsce poboru próbki wody			
		Niecka, głębokość 0,0 m	Niecka, głębokość 0,3 m	Komora filtra	Filtrat
Odczyn (pH)	[-]	7,72	7,60	7,58	7,56
Przewodnictwo właściwe	[$\mu\text{S}/\text{cm}$]	2023	1985	3762	1923
Absorbancja UV_{254}	[m^{-1}]	3,80	3,60	4,60	4,20
Chlor całkowity	[$\text{mgCl}_2/\text{dm}^3$]	1,44	1,68	1,67	1,57
Chlor wolny	[$\text{mgCl}_2/\text{dm}^3$]	0,63	0,70	0,69	0,77
Chlor związany	[$\text{mgCl}_2/\text{dm}^3$]	0,81	0,98	0,88	0,90
Azot amonowy	[$\text{mgN-NH}_4/\text{dm}^3$]	0,29	0,24	0,45	0,32
Azot azotanowy	[$\text{mgN-NO}_3/\text{dm}^3$]	4,20	4,08	4,16	4,74

Stężenia chloru wolnego w próbkach wody pobranych z niecek rekreacyjnej oraz pływackiej przekraczały normy zalecane wartości [3]. Największe przekroczenia wartości dopuszczalnych stwierdzono w przypadku stężeń chloru związanego w niecce rekreacyjnej oraz wannie z hydromasażem. Stężenia te wyniosły odpowiednio $1,35 \text{ mgCl}_2/\text{dm}^3$ i $1,40 \text{ mgCl}_2/\text{dm}^3$ oraz $1,56 \text{ mgCl}_2/\text{dm}^3$. Mniejsze stężenia chloramin odnotowano w niecce pływackiej ($0,81 \text{ mgCl}_2/\text{dm}^3$ i $0,98 \text{ mgCl}_2/\text{dm}^3$), jednak nadal znacząco przekraczające wartość określoną

w rozporządzeniu [3]. Podobne stężenia chloru związanego występowały w pobranych próbkach filtratów (Tabela 6 i 7).

Ostatnim z badanych obiegów basenowych był obieg brodzika dla dzieci (obieg nr 6) wyposażony w filtr ze złożem szklanym (AFM[®]), (Tabela 8). Na podstawie analizy próbki wody z niecki oraz filtratu, stwierdzono że wartości pH, przewodnictwa właściwego oraz absorbancji w nadfiolecie spełniają wymagania jakości w tym zakresie [2, 3, 10]. Stężenie chloru wolnego w obu badanych próbkach było zbliżone do wartości maksymalnej określonej w DIN 19643 czyli 0,6 mgCl₂/dm³. Należy zwrócić uwagę, że według rozporządzeniu Ministra Zdrowia w nieckach basenowych udostępnionych do nauki pływania dla niemowląt i małych dzieci do lat 3, stężenie chloru wolnego powinno mieścić się w granicach 0,3 mgCl₂/dm³ ÷ 0,4 mgCl₂/dm³. Natomiast zawartość chloramin przekroczyła ponad dwukrotnie wymaganą w DIN 19643 i rozporządzeniu Ministra Zdrowia wartość maksymalną. Zarówno stężenie azotu amonowego, jak i azotanowego w badanych próbkach odpowiadało wymaganiom określonym dla pływalni [1-3]. Ponadto na podstawie stosunku ilościowego chloru wolnego do azotu amonowego w próbce wody z niecki oraz filtracie (Cl₂/N-NH₄ = 2,32 oraz 2,09) stwierdzono, że w badanych próbkach przeważała monochloramina [11].

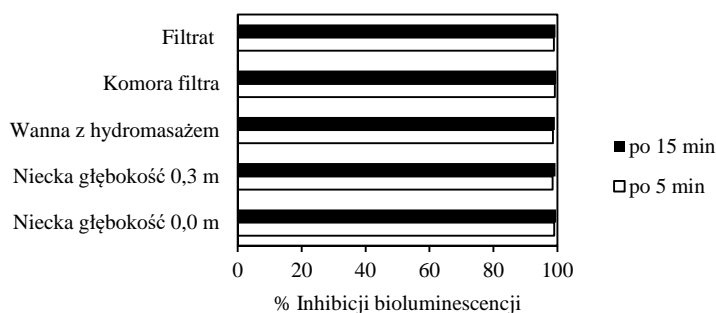
Tabela 8. Parametry fizykochemiczne wody w obiegu brodzik dla dzieci

Table 8. Physicochemical parameters of water in circulation of paddling pool for children

Parametr	Jednostka	Miejsce poboru próbek wody	
		Niecka	Filtrat
Odczyn (pH)	[-]	7,33	7,62
Przewodnictwo właściwe	[μS/cm]	1806	1852
Absorbancja UV ₂₅₄	[m ⁻¹]	2,10	1,70
Chlor całkowity	[mgCl ₂ /dm ³]	1,09	1,24
Chlor wolny	[mgCl ₂ /dm ³]	0,58	0,67
Chlor związany	[mgCl ₂ /dm ³]	0,51	0,57
Azot amonowy	[mgN-NH ₄ /dm ³]	0,25	0,32
Azot azotanowy	[mgN-NO ₃ /dm ³]	2,69	2,53

3.2. Ocena toksykologiczna

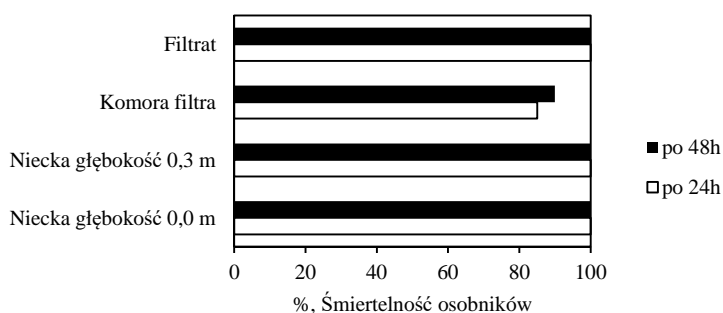
Ze względu na wysokie stężenia chloramin przeprowadzona ocena toksykologiczna obejmowała dwa obiegi: z filtrem z ziemią okrzemkową oraz z filtrem ze złożem szklanym. Na rys. 1 przedstawiono wyniki testu Microtox[®] dla wspólnego obiegu basenu rekreacyjnego i wanień z hydromasażem po czasie ekspozycji 5 oraz 15 minut. Wszystkie badane próbki wykazywały wysoką toksyczność w stosunku do organizmów testowych, inhibicja bioluminescencji bakterii w teście Microtox[®] po czasie ekspozycji 15 minut przekroczyła 99%.



Rys. 1. Inhibicja bioluminescencji w teście Microtox[®] w obecności próbek z wspólnego obiegu basenu rekreacyjnego i wanny z hydromasażem

Fig. 1. Inhibition of bioluminescence in Microtox[®] assay in the presence of water samples from common swimming pool water circulation recreational pool and hot tubes

Śmiertelność skorupiaków *Daphnia magna* (Rys. 2) po 48 godzinach od rozpoczęcia testu wyniosła 100%, aż w trzech z czterech próbek. Natomiast w próbce pobranej z komory filtra z ziemią okrzemkową odnotowano unieruchomienie u 90% organizmów testowych.



Rys. 2. Śmiertelność osobników *Daphnia magna* w obecności próbek wody pobranych z obiegu basenu rekreacyjnego i wanny z hydromasażem

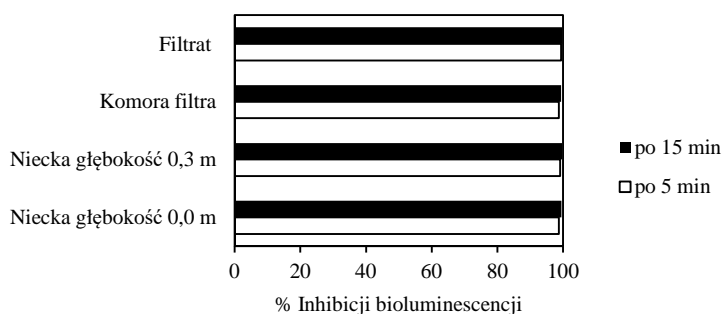
Fig. 2. Lethality of individuals *Daphnia magna* in the presence of water samples taken from common circulation recreational pool and hot tubes

Na podstawie wyników biotestów stwierdzono, że zarówno bakterie *Aliivibrio fischeri* jak i skorupiaki *Daphnia magna* są szczególnie wrażliwe na występujące w wodach basenowych związki chemiczne. Niższą śmiertelność osobników *Daphnia magna* w próbce pobranej z komory filtra może być związana z niższym stężeniem chloru wolnego, które w tym przypadku wynosiło $0,17 \text{ mgCl}_2/\text{dm}^3$. W pozostałych próbkach zawartość stężenie chloru wolnego wynosiło $0,55 \text{ mgCl}_2/\text{dm}^3$ i $0,65 \text{ mgCl}_2/\text{dm}^3$, co mogło przyczynić się do wyższej śmiertelności w efekcie powstawania ubocznych produktów dezynfekcji.

Na rys 3 i rys. 4 przedstawiono wyniki biotestów dla próbek pobranych z obiegu basenu pływackiego.

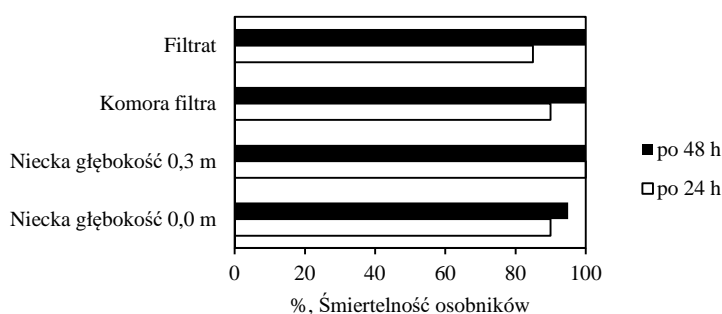
Inhibicja bioluminescencji wszystkich próbek wody po czasie ekspozycji 15 minut przekroczyła 99%. Również w teście ze skorupiakami *Daphnia magna* uzyskano wysokie wartości toksyczności. Próbki filtratu, wody z komory filtra oraz wody z niecki na głębokości 0,3 m spowodowały unieruchomienia 100% osobników po 48 godzinach ekspozycji. Próbka wody pobrana z niecki na poziomie lustra wody (0,0 m) przyczyniła się do 95% śmiertelności organizmów.

Powyższych zależności między wynikami testu śmiertelności *Daphnia magna* a stężeniem chloru wolnego nie zaobserwowano dla próbek pobranych z obiegu brodzika dla dzieci (Rys. 5). Śmiertelność organizmów testowych zarówno w próbce pobranej z niecki basenowej, jak i filtratu wyniosła 100%. Również w bio-teście Microtox® niższa wartość inhibicji bioluminescencji nie znajduje odzwierciedlenia w mniejszym stężeniu chloru wolnego (Rys. 6).



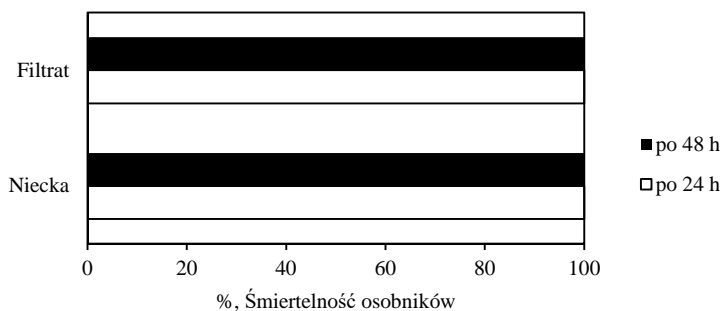
Rys. 3. Inhibicja bioluminescencji w teście Microtox® w obecności próbek z obiegu basenu pływackiego

Fig. 3. Inhibition of bioluminescence in Microtox® assay in the presence of water samples from swimming pool water circulation



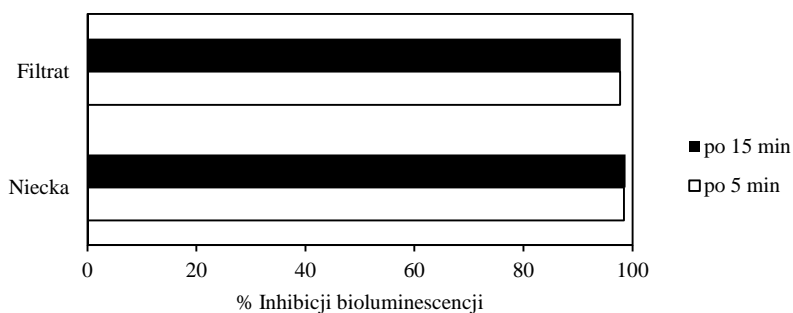
Rys. 4. Śmiertelność osobników *Daphnia magna* w obecności próbek z obiegu basenu pływackiego

Fig. 4. Lethality of individuals *Daphnia magna* in the presence of water samples taken from swimming pool water circulation



Rys. 5. Śmiertelność osobników *Daphnia magna* w obecności próbek z brodzika dla dzieci

Fig. 5. Lethality of individuals *Daphnia magna* in the presence of water samples taken from circulation of paddling pool for children



Rys. 6. Inhibicja bioluminescencji w teście Microtox[®] w obecności próbek z brodzika dla dzieci

Fig. 6. Inhibition of bioluminescence in Microtox[®] assay in the presence of water samples taken from circulation of paddling pool for children

Natomiast mniejsze stężenia chloru, w stosunku do próbek pobranych z obiegów basenu pływackiego i rekreacyjnego, wpłynęły na obniżenie wartości inhibicji bioluminescencji poniżej 99%, która to wartość dominowała we wcześniejszych opisanych obiegach.

Na podstawie przeprowadzonej oceny toksykologicznej stwierdzono, że substancje organiczne i nieorganiczne obecne w badanych próbkach były wysoko toksyczne dla wykorzystanych organizmów wskaźnikowych.

4. Podsumowanie

Jedynym obiegiem, który spełniał aktualne wytyczne co do jakości wody basenowej był obieg basenu do nauki pływania, w którym proces filtracji obejmował filtrację ciśnieniową w złożu wielowarstwowym. Najpoważniejszym problemem w pozostałych obiegach wody basenowej były bardzo wysokie stężenia chloramin, znacznie przekraczające wartości dopuszczalne. Najwyższą zawartość chloru związanego odnotowano we wspólnym obiegu basenu rekreacyjnego i wani z hydromasażem oraz w obiegu basenu pływackiego. W obu przypadkach systemy filtracji wyposażone są w podciśnieniowe filtry z ziemią okrzemkową. W żadnym z obiegów nie występowało przekroczenie wartości dopuszczalnych dla azotu amonowego, określonych w rozporządzeniu czy normie DIN 19643 [1, 3]. Natomiast znaczące przekroczenie stężenia azotu azotanowego występowało we wszystkich próbkach pobranych z obiegów z filtrami wielowarstwowymi, dla wanny z hydromasażem oraz tunelu wodnego.

Większość parametrów fizykochemicznych dla próbek wody pobranych z obiegu brodzika dla dzieci z filtrem ze szklanym złożem spełniało wymagania. Natomiast stężenie chloru związanego w próbkach pobranych z tego obiegu przekraczało dwukrotnie wartość określoną rozporządzeniem [3].

Przedstawione wyniki badań pokazują, że zachowanie odpowiedniej jakości wody basenowej, zgodnej z rygorystycznymi wymaganiami w tym zakresie stanowi duże wyzwanie dla wielu zarządców obiektów basenowych. Szczególnie ważne jest zapobieganie tworzeniu się dużych (ponad $0,3 \text{ mgCl}_2/\text{dm}^3$) stężeń chloramin, które odpowiedzialne są za tzw. zespół podrażnienia u pływaków, suchość skóry, podrażnienia śluzówki nosa, gardła i oczu, nadają wodzie basenowej i powietrzu w hali basenowej charakterystyczny nieprzyjemny zapach i posiadają właściwości mutagenne.

Przeprowadzona ocena toksykologiczna wskazuje również na potencjalnie wysoką szkodliwość badanej wody basenowej dla organizmów żywych, co spowodowane jest obecnością związków chemicznych występujących w próbkach.

Literatura

- [1] DIN 19643 Aufbereitung von Schwimm und Badebeckenwasser, Düsseldorf 1997.
- [2] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 roku w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia. Dz. U. 2015. poz. 1989.
- [3] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 9 listopada 2015 roku w sprawie wymagań, jakim powinna odpowiadać woda na pływalniach. Dz. U. 2015. poz. 2016.
- [4] Piechurski F.: Metody i systemy filtracji wody basenowej cz. 1., Pływalnie i Baseny, nr 5, 2010, s. 88-94.
- [6] Łaskawiec E., Dudziak M., Wyczarska-Kokot J.: Ocena toksykologiczna jakości wody krytego obiektu basenowego w: Współczesne problemy ochrony środowiska III, praca zbiorowa pod red. Pikonii K., Bogackiej M., Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, 2015, s. 193-202.

- [7] Potter B., Wimsatt J.: Determination of total organic carbon and specific UV absorbance at 254 nm in source water and drinking water". EPA Document, 2009, Method 415.3.
- [8] *Daphnia* sp., Acute Immobilisation Test and Reproduction Test, OECD Guideline for testing of chemicals. 1984, 202: pp. 1-16.
- [9] Persoone, G., Marsalek, B., Blinova, I., Torokne, A., Zarina, D., Manusadžianas, L., Nalecz-Jawecki, G., Tofan, L., Stepanova, N., Tothova, L., Kolar, B.: A practical and user-friendly toxicity classification system with microbiotests for natural waters and wastewaters, *Environmental Toxicology* 18 (6), 2003, pp. 395 - 402.
- [10] Nowacka A. Włodarczyk-Makula M.: Zmiany absorbancji w nadfiolecie (UV254) w wodzie w procesach uzdatniania, *LAB Laboratoria Aparatura Badania*, R. 17 nr.1, 2012, s. 28-31.
- [11] Świdarska-Bróż M., Kowal A. L., *Oczyszczanie wody. Podstawy teoretyczne i technologiczne, procesy i urządzenia*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.
- [12] Wyczarska-Kokot J., Porównanie stężeń chloramin w wodzie basenowej w zależności od funkcji basenu, *Proceedings of ECOpole*, vol. 9 no. 1, 2015, s. 357-363.
- [13] Wyczarska-Kokot J.: Analiza stężeń chloramin w wodzie basenowej. Praca zbiorowa pod red. Dymaczewski Z., Jeż-Walkowiak J., Nowak M.: *Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód*, Poznań, Toruń 2014, s. 951-963.

THE SWIMMING POOL WATER QUALITY ANALYSIS IN CYCLES OF VARIOUS FILTRATION SYSTEMS

Summary

The paper presents the results of physicochemical analyses and toxicological evaluation of swimming-pool water circuits. The primary difference in applied circuit water technologies is the method of its filtration. The following types of water filters were selected for qualitative assessment: pressure filters with anthracite and sand medium, and Activated Filter Material AFM[®], as well as vacuum filter using diatomaceous earth (DE). In addition, the research objects were used in pools of various applications. Toxicological evaluation of collected samples was carried out based on luminescence inhibition test (Microtox[®]) and *Daphnia magna* survival and growth test. Physicochemical analysis of samples of pool water indicates high diversity of its quality. In the vast majority of sampling points the concentration of free and combined chlorine was far above the limit values specified in DIN 19643 and regulation of the Minister of Health. The results of the conducted biotests indicate high toxicity of swimming pool water in relation to test organisms. Support of the physicochemical analysis with toxicological tools allows for a more complete description of pool water quality. The presented research results show that maintaining acceptable quality of swimming pool water, in accordance with stringent requirements in this regard, constitutes a major challenge for many managers of confined water objects. A particularly distinct problem is exceeded norms of chloramines that, in addition to its irritant action on the respiratory tract and mucous membranes of humans, also possess mutagenic properties.

Keywords: physico-chemical indicators, chloramine, toxicological assessment, toxicological classification

Przestano do redakcji: 20.04.2016 r.

Przyjęto do druku: 30.05.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.117

Katarzyna MAJ¹
Piotr KOSZELNIK²

METODY ZAGOSPODAROWANIA OSADÓW DENNYCH

Osady denne są nagromadzonym materiałem osadowym, który odkłada się systematycznie zmniejszając pojemność retencyjną zbiorników wodnych. Usuwanie osadów jest jedną z metod rekultywacji wód powierzchniowych. Wydobyte osady denne, które nie zawierają substancji szkodliwych mogą być wykorzystane lub odpowiednio składowane. Skład osadów dennych jest uzależniony od czynników naturalnych i antropogenicznych, głównie punktowych i obszarowych źródeł zanieczyszczeń. W wyniku procesów samooczyszczania się, znaczna część zanieczyszczeń z wód zbiorników wodnych przedostaje się do osadów dennych, gdzie są zatrzymywane. Z tego powodu skład osadów dennych i wód powierzchniowych są od siebie zależne. Zależność ta jest zauważalna szczególnie w przypadku zanieczyszczeń, które charakteryzują się małą rozpuszczalnością oraz trudno ulegające biodegradacji, takich jak sole metali ciężkich i trwałe związki organiczne. Wybór sposobu zagospodarowania osadów dennych jest zależny od ich właściwości chemicznych i fizycznych. Możliwe jest wykorzystanie niezanieczyszczonych osadów dennych przyrodniczo, w budownictwie i do produkcji energii cieplnej. W pracy przedstawiono możliwości wykorzystania osadów dennych oraz kryteria decydujące o sposobie ich zagospodarowania. Na podstawie omówionych kryteriów zaproponowano schemat postępowania z pozyskanymi osadami dennymi.

Słowa kluczowe: osady denne, zbiorniki wodne, jakość osadów dennych, zanieczyszczenia osadów dennych

1. Wprowadzenie

Osady denne to materiał osadowy wydobyty z dna rzek i zbiorników wodnych. Materiał zawieszony w wodzie sedymentuje, co powoduje powstanie materii osadowej. Jest to naturalny element ekosystemu wodnego zawierający za-

¹ Katarzyna Maj, Politechnika Rzeszowska, Zakład Inżynierii i Chemii Środowiska, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, 35-959 Rzeszów, al. Powstańców Warszawy 12, e-mail: kmaj@stud.prz.edu.pl

² Autor do korespondencji: Piotr Koszelnik, Politechnika Rzeszowska, Zakład Inżynierii i Chemii Środowiska, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, 35-959 Rzeszów, al. Powstańców Warszawy 12, tel. + 48 (017) 865 1065, e-mail: pkoszel@prz.edu.pl

równy substancje organiczne jak i nieorganiczne, naturalne jak i antropogeniczne. Nadmierne nagromadzenie osadów dennych przyczynia się do zmniejszenia pojemności oraz głębokości ograniczając walory użytkowe zbiorników wodnych. Ze względu na szybkie tempo nagromadzania się nadmiaru osadów dennych, zwłaszcza w małych zbiornikach wodnych, należy je okresowo usuwać [15,29,37].

Po każdym zabiegu bagrowania należy odpowiednio zagospodarować bądź unieszkodliwić pozyskane osady denne, w zależności od stopnia ich zanieczyszczenia. Zagospodarowanie osadów dennych może być skuteczną metodą na osiągnięcie zysków większych niż koszty poniesione przy usuwaniu osadów dennych ze zbiorników wodnych. Ze względu na częste zanieczyszczenia wydobytego materiału konieczne jest przeprowadzenie badań niezbędnych do oceny jakości osadów dennych, na podstawie których można rozważać warianty ich zagospodarowania, a w przypadku kiedy nie spełniają wymogów do ich składowania lub unieszkodliwiania [29,32].

Przedstawione metody wykorzystania osadów dennych zostały zaprezentowane w oparciu o dane literaturowe z ostatnich lat.

2. Kryteria klasyfikacji osadów dennych

Przed wykorzystaniem osadów ocenie poddawana jest ich jakość, co pozwala na rozdział osadów zanieczyszczonych od niezanieczyszczonych. Oceniając możliwości wykorzystania osadów dennych należy uwzględnić Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi [35], nieaktualne Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 kwietnia 2002 r. w sprawie rodzajów oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony [34] oraz Ustawę z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach [44]. Uwzględnienie do oceny osadów dennych nieaktualnego Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 16 kwietnia 2002 r. [34] jest uwarunkowane brakiem obecnie innej normy, która klasyfikowałaby osady denne pod kątem zanieczyszczenia substancjami szkodliwymi [20,41].

Zgodnie z Ustawą o odpadach [44] osady denne są uznawane za odpad. W załączniku nr 3 do tej Ustawy [44] zamieszczono wykaz właściwości, które decydują o tym czy odpad jest niebezpieczny. Identyfikacja co najmniej jednej z tych właściwości determinuje przyporządkowanie urobku do grupy odpadów niebezpiecznych. Podobnie należy postępować z załącznikiem nr 4 do tej samej Ustawy [44]. Na podstawie Katalogu odpadów załączonego do Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów [36] osady denne są przyporządkowane do właściwej grupy odpadów. Osady denne zawierające lub zanieczyszczone substancjami niebezpiecznymi są klasyfikowane jako odpad niebezpieczny o kodzie 17 05. Z kolei zapis art. 7 Ustawy o odpadach [44] umożliwia zmianę klasyfikacji odpadu niebezpiecznego na inny niż

niebezpieczny pod warunkiem wykazania, że dany odpad nie posiada właściwości charakteryzujących odpady niebezpieczne zdefiniowanych w załączniku nr 3 do Ustawy o odpadach [44]. Natomiast osady denne niezanieczyszczone substancjami niebezpiecznymi należą do odpadów o kodzie 17 05 06 (urobek z pogłębienia inny niż wymieniony w 17 05 05).

Rodzaje oraz dopuszczalne stężenia substancji, które mogą powodować, że osady denne pochodzące z pogłębienia zbiorników wodnych są zanieczyszczone ujęto w Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie rodzajów oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony [34]. Osady denne (urobek) są uważane za zanieczyszczone, jeżeli któryś wskaźnik osiągnie wartość równą lub większą niż dopuszczalna (Tabela 1).

Tabela 1. Rodzaje oraz stężenia substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony, na podstawie [34]

Table 1. The types and concentrations of substances that cause the dredged material is contaminated, based on [34]

Związek	Wartość dopuszczalna [mg/kg s.m.]	Związek	Wartość dopuszczalna [mg/kg s.m.]
metale		związki organiczne	
arsen	30	benzo(a)antracen	1,5
chrom	200	benzo(b)fluoranten	1,5
cynk	1000	benzo(k)fluoranten	1,5
kadmi	7,5	benzo(ghi)perpylen	1,0
miedź	150	benzo(a)piren	1,0
nikiel	75	dibenzo(a,h)antracen	1,0
ołów	200	indeno(1,2,3-c,d)ipiren	1,0
rtęć	1,0	Σ PCB	0,3

W odniesieniu do zapisów zawartych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi [35] należy uznać za zanieczyszczone osady denne gdzie przekroczone są dopuszczalne stężenia substancji ujęte w Załączniku do tego Rozporządzenia [35]. Rozporządzenie to uwzględnienia funkcje gleby i ziemi (w tym osadów dennych) aktualną i planowaną dla 3 rodzajów gruntów omówionych w tabeli 2. Przekroczenie wartości dopuszczalnej dla gruntów z grupy C powoduje, że osad denny nie jest klasyfikowany do zagospodarowania i dalsze postępowanie z nim należy oprzeć na zapisach Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 8 stycznia 2013 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu [33, 41].

Tabela 2. Grupy rodzajów gruntów zgodnie z RMS z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi, na podstawie [35]

Table 2. A group of types of land in accordance with RMS of 9 September 2002 on the quality of soil and earth quality standards, based on [35]

Grupa A
<ul style="list-style-type: none"> – obszary wodne poddane przepisom ustawy Prawo wodne i przepisom o ochronie przyrody; nieruchomości gruntowe wchodzące w skład obszaru poddanego ochronie na podstawie przepisów ustawy - Prawo wodne, – obszary poddane ochronie na podstawie przepisów o ochronie przyrody; jeżeli utrzymanie aktualnego poziomu zanieczyszczenia gruntów nie stwarza zagrożenia dla zdrowia lub środowiska – dla obszarów tych stężenia zachowują standardy wynikające ze stanu faktycznego, z zastrzeżeniem pkt. 2 i 3;
Grupa B
<ul style="list-style-type: none"> – grunty zaliczone do użytków rolnych z wyłączeniem gruntów pod stawami i gruntów pod rowami, grunty leśne oraz zadrzewione i zakrzewione, nieużytki, a także grunty zabudowane i zurbanizowane z wyłączeniem terenów przemysłowych, użytków kopanych oraz terenów komunikacyjnych;
Grupa C
<ul style="list-style-type: none"> – tereny przemysłowe, użytki kopalne, tereny komunikacyjne.

Na podstawie omówionych kryteriów opracowano schemat postępowania z osadami dennymi zaprezentowany na rysunku 1.

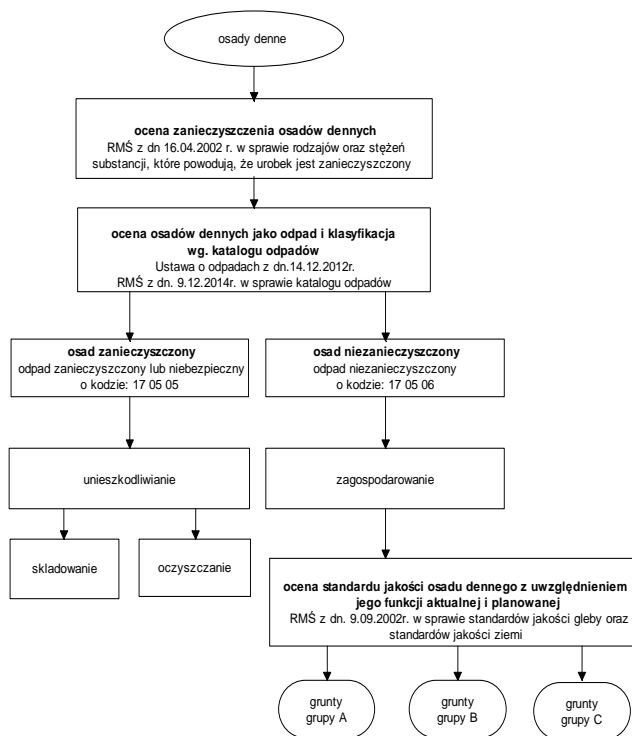
3. Kierunki zagospodarowania osadów dennych

Po ustaleniu na podstawie polskich norm prawnych [34-36, 44], że urobek jest odpadem innym niż niebezpieczny można rozpatrywać sposoby odzysku odpadu poprzez ich racjonalne zagospodarowanie. Należy uwzględnić sposób ich oddziaływania, przede wszystkim interpretując czy nie stwarzają dla środowiska zagrożenia przez uwalnianie substancji szkodliwych [37].

Główne kierunki zagospodarowania osadów dennych przedstawia rysunek 2.

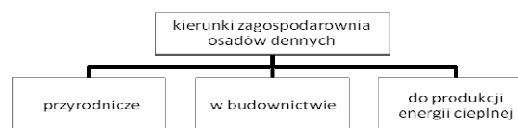
3.1. Zagospodarowanie przyrodnicze

Pozyskane w wyniku bagrowania osady denne mogą być wykorzystane przyrodniczo w rolnictwie do nawożenia i do rekultywacji terenów zdegradowanych [12]. Niektóre osady denne mogą pełnić funkcje naturalnych nawozów, ponieważ wydobyte z dna zbiorników wodnych oraz rzek są bogatym źródłem materii organicznej i łatwo przyswajalnych związków organicznych [8,13,31]. O ich wykorzystaniu do celów rolniczych decyduje zawartość metali ciężkich i zawartość przyswajalnych form Mg, K i P, które świadczą o żyzności osadów. Problemem przy ich stosowaniu do celów rolniczych może być duże zanieczyszczenie metalami ciężkimi i związkami organicznymi (jak pestycydy, WWA, PCB, substancje ropopochodne) [5,9,20,31].



Rys. 1. Proponowany schemat wykorzystania wydobytych osadów dennych [opracowanie własne]

Fig. 1. The proposed diagram of the dredged bottom sediment use [own elaboration]



Rys.2 . Główne kierunki zagospodarowania osadów dennych [opracowanie własne]

Fig.2. The main directions of bottom sediment the management of [own elaboration]

Nawozy wg Ustawy o nawozach i nawożeniu [43] są produktami, które dostarczają roślinom składników pokarmowych lub zwiększają żyzność gleby albo stawów rybnych, a za takie uznaje się nawozy mineralne, naturalne i organiczno-mineralne [43]. Podana we wspomnianej Ustawie [43] definicja nawozów naturalnych nie uwzględnia osadów dennych, dlatego przed ich zastosowaniem do celów nawozowych należy spełnić wymagania określone w RMS w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi [35].

Możliwości zagospodarowania w rolnictwie osadów dennych z różnych zbiorników z pozytywnym skutkiem rozpatrywali m.in.: Gałka i Witkowski [15], Madeyski i Tarnawski [27,28], Kozłowska i in. [25] czy Fonseca i in. [13]. Stanińska i in. [39] przeprowadzili badania oceniające osady denne jeziora Malta w kierunku ich rolniczego wykorzystania. Osady uznano za niezanieczyszczone, poziom koncentracji metali ciężkich zezwalał na wykorzystanie ich jako nawozu dla gleb rolnych ubogich w związki biogenne oraz materię organiczną [39]. Podobnie Bąk i in. [6] badali osady denne zbiornika wodnego w Kaniowie. Zawartości metali ciężkich zakumulowanych w osadach tego zbiornika zostały przekroczone jedynie w przypadku ołowiu, osady przyporządkowano pod względem chemicznym gruntem grupy B [35], więc mogły być wykorzystywane rolniczo.

Osady denne pochodzące ze zbiornika zaporowego w Rzeszowie badane przez Bartoszek i in. [4], nie spełniają wymagań stawianych do wykorzystania w rolnictwie, z uwagi na występujące w nich zanieczyszczenia i małą żyzność. Mogą być jednak użyte do rekultywacji gruntów na terenach nierolniczych. Natomiast analizy przeprowadzone przez Kuźdżał i in. [26] oraz Tomczuk i in. [42] wykazały nieprzydatność osadów dennych pochodzących z rzeki Kłodnicy oraz zbiornika Klimkówka do zastosowania rolniczego, ponieważ zostały zaklasyfikowane do gruntów grupy C wg RMS w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi [35].

Badania opisane w literaturze wskazują, że dodatek osadów dennych do gleb lekkich poprawia ich produktywność, wpływając na poprawę ich właściwości fizykochemicznych [12]. Pod takim kątem badania prowadzili Baran i in. [3], gdzie oceniono wpływ osadu dennego na zmiany wybranych właściwości fizykochemicznych gleby lekkiej. Badania prowadzono dla gleb piaszczysto słabogliniastych dodając do nich osady denne w stosunku 5% i 10% do suchej masy gleby. Osady denne pochodziły ze zbiornika retencyjnego w Zesławicach, ich jakość spełniała kryteria, zwłaszcza dotyczące metali ciężkich dla gleby i ziemi grupy B. Po 2 latach badań stwierdzono zmniejszenie zakwaszenia gleby oraz zwiększony stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami, w obu przypadkach odpowiednio o 5% i 10%.. Wykazano korzystny wpływ dodatku osadów dennych do gleby lekkiej z uwagi na jej neutralizację, co potwierdzają również badania przeprowadzone przez Arasimowicz i in. [1,2], Wiśniowska-Kielan i in. [45].

Badania przeprowadzone przez Jasiewicz i in. [19] pokazują pozytywny aspekt aplikacji osadów dennych do gleby lekkiej stanowiącej podłoże w uprawach kukurydzy, a mianowicie zmniejszenie bioakumulacji metali ciężkich: Cu, Cd, i Zn w biomacie. Dodatek osadu dennego w ilości 5% do gleby spowodował obniżenie zawartości metali ciężkich w części nadziemnej rośliny. Jednak dodatek osadu dennego uboższego w związki mineralne nie koniecznie musi wpłynąć korzystnie na wzrost plonów kukurydzy, jak miało to miejsce w badaniach przeprowadzonych przez Niemca [30].

Przykładem zastosowania osadów dennych do rekultywacji terenów jest renowacja parku dworskiego we Wrocławiu-Pawłowicach [14]. Osady denne

pochodzące z małych obiektów wodnych zlokalizowanych w tym parku zostały przebadane, nie stwierdzono w nich przekroczenia dopuszczalnych wartości zanieczyszczeń. Zagospodarowano je do niwelacji nierówności w parku i otuliny oraz dróg dojazdowych. Materiał ten posłużył jednocześnie od użyczenia gleb, nie zmieniając negatywnie warunków wzrostu drzew i krzewów.

3.2. Zagospodarowanie w budownictwie

Urobek pozyskany w wyniku bagrowania można zastosować jako materiał budowlany. Wydobyte osady dennie ze zbiorników wodnych mogą zastąpić naturalne grunty mineralne stosowane w budownictwie m.in.: do budowy nasypów hydrotechnicznych (w tym wałów przeciwpowodziowych), nasypów drogowych, do wykonywania przesłon mineralnych na składowiskach odpadów oraz budowy plaż i nabrzeży [17, 18, 24, 40].

Rozpoznanie udziału poszczególnych frakcji granulometrycznych oraz właściwości geotechnicznych osadów dennych jest ważne przy wyborze roli jaką mają pełnić w budownictwie. Wymogi odnośnie kryteriów, które powinny spełniać grunty do wykorzystania w budownictwie określają odpowiednie normy budowlane. Osad denny wykorzystywany w budownictwie musi spełniać kryteria geotechniczne dotyczące m.in.: wilgotności naturalnej, składu uziarnienia, granic konsystencji, gęstości właściwej, parametrów zagęszczenia (maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego i wilgotności optymalnej) współczynnika filtracji oraz parametrów wytrzymałości na ścinanie (kąta tarcia wewnętrznego i kohezji) [18, 24].

Bardzo ważnym kryterium ekonomicznym, które jest brane pod uwagę przy stosowaniu osadów dennych w budownictwie jest mała odległość ich położenia od miejsca budowy. Przykład takiego postępowania bardzo często jest spotykany przy budowie zapór ziemnych, gdzie technologie wznoszenia budowli dobiera się pod parametry materiałów miejscowych. Przy budowie zapór ziemnych kładzie się nacisk na jak największe wykorzystanie materiałów lokalnych, co znacznie obniża koszty inwestycyjne [19]. Przy budowie wałów przeciwpowodziowych kryteria wyboru skupiają się na dostępności materiału w przypadku konieczności napraw oraz utrzymania technicznego, dlatego często wykorzystuje się materiały miejscowe [37].

Budowa wałów przeciwpowodziowych z wykorzystaniem materiałów uznanych za odpady: osadów dennych, geosyntetyków oraz produktów spalania węgla była przedmiotem projektu Dredgdikes [46]. Projekt ten był realizowany w latach 2010-2014 przez zespół badawczy z Polski, Danii i Niemiec. Do celów doświadczalnych zbudowano wały badawcze w Niemczech w Maklemburgii-Pomorzu wykonane z mieszaniny urobku czerpalnego i geosyntetyków, zaś w Polsce z połączenia urobku czerpalnego i popiołożużli pochodzących ze spalania węgla [38]. Wykonawcy projektu pozytywnie ocenili wykorzystane materiały.

Zadaniem przesłon mineralnych jest zatrzymanie zanieczyszczeń w obrębie składowiska odpadów, przy jednoczesnym zapobieganiu przedostania się wód

infiltracyjnych z opadów. Przykładowe badania nad oceną przydatności osadów dennych do formowania przesłon mineralnych na składowiskach odpadów prowadziła Koś i Zawisza [22]. Osady pochodziły ze Zbiornika Rzeszowskiego, wykonano badania parametrów fizykochemicznych oraz geotechnicznych. Stwierdzono przydatność badanych osadów dennych do budowy przesłon mineralnych na składowiskach odpadów z pewnymi zastrzeżeniami. Zaproponowano polepszenie właściwości geotechnicznych badanych osadów dennych poprzez dodatek substancji stabilizujących. Podobne badania zostały wykonane na osadach dennych Jeziora Rożnowskiego przez Gwoździa [17,18]. Właściwości tych osadów spełniły odpowiednie kryteria i zostały ocenione jako materiał nadający się do wykorzystania przy budowie przesłon mineralnych na składowiskach odpadów.

Koś i Zawisza [23] badali przydatność osadów dennych ze Zbiornika Rzeszowskiego również pod kątem zastosowania w budownictwie drogowym. Osady denne stabilizowano cementem i wapnem w celu poprawy wytrzymałości na ściskanie. W przypadku stabilizacji cementem uzyskano wartości nie spełniające wymagań stawianych materiałom wykorzystywanym w budownictwie drogowym, zaś osady stabilizowane wapnem mogą być stosowane do dolnych warstw ulepszonego podłoża drogi. Natomiast Kozielska-Soroka i Chęć [24] przeanalizowały właściwości osadów dennych pochodzących z Jeziora Czorszyńskiego w aspekcie ich wykorzystania w budownictwie. Stwierdzono, że wysoki współczynnik filtracji pozwala na wykorzystanie osadów dennych do uszczelniania ziemnych budowli hydrotechnicznych, ale nie spełniają one kryteriów dopuszczalnych do użycia przy budowie nasypów drogowych i kolejowych ze względu na wysoki parametr granicy płynności.

3.3. Zagospodarowanie w celu produkcji energii cieplnej

Innym kierunkiem zagospodarowania osadów dennych jest energetyka. Możliwe jest pozyskanie energii z osadów dennych w procesie spalania lub przy produkcji biogazu. Warunkiem stosowania osadów jako paliwo jest minimalna wartość opałowa wynosząca 10 MJ/kg [10], która zapewnia opłacalność ekonomiczną. Korzystne jest użycie osadów dennych w procesie współspalania z innymi paliwami alternatywnymi lub osadami ściekowymi w celu podwyższenie kaloryczności. Osad denny może być wykorzystany do celów opałowych po wstępnej obróbce, która polega na odsączeniu wody, dodaniu biokomponentu (do 30% ilości wagowych) oraz materiału wiążącego jakim jest wapno (do 1÷4% ilości wagowych). Następnie całość jest wymieszana, przetworzona do formy granulatu, który po wysuszeniu nadaje się do wykorzystania [7].

Przeprowadzone przez Borsuka i in. [7] badania osadów dennych zbiornika Żur wykazały ich dużą wartość energetyczną. Oszacowano 80% zawartości materii organicznej w osadach, co przekłada się na wysoką wartość energetyczną ok. 14,5 MJ·kg⁻¹. Osady denne rozpatrywano w trzech warstwach w przekroju, przy czym stwierdzono, że najbardziej przydatne pod względem energetycznym

zalegają w środkowej części. Sprawdzano również zastosowanie osadów jako materiału wiążącego po dodaniu do biokomponentów (m.in.: ścier drzewny, trociny, wytloki), co pozwoliło na uzyskanie materiału opałowego o wysokich parametrach energetycznych ok. $18 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Oceniono korzystnie wykorzystanie osadów dennych jako materiału opałowego. Natomiast Działoszyńska-Wawrzekiewicz [10,11] prowadziła badania nad możliwością wykorzystania osadów dennych zanieczyszczonych mułem węglowym przez współspalanie w przemyśle cementowym i energetyce. Osady pochodziły ze zlewni rzeki Kłodnica zlokalizowanej w obszarze Górnośląskiego Obszaru Przemysłowego. Badania wykazały wysoką zawartość węgla w osadzie oraz brak zależności pomiędzy zawartością węgla a granulacją osadu. Wartości opałowa przy wilgotności średniej 30% wyniosła ponad $13 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Badania wykonane pod kątem zawartości metali ciężkich w odniesieniu do RMS w sprawie rodzajów oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony [34] kwalifikują osad jako zanieczyszczony. Osady oceniono jako spełniające normy do współspalania w przemyśle cementowym i energetyce.

Produkcja biogazu z osadów dennych jest możliwa z uwagi na posiadana przez nie dużą wartość opałową. Osady denne mogą być samoistnym źródłem gazów czego dowodzą m.in. Gruca-Rokosz [16] czy Kostecki i in. [21]. Kuźdzał i Cichy [26] badali gaz wydobywający się z osadów dennych silnie zanieczyszczzonego zbiornika zaporowego Dzierżno Duże. Analiza ilościowa i jakościowa składu gazu wykazała udział metanu w przedziale 73÷83%, dwutlenku węgla 4,5÷22%, azotu 3,9÷22,47%. Skład gazu był zależny od temperatury, proporcjonalnie do wzrostu temperatury wody od 7°C do 24°C wzrastała ilość metanu i azotu, natomiast udział dwutlenku węgla malał. Ogólna ilość wydzielonego gazu, z uwzględnieniem wahań temperatury wody, była w zakresie $2\div 12 \text{ dm}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Stwierdzono, że rozpuszczony w wodzie biogaz przyczynił się do znacznego pogorszenia warunków środowiskowych zbiornika.

4. Podsumowanie

Osady denne traktowane jako odpady muszą być odpowiednio zagospodarowane lub unieszkodliwiane. Przed wyborem sposobu ich wykorzystania potrzebna jest wiedza na temat ich składu fizyko-chemicznego, ewentualnego stopnia ich zanieczyszczenia substancjami antropogenicznymi. Należy rozpoznać także charakterystykę terenów na jakich mogą być składowane. Wykorzystanie osadów dennych do pozyskania energii wiąże się z możliwością uzyskania materiału opałowego, który będzie tanim naturalnym paliwem. Przed wykorzystaniem ich jako materiał w budownictwie niezbędne są dodatkowe badania geotechniczne. Zastosowanie osadów w budownictwie i rolnictwie jest rozwiązaniem, które może być odpowiedzią na niedobór materiału czy gleb w niektórych rejonach. Istotny jest w tym przypadku aspekt ekonomiczny. Ogólnie pozy-

tywny przejaw wykorzystania osadów upatruje się w zmniejszeniu ryzyka skażenia gleby wynikające z ich niewłaściwego składowania.

Problem oceny osadów dennych do potencjalnych możliwości ich wykorzystania polega na braku jednoznacznych norm prawnych określających sposób postępowania z nimi. Wynika to z trudności oszacowania zagrożenia, jakie niosą ze sobą metale ciężkie zanieczyszczające osady, a dokładniej z ich mobilnością i biodostępnością w zróżnicowanych warunkach środowiska. Po wejściu w życie aktualnej Ustawy o odpadach nie istnieje podstawa prawna, która określała by dopuszczalny poziom zanieczyszczeń w pozyskanych osadach dennych, dlatego nadal stosuje się uchylone RMS w sprawie rodzajów oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony. Z uwagi na to, zaproponowany w pracy schemat postępowania z osadami dennymi uwzględnia zarówno Ustawę o odpadach, jak i wspomniane Rozporządzenie.

Literatura

- [1] Abrasimowicz M., Niemiec M., Wiśniowska-Kielan B.: Zmiany odczyn gleby oraz fitoprzyzwajalności niklu pod wpływem dodatku osadu dennego do podłoża, *Proceedings of ECOpole*, 2011, vol.5, no.2, 475-478.
- [2] Abrasimowicz M., Wiśniowska-Kielan B., Niemiec M.: Post-Effect of Bottom Sediment Addition to the Substratum on Chemical Composition of White Mustard (*Sinapis alba* L.) Biomass. Part 1. Macroelements Content, *Ecological Chemistry And Engineering. A*, 2011, vol. 18, nr 9-10, 1175-1184.
- [3] Baran A., Jasiewicz C., Tarnawski M.: Wpływ zbiornikowego osadu dennego na zmiany właściwości fizykochemicznych gleby lekkiej, *Proceedings of ECOpole*, 2009, vol.3, no.2, 403-408.
- [4] Bartoszek L., Koszelnik P., Gruca-Rokosz R., Kida M.: Assessment of agricultural use of the bottom sediments from eutrophic Rzeszów reservoir, *Rocznik Ochrony Środowiska*, 2015, v. 17, 396-409.
- [5] Bąk Ł., Górski J., Rabajczyk A.: Content of heavy metal compounds in bottom sediments of the Suchedniów water reservoir, *Ecological Chemistry And Engineering. A*, 2013, vol. 20, nr 7-8, 757-769.
- [6] Bąk Ł., Górski J., Szelaż B.: Koncentracja metali ciężkich w wodzie i osadach dennych małego zbiornika wodnego w Kaniowie, *Proceedings of ECOpole*, 2014, vol.8, no.1, 119-125.
- [7] Borsuk S., Kujawski E., Borsuk M.: Naturalny osad denny (NOD) jako potencjalne źródło ekologicznej energii odnawialnej. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, Wydawnictwo Uczelniane UTP, Bydgoszcz, 2012, 43-52.
- [8] Canet R., Chaves C., Pomares F., Albiach R.: Agricultural use of sediments from the Albufera Lake (eastern Spain), *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 95, issue 1, April 2003, 29-36.
- [9] Ciesielczuk T., Kusza G., Karwaczyńska U.: Przyrodnicze wykorzystanie osadów dennych w świetle obowiązujących przepisów, *Rocznik Ochrony Środowiska*, 2011, tom 13, 1327-1338.

- [10] Działoszyńska-Wawrzekiewicz M.: Analiza możliwości unieszkodliwiania osadów dennych zanieczyszczonych mułem węglowym na przykładzie wybranego odcinka rzeki antropogenicznie zmienionej, 2014 http://www.ietu.katowice.pl/aktual/Seminaria_IETU/20_02_2014/prezentacja_MDW.pdf [dostęp 20.08.2015].
- [11] Działoszyńska-Wawrzekiewicz M.: Frakcjonowanie osadów dennych z wybranego odcinka rzeki zlewni Kłodnicy celem uzasadnionego technicznie sposobu wykorzystania, 2010 http://www.ietu.katowice.pl/aktual/Seminaria-IETU/20_05_2010/sem_maj_2010_MDW_www.pdf [dostęp 20.08.2015].
- [12] Fonseca R., Barriga F.J.A.S., Fyfe W.S.: Reversing desertification by using dam reservoir sediments as agriculture soils, *Episodes*, 1998, vol. 21, no 4, 218-224 http://home.dgeo.uevora.pt/~rfonseca/fct_2009/Fonseca%20et%20al%20198.pdf [dostęp 20.08.2015 r.].
- [13] Fonseca R., Barriga F.J.A.S., Fyfe W.S.: Suitability for agricultural use of sediments from the Maranhão reservoir, *Optimization of Plant Nutrition*, 1993, 665-671 http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-2496-8_103 [dostęp 20.08.2015].
- [14] Gałka B.: Ocena stopnia zanieczyszczenia i możliwości zagospodarowania osadów dennych z małych obiektów wodnych w parku we Wrocławiu-Pawłowicach. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 2010, 42, 233-239.
- [15] Gałka B., Wiatkowski M.: Charakterystyka osadów dennych zbiornika zaporowego Młyny oraz możliwość rolniczego ich wykorzystania. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 2010, tom 10, z.4, 53-63.
- [16] Gruca-Rokosz R.: Zbiorniki zaporowe jako źródło emisji gazów cieplarnianych, *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 2012, t.15, nr 1, 51-65.
- [17] Gwóźdź R.: Właściwości geotechniczne osadów zdeponowanych w jeziorze różnowskim oraz możliwości ich wykorzystania do budowy przesłon mineralnych w składowiskach odpadów komunalnych, *Czasopismo Techniczne - Środowisko*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, z. 1-Ś/2008, 13-23.
- [18] Gwóźdź R.: Właściwości osadów spoistych Jeziora Różnowskiego w aspekcie ich geotechnicznego wykorzystania, *Praca doktorska*, Politechnika Krakowska, 2007.
- [19] Jasiewicz Cz., Madeyski M., Tarnawski M., Baran A.: Zawartość metali ciężkich w biomacie kukurydzy pod wpływem dodatku osadu dennego do gleby, http://www.pzits.not.pl/docs/ksiazki/Ekotoks_2008/Jasiewicz%20147-152.pdf [dostęp: 20.08.2015].
- [20] Jancewicz A., Dmitruk U., Tomczuk U.: Potencjalne możliwości zagospodarowania osadów dennych na podstawie polskich przepisów prawnych, *Gospodarka wodna*, 2014, nr 3, 111-113.
- [21] Kostecki M., Mazierski J., Kowalski E.: Emisja biogazu z osadów dennych zbiornika wodnego w warunkach silnej antropopresji, *Archiwum Ochrony Środowiska*, 2004, vol. 30, no. 1, 79-90.
- [22] Koś K., Zawisza E.: Ocena przydatności osadów dennych Zbiornika Rzeszowskiego do budowy uszczelnień w składowiskach odpadów komunalnych, *Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus*, 2012, tom 11, nr 4, 49-60.
- [23] Koś K., Zawisza E.: Stabilization of bottom sediments from Rzeszowski Reservoir, *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Land Reclamation*, 2015, no 47, 2, 127-137.

- [24] Kozielska-Sroka E., Chęć M.: Właściwości osadów dennych Jeziora Czorszyńskiego w aspekcie ich wykorzystania w budownictwie ziemnym. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 2009, R. 33, z.1, 369-376.
- [25] Kozlovská J., Petraitis E., Šerevičienė V.: Research of heavy metals distribution in bottom sediment of Lake Talkša (Lithuania), *Proceedings of ECOpole*, 2012, vol.6, no.1, 99-103.
- [26] Kuźdżał E., Cichy B.: Ocena możliwości zagospodarowania osadów dennych rzek terenów uprzemysłowionych na przykładzie rzeki Kłodnicy, *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów*, 2008, vol. 42, nr 6, 167-174.
- [27] Madeyski M., Tarnawski M.: Ocena stanu ekologicznego osadów dennych wybranych małych zbiorników wodnych, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, PAN Kraków, 2006, nr 4/3, 107-116.
- [28] Madeyski M., Tarnawski M.: Wstępna ocena ilości osadów dennych wydzielonej części zbiornika wodnego "Besko" na rzece Wisłok, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, PAN Kraków, 2007, nr 4/1, 101-110.
- [29] Michalec B.: Qualitative and quantitative assessment of sediments pollution with heavy metals of small water reservoirs. In: *Soil health and land use management*. Ed. M.C. Hernandez-Soriano. 2012, Croatia: InTech, 255–278.
- [30] Niemiec M.: The influence of bottom sediments added to grounds on the quantity biomass of plants, <https://mnet.mendelu.cz/mendelnet2006/arti-cles/enviro/niemiec.pdf> [dostęp: 20.08.2015].
- [31] Olsson S., Regnell J., Persson A., Sandgren P.: Sediment-chemistry response to land-use change and pollutant loading in a hypertrophic lake, southern Sweden. *Journal of Paleolimnology*, 1997, nr 17, 275-294.
- [32] Popenda A., Malina G., Siedlecka E.: Składowanie jako metoda unieszkodliwiania osadów dennych zanieczyszczonych metalami ciężkimi, *Ochrona Środowiska i Zasobów Wodnych*, 2007, nr 32, 246-252.
- [33] Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 8 stycznia 2013 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu (Dz. U. 2013, poz. 38).
- [34] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 kwietnia 2002 r. w sprawie rodzajów oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony (Dz. U. 2002 nr 55 poz. 498) (uchylone z dniem 1 stycznia 2014 r.).
- [35] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. 2002 Nr 165 poz. 1359).
- [36] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. 2014 poz. 1923).
- [37] Saathoff, F., Sikora Z., Cantré S.: Wytyczne programu Południowego Bałtyku: Zastosowanie Urobku Czerpalnego, Produktów Spalania Węgla oraz Geosyntetyków do Budowy Wałów Przeciwpowodziowych : Polish version. : Eigenverlag, 2015. http://www.dredgdikes.eu/wpcontent/uploads/DredgDikes_Guideline_PL_online.pdf [dostęp 20.08.2015].
- [38] Sikora Z., Duszyński R., Cantré S.: Projekt DredgDikes – wykorzystanie urobku z robót czerpalnych do budowy wałów przeciwpowodziowych, *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 2013, nr 1, 64-69.

- [39] Stanińska J., Szczepaniak Z., Picz K., Piotrowska-Cyplik A.: Assessment of the potential of Malta lake sediments in Poznan towards their use for agricultural purposes, *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2014, vol. 59, no 1, 116-120.
- [40] Staniszewska M., Boniecka H., Gajda A.: Prace pogłębiarskie w polskiej strefie przybrzeżnej – aktualne problemy, *Inżynieria Ekologiczna*, 2014, vol. 40, 157-172.
- [41] Tomczuk U., Dmitruk U., Jacewicz A.: Metodyka badań i oceny jakości osadów dennych zbiorników wodnych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr 9, 2014, 350-355.
- [42] Tomczuk U., Dmitruk U., Jacewicz A.: Wdrożenie metodyki badania i oceny jakości osadów dennych zbiorników wodnych, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr 11, 2014, 441-444.
- [43] Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz. U. 2007 nr 147 poz. 1033 z późn. zm.).
- [44] Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz. U. 2013 nr 0 poz. 21).
- [45] Wiśniowska-Kielan B., Abrasimowicz M., Niemiec M.: Post-Effect of Bottom Sediment Addition to the Substratum on Chemical Composition of White Mustard (*Sinapis alba* L.) Biomass. Part 2. Quantitative Ratios between Macroelements, *Ecological Chemistry And Engineering. A*, 2012, vol. 19, nr 4-5, 387-393.
- [46] <http://www.dredgdikes.eu/pl/> [dostęp 20.08.2015].

METHODS OF THE MANAGEMENT OF BOTTOM SEDIMENT

Summary

Bottom sediments are accumulated sedimentary material which is extracted from the bottom of water bodies in order to enhance their capacity and to improve the retention values. Extracted bottom sediments that do not contain harmful substances may be used or stored. The composition of the bottom sediments is addicted to natural and anthropogenic factors. The results of part of the self-cleaning processes of pollutants from water reservoirs into the bottom sediment where they are retained. For this reason, the composition of the bottom sediments and surface waters are dependent. This relationship is particularly noticeable in the case of pollution, which are characterized by a low solubility and hardly biodegradable, such as salts of heavy metals and persistent organic compounds. The choice of how the management of bottom sediments depends on their chemical and physical properties. It is possible to use bottom sludge for agriculture, construction or for the production of thermal energy. In the article discusses the possible use of bottom sediments and the criteria for its management. On the basis of the criteria discussed proposed schema dealing with sediment on bottom trawls.

Keywords: bottom sediments, reservoir, quality of bottom sediments, contaminated sediments bottom

Przesłano do redakcji: 10.02.2016 r.

Przyjęto do druku: 1.03.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.118

Michał MUSIAŁ¹
Marcin KACZMARZYK²

THERMAL PROPERTIES OF TRANSPARENT BARRIER MODIFIED WITH ORGANIC PCMS

Renewable energy sources are increasingly often applied in civil engineering as a mean to reduce buildings energy demand for heating. One of the ways to reduce HVAC energy demand is to limit heat transfer and excessive solar gain through building's glazed barriers. Preliminary results of the research conducted on organic PCM-modified transparent barrier are presented in this paper.

Multiple publications concerning PCMs application in structural materials have recently appeared. Most of them are focused on modification of structure of non-transparent sections of buildings' envelope. Augmenting a glazed barrier with PCMs increases its heat capacity and thermal resistance. The most important feature of the assembly is the thermal buffer, a product of PCM's considerable value of specific latent heat.

Research were conducted on a triple-pane transparent rectangular barrier, that constituted one of the faces of cubic chamber. Internal volume of the chamber was 1m³. The applied PCM was a mixture of saturated and non-saturated hydrocarbons. The described assembly was subjected to temperature and radiation that occur in Poland during winter. Glazing temperature, melted/total PCM ratio were measured, as well as energy demand for keeping internal temperature at constant level. Measurements were made in steady states, for various PCM layer thickness. The influence of the modification on energy demand was determined, along with the most effective and rational thickness of PCM layer to be applied.

Conducted research enabled to develop a basis for further investigation of PCMs application in civil engineering.

Keywords: phase change materials, modified transparent barriers, latent heat, thermal insulation

1. Introduction

Reduction of energy consumption for heating and cooling building's interior, while maintaining thermal comfort of it's users is an important issue for

¹ Corresponding author: Michał Musiał, Rzeszow University of Technology, 35-959 Rzeszow, al. Powstańców Warszawy 12, tel. 178651005, email: mmusial@prz.edu.pl

² Marcin Kaczmarzyk, Rzeszow University of Technology, 35-959 Rzeszow, al. Powstańców Warszawy 12, tel. 178651005, email: kaczmara@prz.edu.pl

modern engineering. One of the solutions to the problem is to increase thermal inertia of building's envelope. In order to accomplish it without significant increase of thickness and mass of the envelope, phase change materials (PCMs) are to be used.

PCMs are substances of high specific latent heat (100-280 kJ/kg) for liquid-solid phase transition. PCMs used in civil engineering may be either organic or inorganic compounds. Among organic PCMs one can name saturated hydrocarbons (Alkanes), Esters, alcohols, Fatty acids, as well as some ethylene glycol's polymers. Inorganic PCMs applied in building engineering are represented by hydrated salts of alkali metals and of alkaline earth metals, and their eutectic systems[6].

A significant increase of interest with PCMs' applications in building industry as well as in the field of scientific research is to be observed in last several years. There are numerous research concerning PCMs applications in building barriers made of opaque materials[3], [5].

It is to be noticed, that an important solution for building engineering is combining PCMs with transparent barriers, in order to temporary store heat from solar radiation [1], [2], [4], [8]. This solution increases heat capacity of whole assembly, making it less susceptible for short-term temperature changes, thus improves it's efficiency in comparison with traditional solutions. Undoubtedly, the major disadvantage of described solution is it's significantly reduced transmittance [4], a result of incorporating a layer of PCM with insulated glazing, that makes the whole translucent, rather than transparent.

Typical applications of PCMs in transparent barriers were described in [4], where double paned window was being equipped with various glass units, filled with propylene glycol.

Obtained results were compared with those from numerical model, and both confirms, that radiative heat flow in infrared and ultraviolet was significantly reduced, while achieving satisfying transmittance in visible light spectrum.

However, this analysis refers to the situation of frequent overheating of a building, so it does not match polish, temperate climate conditions.

Another opportunity to use PCMs in direct gain windows is to fill lathes of window shutter with the substance. Actions of those shutters are controlled by special devices, that monitor indoor and outdoor temperature, as well as incident solar radiation. That solution enables to intercept and store excessive heat during the day and utilise it during the night.

Research conducted in Karlsruhe and Kassel [8] (Germany) proofed the solution to be most efficient during the winter, when applied to light-envelope building, increases its thermal inertia and improves thermal comfort of its occupants.

In the summer, minor increase of average indoor temperature was noticed, although daily temperature variations were reduced. In addition, using those shutters resulted in decrease of air conditioning units' peak energy consumption.

Phase change materials are increasingly often used as heat storages in renewable energy systems, they also accumulate heat in direct gain systems.

The most common applications of PCMs are listed below:

- absorption of excessive heat from photovoltaic panels, that prevents to decrease PV cells' efficiency due to overheating [5],
- augmenting hot water storage tanks, often supplied by solar thermal collectors,
- modifications of Trombe walls.

2. Description of the research workstation

Research were conducted in simulated conditions of heating season in temperate climate (Poland). Workstation was assembled as cubic framework chamber of internal dimensions 1x1x1m and interior volume 1m³.

A triple-pane window constituted one of chamber's faces, the remaining five were made of thermal insulating material. The glazing (0,8 x 0,8m) was subjected to irradiance of 750W/m² for six hours a day. Inside the chamber, a heat source was installed, along with a temperature control system and an energy meter. The internal temperature was kept constant 22°C±0,5°C. The chamber was fit inside conditioned compartment, that kept it's internal, constant temperature 0°C±0,5°C.

Photographs and detailed schematics of the workstation are presented in Fig. 1-3.

The glass unit was modified with so called component, that contained non-toxic organic compounds of melting point 38-42°C and specific latent heat 130 kJ/kg. The casing of the component was a sheet of clear, cellular polycarbonate. The casing is to be seen in Fig 4-5.

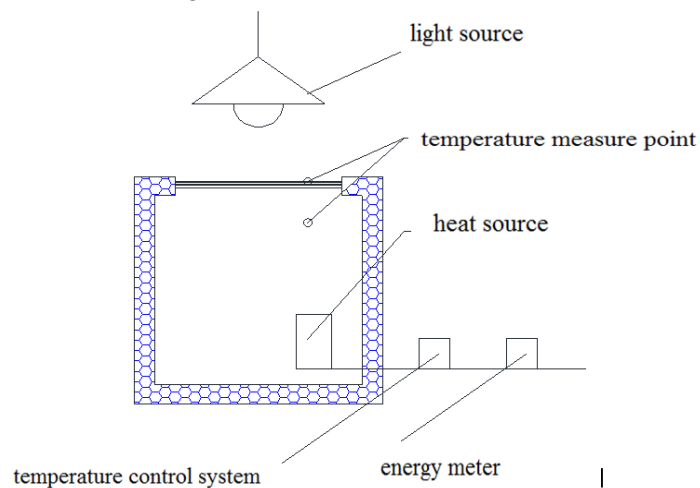


Fig. 1. Workstation's schematics

Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego



Fig. 2. A photo of the workstation
Rys. 2. Zdjęcie stanowiska badawczego



Fig. 3. A photo of the workstation
Rys. 3. Zdjęcie stanowiska badawczego



Fig. 4. Clear sheet of cellular polycarbonate
Rys. 4. Zdjęcie płyty poliwęglanu komorowego z PCM



Fig. 5. Clear sheet of cellular polycarbonate, filled with PCM
Rys. 5. Zdjęcie płyty poliwęglanu komorowego z PCM

3. Methodology

The main subject of the research was the transparent barrier, one of the faces of described research chamber.

It was being modified by component with PCM, as follows:

- unmodified glass unit,
- glass unit with 5mm component mounted on external surface,
- glass unit with 5mm component mounted on internal surface.

For those variants, thermal response of the glazing and of chamber's interior were measured, as well as total energy consumption for air conditioning. In order to ensure that obtained results are reliable and repetitive, every variant of

experiment was conducted ten times, 24 hours each. The results presented below are average of all, ten experiments.

4. Results

The charts below (Fig. 6-8) illustrate average energy consumption, by chamber's heating system. Energy consumption was measured using electronic energy meter.

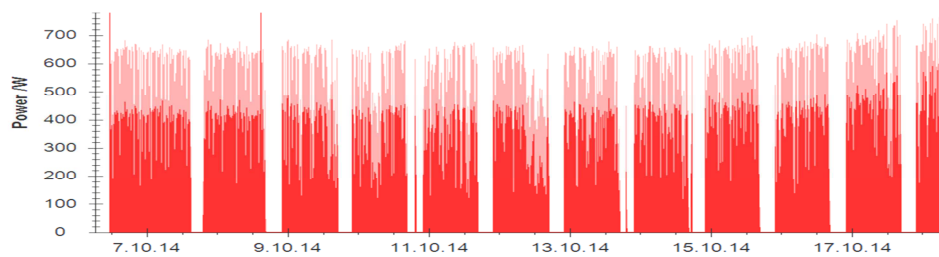


Fig. 6. Energy consumption in a chamber with unmodified glass unit

Rys. 6. Wykres zużycia energii dla komory z konwencjonalnym przeszkleniem

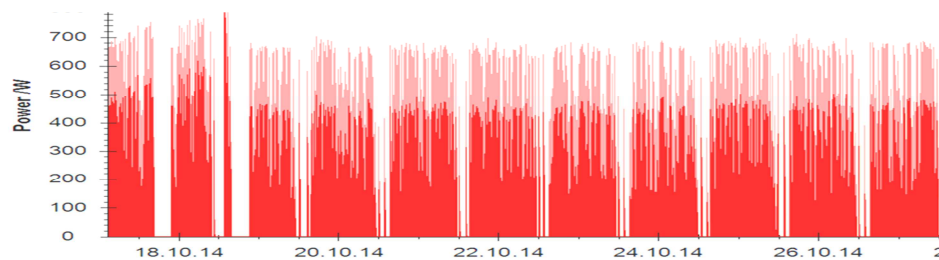


Fig. 7. Energy consumption in a chamber with glass unit modified with component mounted on external surface

Rys. 7. Wykres zużycia energii przy umieszczeniu kompozytu od strony zewnętrznej przeszklenia

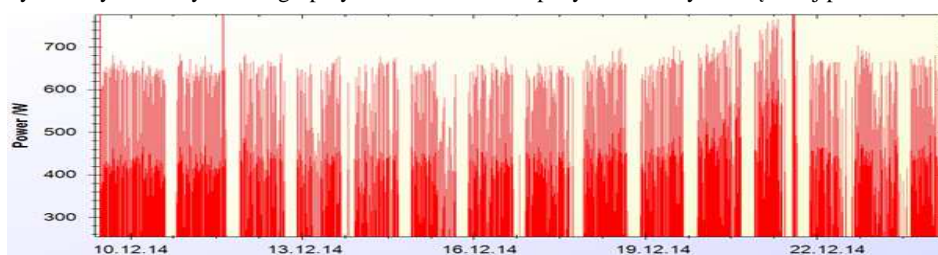


Fig. 8 Energy consumption in a chamber with glass unit modified with component mounted on internal surface

Rys. 8. Wykres zużycia energii przy umieszczeniu kompozytu od strony wewnętrznej przeszklenia

Figures 9-10 compare temperature variations of the glazing and of chamber's interior in case of modified and unmodified glazing.

Differences in transmittance of solid and melted portions of PCM in a component are presented in Fig.11.

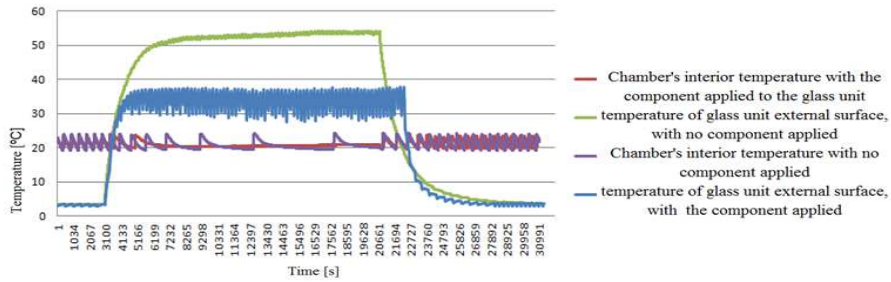


Fig. 9. Temperatures of the glazing and of internal air for unmodified glazing and internally modified glazing

Rys. 9. Wykres zestawiający temperatury przeszklenia i powietrza wewnątrz komory dla przeszklenia z PCM od wewnętrznej strony i konwencjonalnego przeszklenia

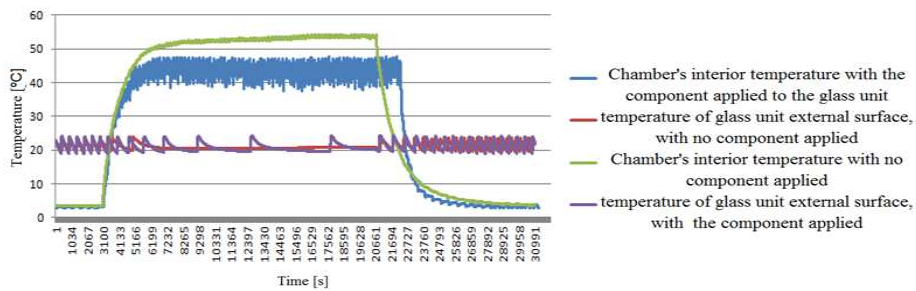


Fig. 10. Temperatures of the glazing and of internal air for unmodified glazing and externally modified glazing

Rys. 10. Wykres zestawiający temperatury przeszklenia i powietrza zewnątrz komory dla przeszklenia z PCM od wewnętrznej strony i konwencjonalnego przeszklenia



Fig. 11. A photography of PCM during phase transition

Rys. 11. Fotografia kompozytu podczas zmiany stanu skupienia materiału zmiennofazowego

5. Conclusions

When a component was placed inside the chamber, certain reduction of heating energy consumption was observed, along with decrease of glass unit's external surface temperature, in comparison with unmodified solution.

As the component was placed on the external surface of the glass unit, heating energy consumption was higher than in two remaining cases.

It is to be explained with negative location of heat storage, i.e. the PCM.

Despite the fact, that significant portion of PCM had been melted, storing great amount of energy, most of it was transmitted outside the chamber due to considerable disproportion in thermal resistance of the glass unit, and component's external surface thermal resistance (R_{se}).

It leads to the conclusion, that mounting a PCM component outside the window is pointless in Polish temperate climate, however it may be sensible to do so in Mediterranean climate

In such a climate, the solution will decrease air conditioning energy consumption, while the translucent barrier will still provide some lighting to a building.

In both cases, application of PCM component reduced the magnitude of internal air temperature fluctuations, in comparison with unmodified glass unit, due to increased thermal inertia of modified solutions.

Application of PCMs to produce improved, translucent barriers may be sensible in compartments, that do not require transparent windows, such as toilets or dressing rooms.

It is to be noticed, that selection of physical properties of applied PCMs and the optimal thickness of it's layer would depend on barrier's orientation, and local climate conditions.

Bibliography

- [1] Esam M., Alawadhi E. M.: Using phase change materials in window shutter to reduce the solar heat gain, *Energy and Buildings*, Volume 47, April 2012, Pages 421–429.
- [2] Grynning S., Goia F., Rognvik E., Time B.: Possibilities for characterization of a PCM window system using large scale measurements, *International Journal of Sustainable Built Environment*, Volume 2, Issue 1, June 2013, Pages 56–64.
- [3] Hsino M., Paślawski J.: Materiały zmienno fazowe jako modyfikator betonu dojrzewającego w klimacie gorącym i suchym, www.izolacje.com {dostęp 27.03.2015}.
- [4] Ismail K. A. R., Henriequez J. R.: PCM Glazing Systems, *International Journal Of Energy Research*, Vol. 21, 1997, Pages 1241–1255.
- [5] Jaworski M.: Materiały zmienno fazowe (pcm) w budownictwie – właściwości i rodzaje, www.izolacje.com {dostęp 27.03.2015}.
- [6] Shamberger P. J., Reid T.: Thermophysical Properties of Potassium Fluoride Tetrahydrate from (243 to 348) K, *Jurnal of chemical & engineering*, Volume 58, 2013, Pages 294–300.

- [7] Silva T., Vicente R., Rodrigues F., Samagaio A., Cardoso C.: Development of a window shutter with phase change materials: Full scale outdoor experimental approach, *Energy and Buildings*, Volume 88, 1 February 2015, Pages 110–121.
- [8] Soares N., Costa J. J., Gaspar A. R., Santos P.: Review of passive PCM latent heat thermal energy storage systems towards buildings energy efficiency, *Energy and Buildings*, Volume 59, April 2013, Pages 82–103.

BADANIA WŁAŚCIWOŚCI PRZEGRÓD TRANSPARENTNYCH MODYFIKOWANYCH MATERIAŁAMI ZMIENNOFAZOWYMI POCHODZENIA ORGANICZNEGO

Streszczenie

Obecnie, aby obniżyć koszty związane z utrzymaniem temperatury powietrza w budynku, coraz częściej wykorzystuje się odnawialne źródła energii. Jednym ze sposobów obniżenia kosztów utrzymania budynku jest ograniczenie strat ciepła oraz nadmiernego przegrzania pomieszczeń przez okna. W niniejszym artykule przedstawione zostały wstępne wyniki badań sprawdzających zasadność modyfikowania przeszkleń PCM-ami pochodzenia organicznego

W przeciągu kilku ostatnich lat można zaobserwować wzrost ilości prac naukowych opisujących możliwości modyfikowania materiałów budowlanych PCM-ami. Zdecydowana większość wyżej wspomnianych prac odnosi się do modyfikacji stropów, dachów i ścian wykonanych z różnych materiałów. Modyfikacja przeszkleń PCM-ami pozwala na zwiększenie bezwładności termicznej przegrody, zwiększenie oporu cieplnego szyby oraz utworzenie buforu cieplnego związanego z ciepłem przemiany fazowej PCM-u. Badaniom zostało poddane przeszklecie dwukomorowe o wymiarach 80,5cm x 80,5 cm, będące jedną ze ścian sześciennej komory. Wewnętrzna kubatura komory wynosi 1m³. Materiałem zmiennofazowym użytym do badań jest mieszanina węglowodorów nasyconych i nienasyconych o temperaturze przemiany fazowej 38-41°C oraz ciepłe przemiany fazowej 135 kJ/kg. Opisaną wyżej komorę wraz z PCM-em poddano działaniu temperatury i promieniowania, odpowiadającym wartościom rzeczywistym w Polsce w sezonie zimowym. Dla zadanych warunków mierzono stopień [%] zmiany fazy PCM-u, temperaturę przeszkleń oraz ilości energii potrzebnej do utrzymania stałej temperatury wewnątrz komory.

Wyniki zostały odczytane dla stałych warunków (temperatury i natężenia promieniowania) oraz różnych grubości PCM-u. Na podstawie przeprowadzonych badań określono ilość zużytej energii potrzebnej do utrzymania określonej temperatury w komorze. Dodatkowo określono grubość PCM-u, która pozwoli na jego racjonalne wykorzystanie. Przeprowadzone badania stanowią podstawę do prowadzenia dalszych modyfikacji cech chemicznych i fizycznych PCM-ów wykorzystywanych w budownictwie.

Słowa kluczowe: materiały zmiennofazowe, modyfikowane przegrody przezroczyste, ciepło utajone, izolacja termiczna

Przesłano do redakcji: 24.09.2015 r.

Przyjęto do druku: 1.03.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.119

Anna MUSZ-POMORSKA¹
Małgorzata IWANEK²
Paweł SUCHORAB³
Agnieszka BRODACZEWSKA⁴

ANALIZA STRAT WODY NA PRZYKŁADZIE WYBRANEGO WODOCIĄGU GRUPOWEGO

Celem niniejszego artykułu jest analiza pracy wybranego wodociągu grupowego w latach 2003-2012 w aspekcie strat wody. Badany wodociąg zasilany jest z czterech ujęć zlokalizowanych w sąsiadujących z sobą miejscowościach. Łączna długość sieci wraz z przyłączami wynosi 489 km. Przewody wykonane są głównie z polichloroku winylu oraz polietylenu dużej gęstości. Obciążenie poszczególnych stref jest nierównomierne i waha się od 5,63 m³/(d·km) w strefie B do 16,45 m³/(d·km) w strefie A. Średnia produkcja wody w latach 2003-2012 wynosiła 598794,2 m³/rok. W pracy zastosowano standardowe metody badawcze – bilansowanie według International Water Association oraz metodę wskaźnikową. Wyznaczono procentowy wskaźnik strat wody (S), jednostkową objętość strat przypadającą na jednego mieszkańca (q_{STR}), jednostkowy wskaźnik strat wody (q_{sp}), wskaźnik jednostkowych strat rzeczywistych, przy co najmniej 20 przyłączach przypadających na 1 km sieci (RLB), wskaźnik przecieków infrastruktury (ILI) oraz wskaźnik objętości wody niedochodowej ($NRWB$). Badania przeprowadzono na podstawie danych uzyskanych z przedsiębiorstwa wodociągowego. Najwyższą wartość większości wskaźników strat wody zaobserwowano w 2005 roku, później nastąpił spadek ich wartości i w 2010 roku ponowny wzrost. Niska wartość ILI , we wszystkich strefach poniżej 1,5, świadczy o bardzo dobrym stanie technicznym sieci. Najwyższe straty wody zaobserwowano w strefie zasilanej z ujęcia B. Również dla tej strefy wartość wskaźnika RLB i $NRWB$ jest najwyższa. Wyznaczone wskaźniki strat wody są porównywalne do opublikowanych wartości, uzyskanych dla innych systemów wodociągowych i wskazują na zadowalający stan badanej sieci.

Słowa kluczowe: wskaźniki strat wody, bilans wody, metody IWA

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Anna Musz-Pomorska, Politechnika Lubelska, Wydział Inżynierii Środowiska, ul. Nadbystrzycka 40 B, 20-618 Lublin, tel. (81)5384481, e-mail: A.Musz@wis.pol.lublin.pl

² Małgorzata Iwanek, Politechnika Lubelska

³ Paweł Suchorab, Politechnika Lubelska

⁴ Agnieszka Brodaczevska, absolwentka Politechniki Lubelskiej

1. Wprowadzenie

Problem strat wody dotyczy niemal wszystkich wodociągów na świecie. Straty te stanowią niekiedy bardzo duży procent objętości wody wtłaczanej do sieci. W Polsce problem strat wody mocno uwidocznił się po zmianach ustrojowych i wprowadzeniu gospodarki rynkowej, która wymusiła na przedsiębiorstwach wodociągowych podejmowanie działań zmierzających do ograniczenia nadmiernych strat wody. Straty wody definiowane jako różnica pomiędzy zmierzoną objętością wody wtłoczonej do sieci a zafakturowaną wielkością wody dostarczonej odbiorcom dzielą się na rzeczywiste i pozorne. Wielkość strat, niezależnie od ich rodzaju, wpływa na jakość i koszt wody dostarczonej odbiorcom [17], a także oddziałuje na kondycję finansową przedsiębiorstw wodociągowych [11,15,17,19,20].

Straty wody są jednym z podstawowych elementów oceny stanu technicznego systemu wodociągowego. Analiza tych strat powinna być zatem podstawą do podejmowania działań modernizacyjnych i naprawczych, a tym samym zmniejszenia kosztów związanych z produkcją i dystrybucją wody. International Water Association (IWA) proponuje cztery metody działań [8]: aktywną kontrolę wycieków, szybkość i jakość napraw, kontrolę i regulację ciśnienia oraz konserwację, odnowę i wymianę przewodów w celu ograniczenia wielkości strat wody. Ważnym elementem działań zmierzających do ograniczenia strat jest również ciągły monitoring pracy sieci wspomagany systemami informatycznymi [5], a także utrzymywanie ciśnienia w sieci na minimalnym wystarczającym poziomie [7].

Celem niniejszego artykułu jest analiza strat wody w wybranym wodociągu grupowym. W pracy wykorzystano standardowe metody badawcze (bilansowanie według International Water Association oraz metodę wskaźnikową). Analizie poddano straty wody w całym rozpatrywanym systemie dystrybucji w latach 2003-2012. Ponadto, ze względu na stosunkowo duże zróżnicowanie stref zasilania wodociągu grupowego, przeprowadzono analizę produkcji, zużycia i strat wody w roku 2012 dla każdej strefy oddzielnie.

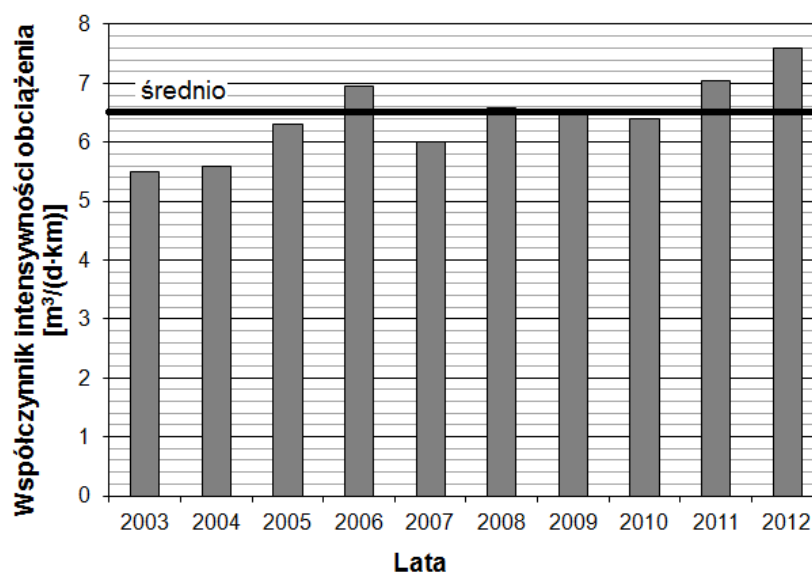
2. Charakterystyka systemu dystrybucji

Badania strat wody przeprowadzono dla wybranego wodociągu grupowego znajdującego się w województwie lubelskim. Badany wodociąg zasilany jest z czterech ujęć zlokalizowanych w sąsiadujących z sobą miejscowościach. Główne przewody, o łącznej długości ok. 254 km, wykonane są w większości z rur z polichlorku winylu (PVC-U) oraz polietylenu dużej gęstości (PE-HD). Łączna długość przyłączy wynosi ok. 235 km. Średnie zużycie wody przypadające na jednego mieszkańca w roku 2012 wynosiło 82 dm³/d. Charakterystykę sieci z podziałem na strefy zasilania przedstawiono w tabeli 1. Uwagę zwraca duża nierównomierność obciążenia stref wodociągu zasilanych z poszczególnych ujęć – w strefie zasilanej z ujęcia A jest ono 2,9 razy większe niż w strefie zasilanej z ujęcia B.

Tabela 1. Charakterystyka sieci wodociągowej z podziałem na strefy zasilania

Table 1. Characteristics of water supply zones

Lokalizacja ujęcia	A	B	C	D
Długość sieci [km]	16,47	102,6	48,02	87,24
Liczba przyłączy [szt.]	600	1555	737	2209
Długość przyłączy [km]	16	90,58	43,39	86
Liczba mieszkańców w roku 2012	2204	3904	2717	8423
Średnie ciśnienie w strefie [MPa]	0,35	0,38	0,37	0,35
Zużycie wody na potrzeby własne [m ³ /rok]	450	500	2050	8060
Wsp. intensywności obciążenia sieci w roku 2012 [m ³ /(d·km)]	16,45	5,63	5,68	9,17



Rys. 1. Wartość współczynnika intensywności obciążenia sieci wodociągowej w latach 2003-2012

Fig. 1. Water intensity indicator values of the water supply network in years 2003-2012

Współczynnik intensywności obciążenia poszczególnych stref zasilania sieci wodociągowej wyznaczono zgodnie z zależnością podaną przez Dohnalika i Jędrzejewskiego [7]:

$$O_s = \frac{V_{DS}}{365 \cdot L} \tag{1}$$

gdzie: O_s – współczynnik intensywności obciążenia danej strefy [m³/(d·km)],
 V_{DS} – objętość wody dostarczonej do danej strefy zasilania [m³/r],
 L – długość sieci magistralnej i rozdzielczej w obrębie strefy zasilania [km].

Współczynnik intensywności obciążenia całej analizowanej sieci wodociągowej w latach 2003-2012 (Rys. 1) obliczony został jako średnia ważona wartości wyznaczonych według wzoru (1) dla każdej ze stref zasilania (wagą jest długość sieci). Średnia arytmetyczna wartości tego parametru dla sieci w rozpatrywanym okresie wyniosła $6,5 \text{ m}^3/(\text{d}\cdot\text{km})$.

W latach 2003 – 2012 wyprodukowano średnio $598794,2 \text{ m}^3/\text{rok}$ wody, przy czym najmniej – $509000 \text{ m}^3/\text{rok}$ w roku 2003, najwięcej – $701040 \text{ m}^3/\text{rok}$ w 2012. Biorąc pod uwagę poszczególne strefy zasilania, największy udział w produkcji wody miała strefa D ($270401,5 \text{ m}^3/\text{rok}$), najmniejszy zaś C ($78713 \text{ m}^3/\text{rok}$). W strefie B ($162457 \text{ m}^3/\text{rok}$) produkcja wody była 2 razy większa, zaś w strefie A ($87222 \text{ m}^3/\text{rok}$) 1,1 razy większa niż w strefie zasilanej z ujęcia C.

W analizowanym okresie ilość wody sprzedanej miała tendencję wzrostową. Średnia sprzedaż wody w latach 2003 – 2012 wynosiła $468606 \text{ m}^3/\text{rok}$. Najwyższa sprzedaż wystąpiła w roku 2012 i była o 10% większa od wartości średniej dla analizowanego okresu. Natomiast najniższa sprzedaż wystąpiła w 2003 roku i była o 20 % mniejsza od wartości średniej. Sprzedaż wody odbiorcom indywidualnym i gospodarstwom rolnym w analizowanym okresie wynosi ponad 90% w stosunku do całej objętości wody sprzedanej. Dużo mniejszy udział stanowi objętość wody sprzedanej odbiorcom związanym z działalnością gospodarczą i oświatową (średnio 5%) oraz sprzedaż hurtowa (średnio 3%).

3. Metodyka badań

Analizę strat wody przeprowadzono przy zastosowaniu dwóch metod badawczych: bilansowej według International Water Association (IWA) oraz metody wskaźnikowej. W analizach uwzględniono straty wody w latach 2003-2012 w całej sieci bez podziału na strefy zasilania oraz w roku 2012 dla poszczególnych stref. Uzyskane wyniki obliczeń porównano z danymi literaturowymi podawanymi dla systemów wodociągowych o zbliżonej wartości współczynnika intensywności obciążenia sieci.

3.1. Składniki bilansu wody według IWA

Zgodnie z metodyką bilansu zalecaną przez IWA wodę wtłoczoną do sieci dystrybucyjnej podzielono na dwie podstawowe grupy: wodę zużytą na autoryzowaną konsumpcję oraz straty wody. Następnie autoryzowaną konsumpcję podzielono na zafakturowaną autoryzowaną konsumpcję, czyli ilość wody sprzedanej oraz niezafakturowaną autoryzowaną konsumpcję, czyli ilość wody zużytej na potrzeby własne przedsiębiorstwa. Wśród strat wody wyróżniono rzeczywiste i pozorne. Straty wody i niezafakturowana autoryzowana konsumpcja stanowią wodę nieprzynoszącą dochodu [1,9,18]. Szczegółowe informacje odnośnie zastosowanej metody można znaleźć w pracach np. [11,18,19]. Bilans wody w sieci wodociągowej według standardu IWA jest metodą szacunkową, ponieważ nie wszystkie dane potrzebne do sporządzenia bilansu można dokładnie określić.

Na podstawie danych literaturowych, w badaniach przyjęto, że błędy pomiarów i odczytów wodomierzy stanowią 3% objętości wody wtłoczonej do sieci, a nieautoryzowana konsumpcja – 2% [1,2,14]. Zgodnie z informacjami uzyskanymi w lokalnym przedsiębiorstwie wodociągowym przyjęto również, że zafakturowana niezmiernona konsumpcja oraz straty na zbiornikach magazynujących wodę wynoszą 0 m³/rok.

3.2. Analiza wskaźnikowa strat wody w latach 2003-2012

W zastosowanej analizie wskaźnikowej wyznaczono grupę wskaźników, których wyniki pozwoliły na ocenę prawidłowości i celowości podejmowanych działań eksploatacyjnych, a także dały możliwość porównania strat w całym systemie. W ramach analiz wyznaczono: procentowy wskaźnik strat wody (S), jednostkową objętość strat przypadającą na jednego mieszkańca (q_{STR}), jednostkowy wskaźnik strat wody (q_{sj}), wskaźnik jednostkowych strat rzeczywistych przy co najmniej 20 przyłączach przypadających na 1 km sieci (RLB), wskaźnik przecieków infrastruktury (ILI) oraz wskaźnik objętości wody niedochodowej ($NRWB$). Porównanie uzyskanych wskaźników z wartościami krytycznymi oraz z opublikowanymi wartościami wskaźników dla podobnych wodociągów umożliwiło ocenę stanu eksploatacyjnego rozpatrywanego systemu.

4. Bilans i analiza strat wody w wodociągu w latach 2003-2012

Wybrane składniki wykonanych bilansów wody dla całej rozpatrywanej sieci wodociągowej dla lat 2003-2012 przedstawiono w tabeli 2. Wykonanie bilansów umożliwiło wyznaczenie wartości wskaźników strat wody dla okresu 2003-2012 (Tabela 3). Z przeprowadzonych bilansów strat wody metodą IWA

Tabela 2. Składniki bilansu wody według IWA dla lat 2003 - 2012

Table 2. Components of water balance according to IWA in 2003 - 2012

Rok analizy	Składniki bilansu [m ³ /r]				
	Woda wtłoczona do sieci	Zafakturowana aut. kons.	Niezafakturowana aut. kons.	Straty wody pozorne	Straty wody rzeczywiste
2003	509000	389969	16410	25450	77171
2004	522410	395038	16410	26121	84842
2005	587210	415562	16410	29361	125878
2006	642500	478463	16410	32125	115502
2007	557667	482850	16410	27883	30524
2008	613210	494557	16410	30661	71583
2009	608170	506592	16410	30409	54760
2010	593315	517873	16410	29666	29366
2011	653420	484404	16410	32671	119935
2012	701040	520755	16410	35052	128823

Tabela 3. Wskaźniki strat wody dla okresu 2003-2012

Table 3. Indicators of water losses in 2003-2012

Rok analizy	Wskaźnik					
	<i>S</i>	q_{STR}	q_{si}	<i>RLB</i>	<i>ILI</i>	<i>NRWB</i>
	%	dm ³ /(os·d)	m ³ /(h·km)	dm ³ /(szt. przył·d)	-	%
2003	20,2	16,3	0,05	41,45	0,4	23,4
2004	21,2	17,6	0,05	45,57	0,4	24,4
2005	26,4	24,7	0,07	67,61	0,7	29,2
2006	23,0	23,4	0,07	62,04	0,6	25,5
2007	10,5	9,3	0,03	16,39	0,2	13,4
2008	16,7	16,2	0,05	38,45	0,4	19,3
2009	14	13,5	0,04	9,41	0,3	16,7
2010	9,9	9,4	0,03	15,77	0,2	12,7
2011	23,4	24,2	0,07	64,42	0,6	25,9
2012	18,9	26,0	0,07	69,19	0,7	25,7
Średnia	18,9	18,1	0,05	45,03	0,4	21,6
Według Bergela [2,3,4]	21,4	30,4	0,146	154,1	1,9	24

wynika, iż wartości strat wody w analizowanym okresie mieszczą się w przedziale od 10% w roku 2010 do 26,4% w 2005 r. w stosunku do objętości wody wtłoczonej do sieci.

Analizując wskaźniki strat wody obliczone na podstawie bilansów wody (Tabela 3) można zauważyć, iż w rozpatrywanym wodociągu grupowym występują stosunkowo nieduże wartości wskaźników strat wody. Wszystkie wskaźniki poza procentowym wskaźnikiem strat wody i wskaźnikiem objętości wody niedochodowej są mniejsze od średnich obliczonych przez Bergela [2,3,4] dla 67 wodociągów obsługujących 10 000 ÷ 20 000 mieszkańców.

W latach 2005, 2006, 2011 i 2012 wartość procentowego wskaźnika strat wody przekraczała wartość literaturową równą 21,4%. Średnia wartość *S* dla okresu 2003-2012 równa 18,9% jest mniejsza o 2,5% od wartości literaturowej. Badany wodociąg charakteryzuje się dość wysokim poziomem wskaźnika objętości wody niedochodowej *NRWB* w latach 2004-2006 i 2011-2012 przekraczającym wartość literaturową równą 24% nawet o 5,2% w roku 2005.

Dla badanego wodociągu wartość wskaźnika nieuniknionych strat rzeczywistych *UARL* w 2012 r. wyniosła 527727,1 dm³/d (192620,4 m³/rok), co stanowiło aż 27% ilości wody wtłoczonej do sieci. We wcześniejszych latach wartość *UARL* była wyższa – w 2003 r. sięgała 38% ilości wody wtłoczonej do sieci. Tak duże wartości wskaźnika nieuniknionych strat rzeczywistych powodują, że przedstawiona w tabeli 3 wartość wskaźnika *ILI* jest bardzo mała - wartość średnia (0,4) jest mniejsza o 1,5 od danych literaturowych równych 1,9. Zgodnie ze standardami IWA, WBI Banding System dla krajów rozwiniętych i rozwijają-

cych się oraz kryteriów przyjętych przez Amerykańskie Stowarzyszenie Wodne (AWWA) wartość $ILI \leq 1,5$ wskazuje na bardzo dobry stan techniczny sieci dystrybucji wody [15,16]. Należy podkreślić, że w warunkach rozpatrywanego wodociągu grupowego tak niska wartość wskaźnika ILI budzi wątpliwości.

5. Bilans i analiza strat wody w poszczególnych strefach zasilania w roku 2012

Aby osiągnąć dokładniejszy obraz stanu rozpatrywanego wodociągu grupowego, ze względu na zróżnicowanie stref zasilania, dokonano analizy ilości wody wyprodukowanej i zużytej oddzielnie w każdej z czterech stref zasilania w 2012 roku. Podobnie jak przy analizie całego wodociągu, przeprowadzono bilans start wody metodą zalecaną przez IWA oraz analizę wskaźnikową. Działania te mają na celu wytypowanie strefy, w której występują największe straty wody.

W tabeli 4 przedstawiono objętość wody wyprodukowanej i sprzedanej w poszczególnych strefach zasilania w roku 2012. Największy udział zarówno w produkcji jak i w sprzedaży wody miała strefa D, najmniejszy strefa C (prawie 3 krotnie mniejsza produkcja i sprzedaż wody).

Tabela 4. Objętość wody wyprodukowanej i sprzedanej w poszczególnych strefach zasilania w roku 2012

Table 4. The volume of water produced and sold in water supply zones in 2012

Objętość wody [m ³ /rok]	Strefa A	Strefa B	Strefa C	Strefa D
Pobranej ze środowiska	98880	210680	99500	291980
Sprzedanej	73344	146901	74975	225535

Wybrane wyniki bilansu wody z podziałem na strefy zasilania dla roku 2012 przedstawiono w tabeli 5.

Analiza wartości wskaźników strat wody przedstawionych w tabeli 6 wskazuje, że strefa zasilana z ujęcia D charakteryzuje się zarówno najwyższą produkcją jak i sprzedażą wody, a także względnie niskim poziomem rzeczywistych strat wody. W poszczególnych strefach największe różnice występują w przypadku wartości wskaźnika jednostkowych strat wody. Wartość RLB dla strefy zasilanej z ujęcia D jest niemal 2-krotnie większa od wartości obliczonej dla ujęcia B i 3-krotnie mniejsza od danych obliczonych przez Bergela [2,3,4] dla podobnych sieci ($154,1 \text{ dm}^3/(\text{szt.} \cdot \text{przył.} \cdot \text{d})$). Również wartość wskaźnika $NRWB$ dla strefy zasilanej z ujęcia D wypada najkorzystniej na tle pozostałych trzech stref i jako jedyna nie przekracza ona wartości literaturowej równej 24%. Wskaźnik ILI wyliczony dla czterech rozpatrywanych stref zasilania najmniejszą wartość przyjmuje w przypadku strefy zasilanej z ujęcia C, a największą dla

Tabela 5. Składniki bilansu wody według metody IWA w strefach zasilania w roku 2012

Table 5. Components of water balance according to IWA standard in water supply zones in 2012

Składnik bilansu [m ³ /r] ([%])	Strefa A	Strefa B	Strefa C	Strefa D
Woda wtłoczona do sieci	98880 (100%)	210680 (100%)	99500(100%)	291980 (100%)
Autoryzowana konsumpcja: • zafakturowana • niezafakturowana	73344 (74,2%) 1450 (1,5%)	146901 (69,7%) 1950 (0,9%)	74975 (75,4%) 3500 (3,5%)	225535 (77,2%) 9510 (3,3%)
Niezafakturowana niezmiernona konsumpcja: • woda zużyta do płukania sieci • woda zużyta na cele gospodarcze	450 (0,004%) 1000 (0,01%)	500 (0,002%) 1450 (0,007%)	2050 (0,02%) 1450 (0,01%)	8060 (0,03%) 1450 (0,005%)
Straty wody: • pozorne • rzeczywiste	4944 (0,05%) 19142 (19,4%)	10534 (5%) 51295 4,3%)	4975 (5%) 16050 (16,1%)	14599 (5%) 42336 (14,5%)

Tabela 6. Wskaźniki strat wody w strefach zasilania w roku 2012

Table 6. Indicators of water losses in water intake zones in 2012

Wskaźnik	Jednostka	Strefa A	Strefa B	Strefa C	Strefa D
O_s	[m ³ /(d·km)]	16,45	5,63	5,68	9,17
S	[%]	24,4	29,3	21,1	19,5
q_{STR}	[dm ³ /(os·d)]	29,9	43,4	21,2	18,5
q_{sj}	[m ³ /(h·km)]	0,17	0,07	0,05	0,07
RLB	[dm ³ /(szt·przył·d)]	87,4	90,4	59,7	52,5
U_{ARL}	[m ³ /rok]	15029,3	74278,0	34285,3	70103,1
ILI	[-]	1,3	0,7	0,5	0,6
$NRWB$	[%]	25,8	30,3	24,6	22,8

strefy zasilanej z ujęcia A. Obliczone dla poszczególnych stref wartości $ILI \leq 1,5$, według standardów IWA, WBI Banding System oraz AWWA świadczą o bardzo dobrym stanie technicznym rozpatrywanej sieci wodociągowej [2,3,4,13].

W tabeli 7 przedstawiono literaturowe wartości wskaźników strat wody dla wodociągów charakteryzujących się obciążeniem sieci zbliżonym do obciążenia poszczególnych stref analizowanego wodociągu [2,3,4,6,10].

Tabela 7. Wskaźniki strat wody według danych literaturowych na podstawie [2,3,4,6,10]

Table 7. Indicators of water losses according to literature data on the basis of [2,3,4,6,10]

Wskaźnik	Jednostka	Wielkość obciążenia sieci [$\text{m}^3/(\text{km}\cdot\text{d})$]		
		ok. 6	ok. 9	ok. 16,5
<i>S</i>	[%]	12,6-29,5	18,8-33,0	21,4-36,0
<i>q_{STR}</i>	[$\text{dm}^3/(\text{os}\cdot\text{d})$]	10,7-27,0	21,3-45,6	30,4-72,3
<i>q_{sj}</i>	[$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{km})$]	0,05-0,07	0,07-0,12	0,146-0,25
<i>RLB</i>	[$\text{dm}^3/(\text{szt}\cdot\text{przył}\cdot\text{d})$]	46,1-134	107,9-188,7	235,3
<i>ILI</i>	[-]	0,8	1,7	*
<i>NRWB</i>	[%]	31,7	34,3	*

* brak danych literaturowych

Porównując wartości wskaźników strat wody z wartościami zaobserwowanymi w sieciach o zbliżonym obciążeniu, możemy zauważyć, iż wartości uzyskane w poszczególnych strefach zasilania rozpatrywanego wodociągu w większości przypadków są zbliżone do wartości wyznaczonych w innych wodociągach. Strefa zasilana z ujęcia B charakteryzuje się stosunkowo wysokim wskaźnikiem jednostkowej objętości strat przypadającej na jednego mieszkańca ($q_{STR}=43,4 \text{ dm}^3/(\text{os}\cdot\text{d})$) w porównaniu do innych systemów o zbliżonym współczynniku intensywności obciążenia sieci. W strefie C, wartość wskaźnika jednostkowych strat rzeczywistych *RLB* jest prawie 2-krotnie niższa niż w podobnych wodociągach. IWA zaleca, by stosować wskaźnik *ILI* tylko wtedy, gdy liczba przyłączy jest większa niż 5000, a ich gęstość przekracza 20 na km sieci wodociągowej oraz przy ciśnieniu w sieci co najmniej 0,25 MPa [12]. W badanej sieci spełniony jest jedynie warunek dotyczący ciśnienia.

6. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzony bilans oraz analiza strat wody wykazały, iż w rozpatrywanym wodociągu grupowym występują stosunkowo nieduże wartości wskaźników strat wody. Najwyższą wartość wskaźnika strat wody zaobserwowano w 2005 roku (26,4%), później nastąpił spadek do 9,9 % w 2010 roku i ponowny wzrost. Niska wartość *ILI*, we wszystkich strefach poniżej 1,5 świadczy o bardzo dobrym stanie technicznym sieci, jednakże w przypadku analizowanej sieci parametr ten może nie być miarodajny ze względu na spełnienie tylko jednego z trzech zalecanych kryteriów jego stosowania. O poprawności działań eksploatacyjnych prowadzonych w badanej sieci świadczy prawie trzykrotnie niższa od wartości literaturowych, podawanych m.in. przez Bergela [2,3,4] wartość wskaźnika strat jednostkowych q_{si} . Wartość średnia dla okresu 2003-2012 wynosiła $0,05 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{km})$. Straty wody w poszczególnych strefach są na porównywalnym poziomie od 19,5% w strefie D do 29,3% w strefie B. Porównując czte-

ry strefy, w strefie B zaobserwowano najwyższą wartość wskaźnika jednostkowych strat rzeczywistych ($RLB=90,4 \text{ dm}^3/(\text{szt.} \cdot \text{przył.} \cdot \text{d})$) oraz wskaźnika objętości wody niedochodowej ($NRWB=30,3\%$), co powinno stanowić sygnał dla eksploatatora, by na tę część wodociągu zwrócić szczególną uwagę przy podejmowaniu czynności zmierzających do ograniczenia strat wody.

Literatura

- [1] Bauer A., Dietze G., Mueller W., Soine K.J.: Weideling, D. Poradnik eksploatatora systemów zaopatrzenia w wodę. Seidel-Przywecki, Warszawa 2005.
- [2] Bergel T.: Analiza wskaźnikowa strat wody w sieci wodociągowej w gminach wiejskich i miejsko-wiejskich w Polsce (cz.1), Gaz, Woda i Technika Sanitarna 8, 2012, s. 322-325.
- [3] Bergel T.: Analiza wskaźnikowa strat wody w sieci wodociągowej w gminach wiejskich i miejsko-wiejskich w Polsce (cz.2), Gaz, Woda i Technika Sanitarna 10, 2012, s. 413-415.
- [4] Bergel T.: Skala i powody marnotrawstwa wody w wodociągach wiejskich, Gaz, Woda i Technika Sanitarna 9, 2009, s. 30-32.
- [5] Boryczko K., Tchórzewska-Cieślak B.: Analiza eksploatacji sieci wodociągowej miasta Mielca, w Polska inżynieria środowiskowa pięć lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej (red. J.Ozonek, A.Pawłowski) t.58/1, 2009, s. 27-33.
- [6] Choma A., Iwanek M., Kowalska B., Kowalski D.: Analiza strat wody w sieci wodociągowej eksploatowanej przez Zakład Gospodarki komunalnej w Puchaczowie, Instal 10 (355), 2014, s. 61-65.
- [7] Dohnalik P., Jędrzejowski Z.: Efektywna eksploatacja wodociągów. Ograniczanie strat wody, LemTech, Kraków 2004.
- [8] Farley M., Trow S.: Losses in Water Distribution Networks. A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control. IWA Publishing, 2003.
- [9] Hotłoś, H.: Analiza strat wody w systemach wodociągowych. Ochrona Środowiska 25 (1), 2003, s. 17-24.
- [10] Iwanek M., Musz A., Kowalska B., Kowalski D., Chołody M.: Analiza strat wody w wybranym wodociągu grupowym, Instal 1(369), 2016, s. 40-43.
- [11] Kowalski D., Kowalska B., Kwietniewski M., Sygacz-Adamska J.: Analiza bilansu wody oraz awaryjności wybranego systemu dystrybucji wody w: Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód, tom II (Dymaczewski Z., Jeż-Walkowiak J., Red.). Poznań: PZITS Oddział Wielkopolski, 2012, s.77-92.
- [12] Kwietniewski M.: Zastosowanie wskaźników strat wody do oceny efektywności jej dystrybucji w systemach wodociągowych, Ochrona Środowiska 4(35), 2013, 9-16.
- [13] Lambert A., Hirner W.: Losses from water supply systems. Standard terminology and recommended performance measures, IWA Blue Pages 2000.
- [14] Merlo G.: Straty wody, wykrywanie i ocena. Wodomierze w komunalnych systemach wodociągowych, IWSA Workshop, Warszawa 1992.
- [15] Piechurski F.: Działania zmierzające do ograniczenia strat wody w systemach jej dystrybucji. Napędy i sterowanie, nr 1, 2014, s 68-79.

- [16] Rak J., Sypień Ł.: Analiza strat wody w wodociągu miasta Jasło, *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury* t.XXX , 60(3), 2013, s., 5-18. DOI: 10.7862/rb.2013.33.
- [17] Siwoń Z., Cieżak J., Cieżak W.: Praktyczne aspekty badań strat wody w sieciach wodociągowych, *Ochrona Środowiska* 26 (4), 2004, s. 25-30.
- [18] Tchórzewska-Cieślak B., Szpak D.: Zarządzanie miejską infrastrukturą wodociągową, *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury* t. XXXI, z. 61 (1/14), 2014, s. 343-355, DOI:10.7862/Rb.2014.24.
- [19] Zimoch I., Szymura E.: Klasyfikacja stref systemu dystrybucji wody według wskaźników strat wody i awaryjności sieci, *Instal* nr 7-8, 2013, s. 64-68.
- [20] Żaba T., Langer A.: Monitoring strat wody elementem ograniczenia kosztów działalności przedsiębiorstwa. *Napędy i Sterowanie* 4, 2012, s. 100-103.

ANALYSIS OF WATER LOSSES IN A SELECTED WATER SUPPLY SYSTEM

Summary

The aim of the article is analysis of the selected water supply system operation in the years 2003-2012 with regard to water losses. The investigated system consists of four adjoining water intake zones (A, B, C, D). The total length of pipes including connections equals 489 km. The network is made of PVC-U and PE-HD pipes mainly. Water intensity indicator values are different in respective zones – from $5.63 \text{ m}^3/(\text{d}\cdot\text{km})$ in the zone B to $16.45 \text{ m}^3/(\text{d}\cdot\text{km})$ in the zone A. In the period of 2003-2012 the average water volume of $598794.2 \text{ m}^3/\text{yr}$ was produced.

Investigations were conducted using the standard International Water Association (IWA) balance and indicators methods. Percentile water losses index (S), unit water losses volume per person (q_{STR}), unit index of water losses (q_{st}), real losses level for system with density of connections greater than 20 per km of mains (RLB), infrastructure leakage index (ILI) and non-revenue water basic ($NRWB$) were calculated. Investigations were conducted on the basis of data obtained from the water corporation.

The highest value of the most analyzed indicators was observed in 2005. After this year the values of the indicators were lower and increased again in 2010. $ILI < 1.5$ for each zone indicates very good technical condition of the network. The greatest losses were observed in the B zone. All the obtained indicators appeared to be comparable with literature data for similar water systems.

Keywords: water losses indicators, water balance, IWA method

Przesłano do redakcji: 30.08.2015 r.

Przyjęto do druku: 1.03.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.120

Katarzyna OLBIŃSKA¹

SYNAGOGA – UKRYTE MIEJSCE PAMIĘCI

Praca stanowi część badań nad architekturą żydowską w województwie łódzkim. W artykule zaprezentowano znaczenie pamięci zbiorowej, oraz koncepcję miejsc pamięci, wskazując najistotniejsze jej aspekty. Omówiono rolę, jaką pełni pamięć, sposoby jej przekazywania, oraz złożoność i problemy, jakie za sobą niesie. Odnośząc koncepcję miejsc pamięci do obiektów pełniących w przeszłości funkcję synagog, przedstawiono je jako element architektury wpływający na kreowanie pamięci obecnych i przyszłych pokoleń. W dalszej części artykułu nakreślono stan badań, oraz wskazano kluczową literaturę traktującą o obiektach byłych bożnic. Widząc w synagogach szczególne miejsce pamięci, ze względu na sprawowaną niegdyś ważną funkcję administracyjną, religijną i kulturową, autor zastanawia się nad istniejącymi możliwościami adaptacji tych obiektów, oraz sposobach nadania im utylitarnej funkcji. Zaprezentowano przykład przekształcenia synagogi w Jarosławiu dla Zespołu Szkół Plastycznych, jako działanie pozytywne. Następnie przedstawiono wyniki wstępnych badań nad synagogami w województwie łódzkim. Podkreślono, że przeprowadzenie dalszych prac badawczych, polegających między innymi na analizie stanu zachowania obiektów oraz informacji o rodzaju upamiętnienia, pozwoli odpowiedzieć na pytanie o sposób funkcjonowania ich w pamięci. Przedstawiono spis miejscowości, dokonując podziału na obiekty istniejące, nieistniejące, lub te, które mogły istnieć w danej lokalizacji i dlatego wymagają weryfikacji potwierdzonej dalszymi badaniami. Zaproponowano sposób wykonywania klasyfikacji obiektów, analizując ich najważniejsze cechy, takie jak rok budowy, rok dewastacji, stan własności, stopień zachowania oryginalnej formy architektonicznej, czy obecnie pełniona funkcja.

Słowa kluczowe architektura, narracja, architektura narracyjna, judaika, dziedzictwo kulturowe, miejsce pamięci, synagoga, bożnica

1. Wstęp

„Synagoga to dla Żydów miejsce zgromadzeń, nauki i modlitwy. Funkcję synagogi może pełnić każde pomieszczenie, o ile zbierze się w nim minjan, czyli 10 dorosłych mężczyzn (powyżej 13 roku życia). Z uwagi na potrzeby sprawowania kultu religijnego wygląd zewnętrzny synagogi nie ma znaczenia” [1, s.7]. Ciężko jest precyzyjnie określić ile do dziś zachowało się synagog w Polsce.

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Katarzyna Olbińska, Politechnika Łódzka, Instytut Architektury i Urbanistyki, al. Politechniki 6, 90-924 Łódź; tel. 426313502; kasia.olbinska@gmail.com

Często są to obiekty, które wtopiły się w krajobraz polskich miast i większość ich mieszkańców przechodzi obok nich z obojętnością, nie zdając sobie sprawy, co w danym miejscu się wcześniej znajdowało.

Niniejszy artykuł stanowi próbę przedstawienia problematyki synagog jako elementu architektury, który wpływa na kształtowanie pamięci obecnych i przyszłych pokoleń. Będąc elementem i świadkiem życia codziennego, mogą one stać się szczególnymi miejscami pamięci.

W artykule autor odnosi się do koncepcji miejsc pamięci, która łączy w sobie dwa istotne aspekty. Po pierwsze odwołuje się bezpośrednio do aspektu przestrzennego pamięci. Po drugie podkreśla, iż pamięć, w przeciwieństwie do historii, ma charakter subiektywny i żywy, często stając się przedmiotem sporu.

Autor odnosi się do już istniejących opracowań problematyki synagog znajdujących się na terenie Polski. Następnie przedstawia wyniki wstępnych badań nad synagogami znajdującymi się w województwie łódzkim.

2. Dlaczego miejsca pamięci są ważne?

Polską badaczką, która łączy koncepcje miejsc pamięci z problematyką architektury jest Joanna Kabrońska. W swojej pracy [2] porusza ona kwestię możliwości i sposobów przekazywania pamięci między pokoleniami poprzez architekturę, odnosząc się przy tym do problematyki społecznej odpowiedzialności. Podkreśla ona, iż problematyka miejsc pamięci dotyka wiele złożonych kwestii, w szczególności gdy odnosi się do dramatycznych momentów w historii społeczeństw, np. Holocaustu.

Powołując się na książkę Zygmunta Baumana [3], Kabrońska twardo podkreśla, że Zagłada nie była przypadkiem, lecz świadomym działaniem. Tym bardziej słuszna wydaje się być konieczność edukacji i przypominania o tej zbrodni przyszłym pokoleniom, między innymi poprzez architekturę będącą formą miejsca pamięci i naocznym świadkiem wydarzeń, aby zapobiec podobnym działaniom w przyszłości. Jak pisze Kabrońska [2], dziedzictwo odgrywa ogromną rolę w kształtowaniu tożsamości, ale nie ma wystarczającej mocy, aby samemu ją tworzyć. To właśnie tożsamość i kulturę oskarża się o to, co się stało i opisuje jako źródło wszystkich problemów. Z powodu zaniku tradycji, człowiek zaczyna błędzić, nie posiadając punktu zaczepienia i oparcia, nie mogąc odróżnić dobra od zła. Jak wskazuje autorka, tożsamość współczesnych społeczeństw jest w ciągłym procesie kształtowania się, nie tylko poprzez religię i filozofię, ale w ogromnej mierze poprzez pamięć tragicznych wydarzeń XX wieku, pokusę zmieniania niewygodnych faktów, bądź chęć wymazania ich w ogóle.

Jak podkreśla Kabrońska jesteśmy odpowiedzialni za przyszłe pokolenia, uczymy odpowiedzialności, świadomości przeszłości oraz przywracamy tożsamość, a wszystkie te elementy powinny stać się punktem zaczepienia współczesnego człowieka. Architektura odgrywa w tym istotną rolę, bowiem materializuje odczucia społeczne [2, s.37].

Pamięć historii miejsca i świadomość przeszłości odgrywają ważną rolę w kształtowaniu teraźniejszych i przyszłych pokoleń. Upamiętnienie tragicznych wydarzeń oraz martyrologii społeczeństw jest niewątpliwie oddaniem hołdu tym, którzy odeszli oraz przestrożą na przyszłość. Niemniej jednak należy zauważyć, że wciąż małą uwagę poświęca się synagogom, pełniącym niegdyś ważną rolę w społeczeństwie żydowskim. Zajmując się tematyką miejsc pamięci, częściej posługujemy się kategorią ofiar niż zwykłych ludzi, którzy byli przecież częścią społeczności. Często wspomina się czas wojny, obozów zagłady, natomiast okres przed 1939 rokiem, zostaje pominięty. Synagogi, będąc świadkiem życia codziennego, mogą stać się szczególnym miejscem pamięci.

3. Funkcja miejsc pamięci

Aby mówić o tym, w jaki sposób funkcjonuje architektura miejsc pamięci, należy poruszyć kwestię roli pamięci zbiorowej we współczesnym społeczeństwie, bowiem to społeczeństwo jest odbiorcą architektury. Co pamiętamy? Jak pamiętamy?

We wstępie swojego artykułu [4] Kaja Kaźmierska podkreśla, że podanie jednoznacznej odpowiedzi jest niezwykle trudne, a samo pytanie ma charakter retoryczny. Owa trudność wynika z charakteru współczesnego społeczeństwa, płynności, wieloznaczności i szybkości następujących zmian, nieznanymi wcześniejszym pokoleniom. Tworzy to przepaść kulturową, wynikającą z bodźców, wielości i odmienności wydarzeń, których doświadcza młody człowiek w stosunku do przeszłych pokoleń. Mowa tutaj również o zainteresowaniach oraz sposobach pozyskiwania wiedzy. Za jedną z wielu zmian kulturowych Kaźmierska podaje nową formę wrażliwości historycznej [4, s.27], jako konsekwencję innego niż wcześniej sposobu kreowania relacji z przeszłością, polegającą na wyzbyciu się roli intelektu, chęci zdobywania wiedzy i zastąpieniu go poznaniem zmysłowym, kładącym nacisk na przeżycie, doświadczenie i doznania słuchu i dotyku. To co zainteresuje starsze pokolenie, może okazać się niewystarczające dla ludzi młodych. Środki przekazu muszą być coraz bardziej spektakularne, grać na zmysłach. Powołując się na poglądy Maurice Halbwachsa, badaczka podkreśla, że pamięć zbiorowa kształtuje się dzięki odtwarzaniu przeszłości, lecz z perspektywy współczesnego człowieka – mówiąc o przeszłości musimy cały czas myśleć o teraźniejszości i obecnych potrzebach.

Współczesne potrzeby, sposób pozyskiwania informacji i widzenie świata powinny stać się kluczowym elementem służącym do sposobu kreowania nowych miejsc pamięci. Nasuwa się zatem pytanie, jak bardzo miejsca pamięci tworzone współcześnie różnić się będą od tych już istniejących? Czy nadal pełnią swoją rolę, czy też stanowią jedynie bezużyteczny twór przeszłych pokoleń? Kim jest widz? W jaki sposób do niego dotrzeć? Wreszcie, czy chcemy widzieć synagogi w obiektach, które dzisiaj pełnią funkcję bibliotek, sklepów, mieszkań, czy nawet barów z alkoholem? Charakterystyka współczesnego społeczeństwa,

podatnego na zmiany przekonań odbywających się w nieprzewidywalny sposób, przyniesie wiele problemów. Niemniej jednak tematyka pamięci staje się coraz bardziej popularna, a zainteresowanie kulturą żydowską rośnie, o czym świadczą odbywające się co roku liczne festiwale.

4. Synagogi w Polsce – zarys badań

Istnieje niewiele opracowań dotyczących zachowanych i tych nieistniejących już synagog na terenie Polski. Brak dostępnych informacji uniemożliwia sporządzenie ich kompletnego zestawienia i dokonania rzetelnej klasyfikacji. Jako pierwszą próbę tę podjęła Anna Kubiakowa, publikując w 1953 roku spis 25 zachowanych obiektów. W późniejszych latach trwały badania prowadzone zarówno przez profesjonalistów jak i amatorów, ale żadna z publikacji nie jest kompletna, a zawarte w nich dane niejednokrotnie różnią się między sobą [1].

Przemysław Burchard we wstępie do swojej książki [5, s.6-7] wspomina trudy prowadzonych badań. Z powodu braku dostępnych informacji, ważne stały się dla niego najmniejsze ślady oraz pomoc czytelników czasopism, regionalnych badaczy, czy osób, które po prostu „coś wiedziały” i z chęcią dzieliły się z autorem tą wiedzą w listach.

Eleonora Bergman oraz Jan Jagielski stworzyli katalog [1] będący wynikiem kilkunastoletnich badań, rozmów ze zwykłymi ludźmi oraz znawcami tematu. Autorzy we wstępie do katalogu stwierdzają, że istnienie obiektów zachowanych, nie objętych przedmiotowym opracowaniem jest raczej niemożliwe, niemniej jednak ich istnienia nie można kategorycznie wykluczyć. Książka stała się bazą danych dla fotografa dokumentalisty Wojciecha Wilczyka, który w 2009 roku opublikował album zawierający wykonaną przez siebie dokumentację fotograficzną zachowanych synagog w Polsce.

Przypuszcza się, że przed rokiem 1939 na terenie Polski, znajdowało się kilka tysięcy synagog. Po wojnie, zachowane obiekty zmieniały swoje funkcje, stan techniczny, zostawały niejednokrotnie przebudowywane, lub przestawały istnieć w ogóle. Dlatego można stwierdzić, że wszelkie dostępne opracowania mają charakter zmienny i należy je stale aktualizować.

5. Nasza „pomysłowość” nie zna granic

W przedmowie do albumu Wojciecha Wilczyka [6], będącego owocem projektu, jakiego podjął się fotograf, Jacek Michalak przykładowe funkcje, na które zostały zaadaptowane zachowane budynki synagog i domów modlitwy, komentuje za pomocą kilku słów: „nasza „pomysłowość nie ma granic”” [6, s.5]. Pomysłowość w kontekście historii miejsca, tragicznych losów ludzi oraz pamięci po nich, a właściwie, w większości przypadków, jej braku, ma wydźwięk smutny, tragiczny i wzięcie go w cudzysłów mówi samo przez się. Projekt Wojciecha Wilczyka spotkał się z ogromnym zainteresowaniem, co napawa optymizmem

(mentalność się zmienia, pamięć zostaje przywracana), lub właśnie odwrotnie – budynki nadal straszą obojętnością, w większości przypadków nie podejmuje się żadnych działań.

W dalszej części czytamy słowa Adama Mazura, który zastanawia się „co z tym wszystkim zrobić”. Fotografii i dokumentację obiektów uważa za skromniejszą i cichszą formę katalizatora pamięci o przeszłości, będącą alternatywą dla pomników i większych inicjatyw. Za nim podąża Eleonora Bergman [6, s.24-25] – architekt, dyrektor Żydowskiego Instytutu Historycznego, wieloletnia badaczka zabytków kultury żydowskiej, która zwraca uwagę na zawłość problemu. Komu są właściwie potrzebne synagogi? Jak je zachować i kto ma o nie dbać, skoro służyły one kiedyś społeczeństwu żydowskiemu, po których ślad zaginął? Kto powinien to zrobić?

Autor opracowania, Wojciech Wilczyk, w rozmowie z Elżbietą Janicką podaje bardzo ciekawe stwierdzenie [6, s.34]. Na pytanie dziennikarki, dlaczego jego zdaniem napotkani przypadkowi przechodnie, bądź też użytkownicy obiektów, podczas wykonywanych przez niego prac do albumu, proszeni o pomoc w zlokalizowaniu synagogi, lub podzieleniu się informacjami, starają się go przekonać, że synagoga znajdowała się gdzie indziej. Tłumaczy, że wszystko uzależnione jest od sytuacji prawnej obiektu. Część z nich bowiem przeszła na własność w drodze zakupu od gminy żydowskiej, ale inne przywłaszczyło państwo jako tzw. mienie żydowskie. Zatem mowa o własności jest niejednokrotnie zawiła, co budzi strach u napotkanego rozmówcy przed ewentualną chęcią rozwikłania tej zagadki.

Album Wojciecha Wilczyka napawa optymizmem i smuci zarazem. Daje nadzieję, że pamięć zostanie przywrócona, że zacznie się mówić i ... widzieć obiekty, które dostały drugie życie pełniąc nieadekwatną dla siebie funkcję, wtopione w krajobraz miejski, mijane niezauważone i obojętne. Autor wyszedł z godną pochwałą inicjatywą i, być może, za nim podążą następni. Praca opatrzona komentarzami tak znakomitych osób i znawców tematu świadczy o ogromnej wartości i użyteczności tej publikacji. W wielu przypadkach, oglądając fotografie, komentarz jest zbędny. Zdjęcie mówi samo za siebie, a odbiorcą sam wyciągnie wnioski.

6. Po co nam synagoga?

Wydaje się, że kluczową rolę odgrywa odpowiedź na pytanie o użyteczną funkcję i pomysł na adaptację budynków byłych synagog, sposób zachowania pamięci, poszanowanie wartości historycznych i zachowanie autentyczności. Jaką rolę mogą pełnić te szczególne miejsca pamięci w odniesieniu do potrzeb współczesnego człowieka? Istnieje bowiem ryzyko, że wszelkie działania są niechciane i niepotrzebne. Synagoga zaadaptowana na budynek mieszkalny pełni funkcję użytkową, daje schronienie. Czy chcemy ją przekształcać? Może wystarczy umieszczenie tabliczki pamiątkowej? Czy to wystarczy? Należy również

zauważyć, że nie sposób schematycznie traktować każdy przypadek. Część obiektów bowiem będziemy rozpatrywać w kategoriach adaptacji, przebudowy, zmiany funkcji. Dla innych natomiast będzie to tabliczka pamiątkowa, pomnik, czy inna forma upamiętnienia.

Pozytywny przykład adaptacji obiektu, pełniącego pierwotnie funkcję domu modlitwy, dobrze przedstawiają w swoim artykule Marek Gosztyła i Katarzyna Jandziś [7]. Autorzy przeprowadzili dokładne badania budynku, na które składały się analiza historii miejsca i zasobów archiwalnych oraz inwentaryzacja i ocena stanu technicznego. Ponadto wykonano szkice odręczne wraz z dokumentacją fotograficzną. Wskazanie istniejących zagrożeń było, według autorów, konieczne w procesie poznania obiektu i podjęciu odpowiednich kroków w celu jego ochrony. W wyniku pracy analitycznej powstała koncepcja projektowa aranżacji byłej synagogi oraz plan prac naprawczych. Tym samym, nadano jej utylitarną funkcję, przy równoczesnym poszanowaniu wartości historycznych i zachowaniu autentyzmu.

We wstępie swojego artykułu [7], Gosztyła i Jandziś zwięźle przedstawiają strukturę funkcjonalną i budowę typowej historycznej synagogi. Dalej skupiają się na bożnicy w Jarosławiu, nakreślając jej historię oraz zmiany, jakie dotknęły ją na przestrzeni lat, zarówno te strukturalne, jak i funkcjonalne. Przedstawiają bardzo szczegółową ekspertyzę budynku, zawierającą specyfikację elementów, od fundamentów aż po dach, oraz ich faktyczny stan techniczny. Ich analiza pozwoliła określić istniejące zagrożenia. Wskazano błędy poczynione w trakcie wcześniejszej rozbudowy budynku, prac remontowych oraz konsekwencje, jakie za sobą poniosły. Zaplanowano czynności mające na celu przywrócenie należytego stanu obiektu.

Budynek byłej synagogi w Jarosławiu postanowiono zaadaptować na pracownię dla Zespołu Szkół Plastycznych. Zaproponowano nowy układ funkcjonalny stanowiący magazyn prac plastycznych oraz pracownię. Część parteru oraz piętro zaadaptowano na sale muzealne, w tym również ekspozycję żydowskiego dziedzictwa kulturowego. Wszystkie zaprojektowane elementy uzyskały nowoczesną formę, aby użytkownik był w stanie łatwo odróżnić wartość historyczną od wartości dodanej. Starano się zachować oryginalną strukturę lub się do niej odnieść. „Aby zachować tradycyjny dziewięciopółowy układ byłej sali modlitw, zaprojektowano antresolę. Nawiązuje ona do istniejącej niegdyś w tym miejscu empery z babińcem” [7, s.48]. Tym samym autentyczność obiektu i pamięć synagogi została zachowana.

Autorzy artykułu wskazują, jako jeden z warunków koniecznych dla przetrwania obiektu, nadanie mu użytecznej funkcji. Przy czym wszelkie działania należy prowadzić szanując wartości historyczne i autentyczność. Aby działać świadomie, należy wykonać szereg analiz, zapoznać się z historią budynku, zmianami, jakie dotknęły go przez lata, oraz określić, w jakim stanie egzystuje on dzisiaj.

Adaptacja budynku byłej synagogi w Jarosławiu jest pozytywnym przykładem przywrócenia pamięci miejsca poprzez nadanie mu utylitarnej formy przy jednoczesnym poszanowaniu zachowanej tkanki. Może stać się inspiracją i pomysłem dla przyszłych realizacji. Jest jednym z możliwych sposobów na przywrócenie pamięci.

7. Synagogi w województwie łódzkim

Analiza stanu zachowania i upamiętnienia synagog jest warunkiem koniecznym, aby odpowiedzieć w toku dalszych badań na pytanie, jak obiekty te funkcjonują w naszej pamięci. W dalszej części artykułu zaprezentowano spis miejscowości, w których istnieją budynki byłych domów modlitwy oraz te, gdzie obiekty te nie zostały zachowane, a także zaproponowano kryteria, jakimi należy się kierować analizując te obiekty. Przedstawiony materiał jest propozycją pola badań, którym autor zajmie się w toku dalszych poszukiwań.

Badania rozpoczęto od sporządzenia spisu miejscowości, w których istniały społeczności żydowskie na podstawie danych dostępnych w portalu internetowym Wirtualny Sztetl [8] oraz akt Archiwum Państwowego w Łodzi. Dane bibliograficzne są niekompletne, dlatego można jedynie przypuszczać, że we wszystkich wymienionych miejscowościach, znajdowała się kiedyś synagoga. Domysły tłumaczy się faktem, że istnienie gminy żydowskiej na danym terenie warunkowało budowanie synagog. Bożnice często lokalizowano w sąsiedztwie cmentarza, co może być również pewnym tropem. Elementem scalającym Żydów była religia. Jak podkreśla Przemysław Burchard [5], załączkiem gminy żydowskiej była grupa 10 mężczyzn, tzw. minjan, którzy warunkowali możliwość odprawy nabożeństwa. Podstawą gminy było istnienie domu modlitwy, cmentarza oraz innych towarzyszących obiektów. Gwarantem prawa budowy synagogi i cmentarza był właściciel miasta, który zezwalał na powstanie gminy wydając akt. Stąd jeśli nie można dotrzeć do aktu, można przypuszczać, że gmina powstała w roku utworzenia cmentarza. Zdarzało się również, że mieszkańcy mniejszych miast, nie posiadających własnych gmin, korzystali z bożnic i cmentarzy gmin sąsiednich. Istniały również gminy częściowo samodzielne, ale posiadające własną synagogę [5, s.15-16]. Zasadą było wznoszenie jednej synagogi gminnej, niemniej jednak wraz z biegiem czasu, zaczęło powstawać więcej obiektów w obrębie danego terenu. Synagogi dzielono na odłamy (chasydyzm, judaizm ortodoksyjny oraz judaizm reformowany), a nawet tworzone miejsca modlitw należące do przedstawicieli różnych zawodów [1, s.7-8].

Wymienione poniżej miejscowości znajdują się na terenie dzisiejszego województwa łódzkiego. W większości z nich zachowane synagogi zostały zaadaptowane na inne funkcje. Niektóre już nie istnieją, ale wspomina się o nich w publikacjach. O niektórych brak jest jakichkolwiek informacji. Miejscowości ułożono w porządku alfabetycznym. Są to: Aleksandrów Łódzki, Będków, Bełchatów, **Biała Rawska**, Bielawy, Błaszki, Bolesławiec, **Bolimów**, Brzeziny, **Bu-**

rzenin, Dąbrowice, Drzewica, Działoszyn, **Głowno**, **Gorzkowice**, **Grabów**, **Inowłódz**, Jeżów, Kamięnsk, Karaszów, Kiernozia, **Kolumna**, Koluszki, Konstantynów Łódzki, **Krośniewice**, Kutno, Lutomiersk, **Lututów**, **Łask**, Łęczyca, **Łódź**, Modrzejewo, Łowicz, Nowa Brzeźnica, **Opoczno**, **Osjaków**, Ozorków, Pabianice, Pajęczno, Parzęczew, Parzniewice, Piątek, **Piotrków Trybunalski**, Pławno, **Poddebice**, Przedbórz, Przygłów, Radomsko, Rawa Mazowiecka, **Rozprza**, Ruda Pabianicka, **Sieradz**, **Skiernewice**, Sobota, Stryków, Sulejów, **Szadek**, Szczerców, Tomaszów Mazowiecki, Tuszyn, **Ujazd**, Uniejów, **Warta**, **Widawa**, Wieluń, Wieruszów, Wola Krzysztoporska, **Wolbórz**, Zduńska Wola, Zelów, Zgierz, Złoczew, Żarnów, **Żychlin**.

Pogrubioną czcionką oznaczono miejscowości, o których wspomina Eleonora Bergman i Jan Jegielski w swoim katalogu [1]. Pozostałe miejsca zostały pominięte przez autorów celowo, gdyż nie znajduje się w nich zachowana synagoga, stąd wymagają one dalszych badań historycznych.



Rys. 1. Schemat przypuszczalnej lokalizacji synagog (istniejących i nieistniejących) w województwie łódzkim

Fig. 1. Scheme of the presumed location of synagogues (existing and nonexisting) in the Lodz region

Próbując dokonać klasyfikacji, obiekty należy rozpatrywać w kontekście działań wojennych i powojennych, analizując poniższe cechy:

- obiekt zachowany lub nieistniejący,
- rok budowy, rok dewastacji,

- historyczna struktura budynku, stopień zachowania oryginalnej formy architektonicznej, skala przebudowy w czasie i po wojnie,
- stan techniczny i istniejące zagrożenia,
- historyczna struktura budynku, stopień zachowania oryginalnej formy architektonicznej, skala przebudowy w czasie i po wojnie,
- pełniona obecnie funkcja,
- stan własności oraz w jaki sposób dany obiekt przeszedł na własność.

Przeprowadzona dokładna analiza pozwoli ocenić problem globalnie, wysnuć wnioski i sporządzić plan działań na przyszłość. Przede wszystkim pozwoli zweryfikować, czy informacje bądź domysły na temat istnienia historycznej synagogi na danym obszarze są słuszne. W pracy badawczej również bardzo pomocne mogą okazać się rozmowy z przypadkowo napotkanymi ludźmi. Zwykli mieszkańcy danej miejscowości mogą udzielić kluczowych informacji, a także być odzwierciedleniem nastrojów społecznych.

8. Podsumowanie

Działania Niemców w latach okupacji miały na celu całkowite zatarcie istnienia kultury żydowskiej. Większość synagog została ograbiona z kosztowności, zdewastowana i spalona. Część zachowanych obiektów zaadaptowano, głównie na magazyny. Niestety w latach powojennych dzieła dokończyły władze Polski Ludowej. W większości przypadków, proces ten trwa do dzisiaj.

Można jednak zaobserwować pozytywne przykłady przywracania pamięci. Niemniej nadal brakuje pomysłu i rozwiązania problemu w zakresie globalnym. Co zrobić z synagogami? I kto to powinien zrobić? Trzeba zachować pamięć, ale w jak sposób? Przywrócić dawne funkcje? Kto by z nich korzystał? Stworzyć muzeum? Czy ktoś będzie chciał do niego przychodzić? Wolimy przecież nie pamiętać o tym, co złe i przykre. Analiza przemian funkcji i formy architektury żydowskiej w Polsce może unaocznić przemiany świadomości społeczeństwa oraz wrażliwości historycznej. Wśród badań nad architekturą narracyjną, synagogi mogą zająć specjalne miejsce, jako świadkowie prostego życia i codziennych wydarzeń, które odeszły w niepamięć.

Literatura

- [1] Bergman E., Jagielski J.: Zachowane synagogi i domy modlitwy w Polsce. Żydowski Instytut Historyczny, Warszawa 1996.
- [2] Kabrońska J.: Architektura jako forma pamięci. Rola architektury w tworzeniu współczesnego horyzontu wartości. Politechnika Gdańska, Gdańsk 2008.
- [3] Bauman Z.: Nowoczesność i zagłada. Biblioteka Kwartalnika Masada, Warszawa 1992.

- [4] Kaźmierska K.: Rola pamięci zbiorowej we współczesnym społeczeństwie – czy łatwo ją określić?, w: Szpociński A. (red.): Przeszłość w dyskursie publicznym. Wydawnictwo Naukowe Scholar, Warszawa 2013.
- [5] Burchard P.: Pamiątki i zabytki kultury żydowskiej w Polsce. ZG Reprint, Warszawa 1990.
- [6] Wilczyk W.: Niewinne oko nie istnieje. Atlas Sztuki, Łódź 2009.
- [7] Gosztyła M., Jandziś K.: Problematyka współczesnych funkcji w zabytkowych byłych żydowskich domach modlitw na przykładzie „dużej” synagogi w Jarosławiu. Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, t. XXXI, z. 61, n 1/2014, s.37-53.
- [8] www.sztetl.org.pl {dostęp 15.09.2015 r.}.

SYNAGOGUE – THE HIDDEN MEMORIAL PLACE

Summary

Publication is a part of researches on the Jewish architecture in the Lodz region. Article presents the importance of collective memory and the concept of memorial place indicating its most important aspects. The memory role, transmission ways and problems that it carries have been discussed. The concept of memorial places is referred to the synagogues as the part of architecture that forms the memory of present and future generations. The next part of article outlined the state of researches and the main literature that refers to the synagogues. Seeing the special memorial place in synagogues, due to its important administrative, religious and cultural function in the past, the author reflects on the existing possibilities of adaptation and ways of giving them an utilitarian function. An example of the transformation of the synagogue in Jaroslaw for the School of Fine Arts has been presented as a positive action. Afterwards the preliminary results of researches on synagogues in Lodz region has been presented. It was emphasized that further researches and analysis of the state of preservation and commemoration methods would allow to answer the question how they exist in memory. The list of the locations of existing, non existing and probably existing objects - that's why they must be confirmed by further research, has been proposed. The method of making classification of objects by analyzing their most important characteristic such as year of construction, devastation, state of property, preservation of original architectural form and present function has been suggested.

Keywords: architecture, narration, narrative architecture, judaica, cultural heritage, memorial place, synagogue, temple

Przesłano do redakcji: 26.04.2016 r.

Przyjęto do druku: 1.06.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.121

Grzegorz PALKIJ¹
Leszek KULESZA²

PROPOZYCJA UKŁADU DO POMIARU TEMPERATURY WODY WEWNĄTRZ AKUMULACYJNEGO PODGRZEWACZA WODY O ZBYT MAŁEJ POJEMNOŚCI CIEPŁEJ WODY

Mały, akumulacyjny, elektryczny podgrzewacz ciepłej wody użytkowej występuje często w budynkach biurowych. Jeden z nich posiada interesujące, ale irytujące własności. Przy pojemności ok 5 dm³ pozwala uzyskać ok 1,0÷1,5 dm³ ciepłej wody o temperaturze zbliżonej do zadanej (zgodnie z pozycją regulatora: 40÷42°C) a następnie podaje wodę o temperaturze niższej: 30÷37°C można ją nazwać letnią. A potem temperatura wypływającej wody ma wartość 25÷30°C – niską w odniesieniu do nastawy regulatora. Zaproponowano układ pomiarowy, który w minimalnym stopniu zaburzałby działanie podgrzewacza. Przez specjalny otwór umożliwiono wstawienie czujnika temperatury i ustawienie jego elementu mierzącego na dowolnym poziomie. Podczas „normalnej” eksploatacji urządzenia można prowadzić pomiar temperatury wewnątrz objętości wody a dodatkowo temperatury wody wypływającej z podgrzewacza.

Słowa kluczowe: pomiary cieplne, układ pomiarowy, temperatura, pomiary wstępne

1. Wstęp

Podgrzewacze wody w domowej instalacji wodnej są prostymi urządzeniami, które stosuje się do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Najczęściej spotyka się je w łazienkach, bądź przy kotłach. Elektryczne podgrzewacze wody o mocy do 2 kW stosuje się również w pomieszczeniach biurowych. Podgrzewacze różnią się między sobą ze względu na sposób działania jak i technikę przygotowania wody.

¹ Grzegorz Palkij, Politechnika Krakowska, 31-155 Kraków ul Warszawska 24

² Autor do korespondencji/ corresponding author: Leszek Kulesza, Politechnika Krakowska, 31-155 Kraków, ul Warszawska 24, telefon 12 628 2087, lkulesza@wp.pl

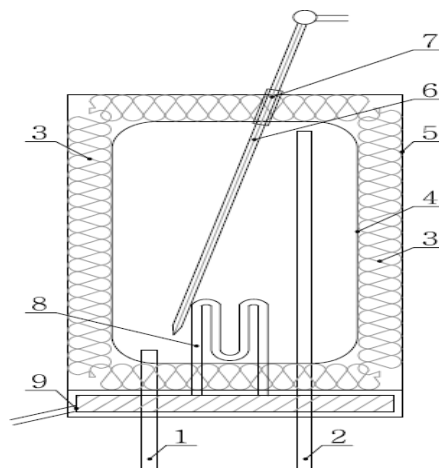
Istnieje kilka typów podgrzewaczy wody. Ze względu na zasadę działania możemy wyróżnić następujące dwa główne rodzaje: podgrzewacze pojemnościowe oraz podgrzewacze przepływowe. Zasada działania podgrzewacza wody różni się w zależności od sposobu przygotowania ciepłej wody. Wodę można podgrzać wykorzystując palniki gazowe, energię elektryczną, czy też paliwa stałe lub ciekłe. Zadaniem pojemnościowych podgrzewaczy wody jest podgrzanie zgromadzonej w zbiorniku wody i jej przechowywanie. Zmagazynowana woda jest podgrzewana przy pomocy montowanego wewnątrz palnika gazowego, elektrycznej grzałki, bądź dowolnego, zewnętrznego źródła ciepła, takiego jak: pompa ciepła, kocioł, kolektor słoneczny, bądź kominek. Zakres temperatury wody jaki można ustalić w zbiorniku z reguły mieści się w zakresie 40-75°C. Niewątpliwą zaletą pojemnościowych podgrzewaczy wody jest to, że pozwalają one na korzystanie z wody o zadanej, stabilnej temperaturze, nie zmieniającej się w zależności od strumienia wody.

2. Istota problemu

Małe, akumulacyjne, elektryczne podgrzewacze ciepłej wody użytkowej występują w jednym z budynków Instytutu Inżynierii Ciepłej i Ochrony Powietrza Politechniki Krakowskiej. Jeden z nich posiada następujące własności. Przy pojemności zbiornika ok. 5 dm³ pozwala uzyskać ok. 1,0 – 1,5 dm³ ciepłej wody o temperaturze zbliżonej do zadanej (zgodnie z pozycją regulatora: 40 – 42 °C) a następnie podaje wodę o temperaturze niższej: 30 – 37 °C można ją nazwać letnią. A potem temperatura wypływającej wody ma wartość 25 – 30 °C – za niską w odniesieniu do nastawy regulatora.

3. Cel i zakres badań

Celem badań był pomiar ilości wody o temperaturze nie mniejszej niż 37°C możliwej do uzyskania przy różnych strumieniach wypływającej z podgrzewacza wody. Drugim celem pracy było zaproponowanie sposobu pomiaru temperatury wody wewnątrz zbiornika tak, aby minimalnie wpływał na działanie podgrzewacza. Temperaturę wody powinno się móc mierzyć na dowolnym poziomie w zbiorniku. Układ pomiarowy przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Podgrzewacz akumulacyjny:

1 – przewód zasilający, 2 – przelew ciepłej wody, 3 – izolacja, 4 – zbiornik wody, 5 – obudowa, 6 – czujnik pomiarowy, 7 – króciec pomocniczy, 8 – grzałka, 9 – zespół elektryczny i regulacyjny

Fig. 1. Accumulation heater:

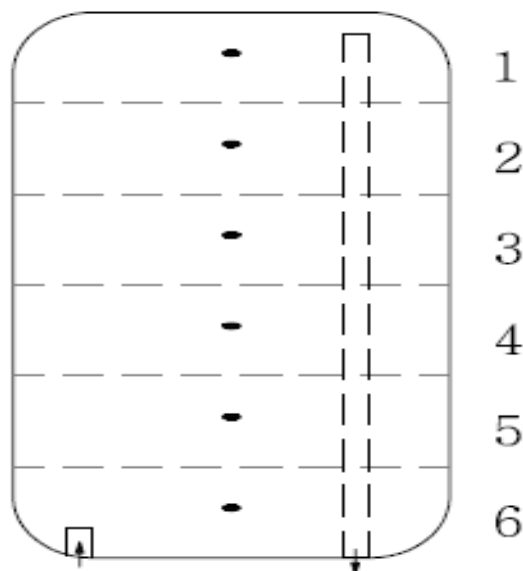
1 – water inflow, 2 – outflow of hot water, 3 – insulation, 4 – water tank, 5 – enclosure, 6 – measuring sensor, 7 – auxiliary connector, 8 – immersion heater, 9 – electric and regulatory unit

Ustalono standardowe punkty pomiarowe temperatury. Ich położenie w zbiorniku wody obrazuje rysunek 2 i tabela 1.

Tabela 1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych

Table 1. Location of measurement points

Numer punktu	Odległość od poziomu wody [mm]	Masa objętości wody [kg], odpowiadająca danemu punktowi pomiarowemu
1	17,2	0,790
2	62,4	0,897
3	107,8	0,903
4	153,5	0,915
5	199,9	0,953
6	249,6	0,623



Rys. 2. Rozmieszczenie punktów pomiarowych, objaśnienie w Tabeli 1

Fig. 2. Location measuring points explanation in Table 1

Dobór punktów pomiarowych pozwala na podział całkowitej objętości wody w zbiorniku na sześć części. Masy tych części zamieszczono w tabeli 1. Średnią temperaturę każdej z nich można przyjąć jako temperaturę jej środka ciężkości, którego położenie jest w przybliżeniu lokalizacją odpowiedniego punktu pomiarowego. Takie ustalenie punktów pomiarowych powinno być przydatne w bilansie energii podgrzewacza [2].

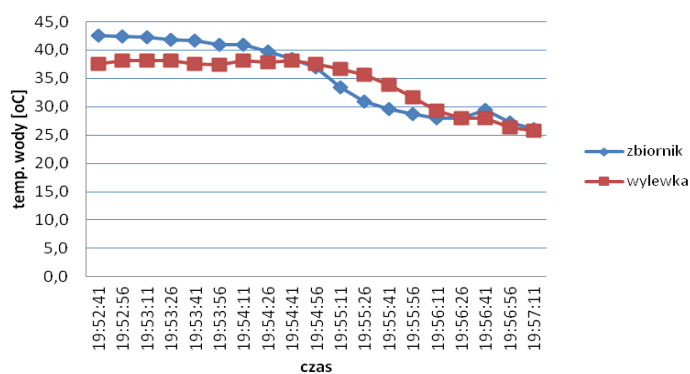
4. Sposób prowadzenia badań

Przeprowadzono badania pozwalające zweryfikować ilość ciepłej wody możliwej do uzyskania przy różnych strumieniach wypływającej wody. Przeprowadzono pomiary temperatury [1] wody w zbiorniku (rys. 2. punkt 2. od góry) i wody w wylewce dla kilku strumieni wody. Wykorzystano aparaturę pomiarową ALMEMO 2590-4S V6 [3]. Nominalny strumień wody „do mycia rąk” przyjęto $3 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Przeprowadzono pięć pomiarów przy nastawie regulatora „E” czyli ok. $40 - 42 \text{ }^\circ\text{C}$. Przyjęto następującą konwencję określić:

1. woda o temperaturze nie mniejszej niż 37°C ma parametry w przybliżeniu takie jak nastawy regulatora – woda ciepła;
2. woda o temperaturze $30 - 37^\circ\text{C}$ – woda letnia;
3. woda o temperaturze $25 - 30^\circ\text{C}$ – woda chłodna;
4. poniżej 25°C – woda zimna.

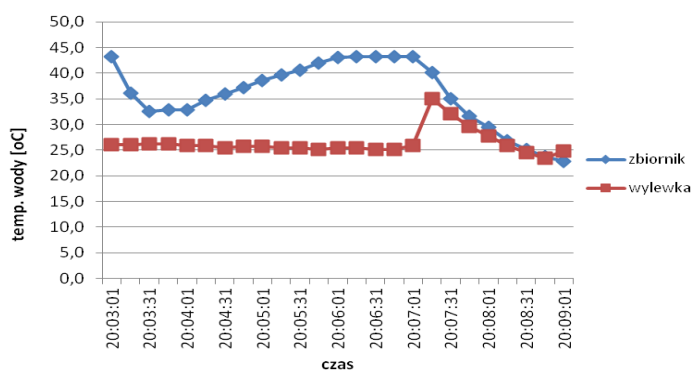
5. Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów temperatury wody w zbiorniku w punkcie pomiarowym o numerze „2” i w wylewce dla różnych strumieni wody przedstawiają rysunki 3 – 7.



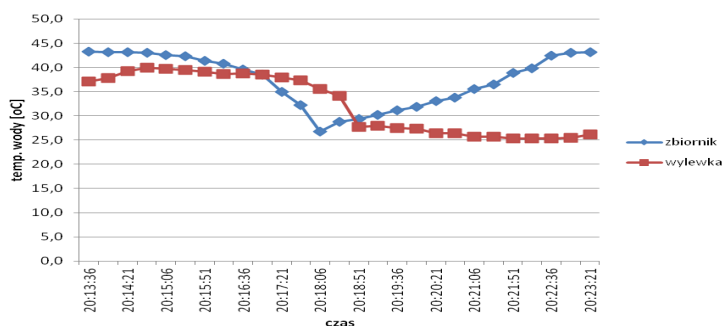
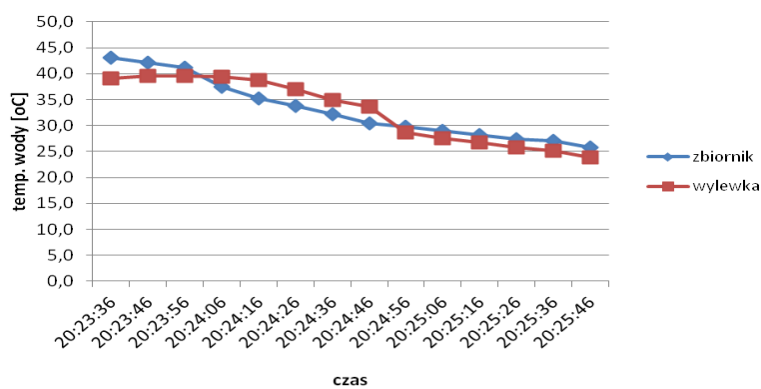
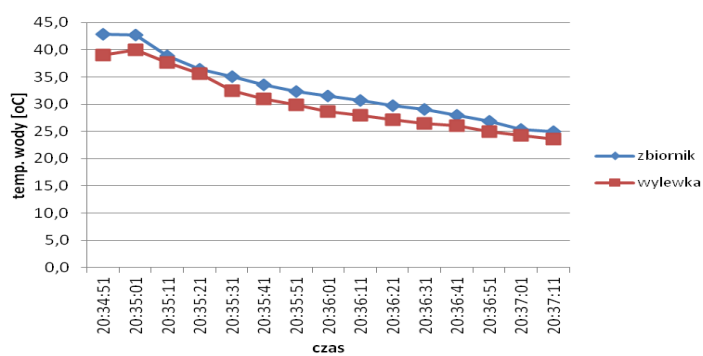
Rys. 3. Pomiar przy małym przepływie wody $Q = 1,2 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$

Fig. 3. The measurement at low flow of water $Q = 1,2 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$



Rys. 4. Pomiar przy bardzo dużym przepływie wody $Q = 5,37 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$

Fig. 4. Measurement at really high flow rate of water $Q = 5,37 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$

Rys. 5. Pomiar przy bardzo małym przepływie wody $Q = 0,68 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ Fig. 5. Measurement at very low flow of water $Q = 0,68 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ Rys. 6. Pomiar przy prawie nominalnym przepływie wody $Q = 2,17 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ Fig. 6. Measured at nearly nominal water flow $Q = 2,17 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ Rys. 7. Pomiar przy nominalnym przepływie wody $Q = 2,91 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ Fig. 7. Measurement at nominal flow rate of water $Q = 2,91 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$

6. Analiza wyników

Wykresy na rysunkach 3 – 7 pokazują, że na początku pomiaru temperatura wewnątrz zbiornika wody była wyższa niż temperatura w wylewce. Jedynie w dwóch przypadkach: dla strumienia $5,37 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ (rys. 4) i dla strumienia $2,91 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ (rys. 7) ta relacja pozostała prawdziwa do końca pomiaru. Znaczący to, że stratyfikacja termiczna wody w zbiorniku jest w tych przypadkach zaburzona. Sposób dostarczania wody do zbiornika ma zachowywać ułożenie warstw termicznych w zbiorniku podczas poboru wody tak, aby pod koniec poboru ciepłej wody temperatura wody w wylewce była wyższa niż w zbiorniku. W pozostałych przypadkach (rys. 3, 5, 6) wykresy temperatury wody w zbiorniku i w wylewce przecinały się w zakresie temperatury $37 - 40 \text{ }^\circ\text{C}$ czyli w obszarze wody ciepłej. Na rysunku 6 temperatura wody w wylewce spada poniżej $37 \text{ }^\circ\text{C}$ dużo szybciej niż na rys. 3 i 5. Rysunek 5 jako jedyny obejmuje początek podgrzewania wody grzałką w zbiorniku. Związane jest to z wolnym opróżnianiem zbiornika, pod koniec którego nastąpiło włączenie grzałki. Ze względu na niewielką jej moc nie zmieniło to istotnie temperatury wody w wylewce.

Ilości uzyskanej ciepłej wody dla poszczególnych pomiarów, o numeracji zgodnej z kolejnością wykresów na rysunkach 3 – 7, przedstawia tabela 2. Ilości te jedynie dla pomiaru pierwszego i trzeciego są do zaakceptowania. Strumienie wypływającej wody stanowią od 0,23 do 1,79 strumienia wody „nominalnego do mycia rąk”. Dla pomiaru pierwszego i trzeciego są za małe w porównaniu do strumienia „nominalnego” – stanowią odpowiednio 0,4 i 0,23 jego wartości. Utrzymanie takich wartości strumienia wody jest w przeciętnej eksploatacji niemożliwe; stąd wymóg strumienia wody „nominalnego do mycia rąk” równego $3 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.

Tabela 2. Ilości ciepłej wody dla poszczególnych pomiarów

Table 2. The amount of hot water for particular measurements

Numer pomiaru	Strumień [$\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$]	Czas wypływu ciepłej wody [s]	Ilość ciepłej wody [dm^3]
1	1,2	145	2,9
2	5,37	10	0,90
3	0,68	245	2,78
4	2,17	50	1,81
5	2,91	25	1,21

7. Podsumowanie i wnioski

Przy poborze ciepłej wody o małym i bardzo małym strumieniu ($1,2$ i $0,68 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, stanowiącym 0,4 i 0,23 strumienia wody „nominalnego do mycia rąk”) ilość uzyskanej ciepłej wody jest równa ok. 3 dm^3 i jest wystarczająca.

Dla strumieni 2,17 i 2,91 dm³·min⁻¹ ilość ciepłej wody jest równa odpowiednio 1,81 i 1,21 dm³. Przy największym badanym strumieniu pobieranej wody równym 5,37 dm³·min⁻¹ i stanowiącym 1,79 strumienia wody „nominalnego do mycia rąk” zmierzona ilość ciepłej wody jest bardzo mała - niecały jeden dm³. A poza tym wypływ ciepłej wody następuje po czterech minutach od początku pomiaru (otwarcia zaworu ciepłej wody). Jedną przyczyną wydaje się zidentyfikowana: zbyt duże wymieszanie wody w zbiorniku podczas jej poboru - tym większe im wyższy strumień pobieranej wody. Przy dwóch najmniejszych strumieniach (1,2 i 0,68 dm³·min⁻¹) wymieszanie jest małe, prawie pomijalne.

Nie do końca wiadomo, dlaczego zachodzi tak duże wymieszanie wody. Być może są jeszcze jakieś powody takiego działania akumulacyjnego podgrzewacza wody. Zbudowany układ pomiarowy wykorzystany zostanie do przeprowadzenia bilansu substancji i energii podgrzewacza podczas poboru ciepłej wody [2], co powinno pomóc w znalezieniu przyczyn wadliwego działania podgrzewacza.

Literatura

- [1] Kowalski C.: Kotły gazowe centralnego ogrzewania wodne niskotemperaturowe, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1992.
- [2] Szargut J.: Termodynamika, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1998.
- [3] Universal measuring instruments and data loggers ALMEMO 2590-4S V6, operating instructions, Ahlborn, 2012.

PROPOSAL FOR MEASUREMENT THE WATER TEMPERATURE INSIDE THE ACCUMULATIVE WATER HEATER OF TOO SMALL CAPACITY SANITARY HOT WATER

Summary

Small, accumulation, electric hot water heater occurs commonly in office buildings. One of them has interesting, but irritating properties. With a capacity of about 5 dm³ allows you to get about 1.0 - 1.5 dm³ of hot water at a temperature close to the set (according to the position of Controller) and then gives water with a temperature - you can call it lukewarm. And then already completely cool. Measuring system was proposed which minimally disturb the action of the heater. Through a special opening the insertion of a temperature sensor and the setting the measuring element for a selected level are allowed. During "normal" operating the unit measurement of the temperature inside the volume of water and in addition leaving water temperature of the heater can be carried out.

Keywords: thermal measurements, the measuring system, the temperature, preliminary measurements

Przesłano do redakcji: 30.08.2015 r.

Przyjęto do druku: 1.03.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.122

Agnieszka PEKALA¹
Ewa GŁOWIENKA²

BADANIA KORELACJI PIERWIASTKÓW ŚLADOWYCH W ŚRODOWISKU GLEBOWO – ROŚLINNYM PRZY ZASTOSOWANIU METOD GIS

Celem prezentowanego opracowania jest identyfikacja anomalnych koncentracji geochemicznych w glebach oraz korzeniu marchwi pochodzących z ogródków działkowych miasta Przemyśla. Przy zastosowaniu technik kartograficznych wykonano mapy monitoringu środowiska zanieczyszczeń, obejmujących rejestracje miejsc zakładów przemysłowych, wprowadzających wyznaczone pierwiastki śladowe do środowiska przyrodniczego. Technologie te umożliwiły również wizualizację interakcji zachodzących między systemem przyrodniczym typu gleba-roślina i wykonaniu map korelacji występującej w tym układzie. W ramach badań chemicznych, przy zastosowaniu atomowej spektroskopii absorpcyjnej (ASA), wyznaczono koncentrację kadmu, ołowiu i miedzi w roślinach oraz glebach. Badania mineralogiczne przy zastosowaniu dyfraktometrii rentgenowskiej oraz mikroskopii skenningowej, umożliwiły określenie składu fazowego badanych gleb. Wszystkie operacje i czynności związane z analizą przestrzenną i kartowaniem wykonane zostały w open-source`owym systemie QGIS/GRASS. Uzyskane wyniki badań chemicznych dla materiału roślinnego oraz gleb pozwalają stwierdzić, że we wszystkich 14 miejscach pomiarowych została przekroczona górna dopuszczalna granica zawartości Cd podawana w rozporządzeniu 420/211 komisji UE z 2011 roku. Zawartość Cu i Pb we wszystkich próbkach nie przekraczają dopuszczalnych norm. Mapy korelacji pomiędzy środowiskiem glebowym a roślinnym potwierdzają wyniki badań geochemicznych. Miejsca największej koncentracji kadmu pokrywają się z podwyższoną zawartością tego pierwiastka w roślinach.

Słowa kluczowe: kartografia, geochemia, monitoring środowiska, pierwiastki śladowe, kadm, interpolacja, QGIS/GRASS

1. Wprowadzenie

W monitoringu środowiska naturalnego szczególne miejsce zajmują gleby oraz roślinność je porastająca. Stanowią one abiotyczne elementy ekosystemów

¹ Autor do korespondencji/corresponding autor: Agnieszka Pękala, Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, ul. Poznańska 2, 35-084 Rzeszów, apekala@prz.edu.pl

² Ewa Głowienka, Politechnika Świętokrzyska, Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki, Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, eglo@interia.pl

o znaczącej roli w obiegu pierwiastków w przyrodzie. Środowisko glebowo – roślinne jest strefą szczególnie narażoną na zanieczyszczenia metalami ciężkimi, pochodzącymi z emisji pyłów przemysłowych, komunikacyjnych, zanieczyszczeń z gospodarki komunalnej czy rolnictwa. Przemieszczanie się tych związków z gleby do organizmów zwierząt i ludzi zachodzi przede wszystkim poprzez rośliny, które są najważniejszym ogniwem w łańcuchu troficznym: gleba-roślina – zwierzę - człowiek.

W ramach badań środowiska gruntowo – roślinnego na zawartość w nim pierwiastków śladowych wykonano analizy geochemiczne – mineralogiczne. Pomocnymi metodami w interpretacji uzyskanych wyników oraz przy korelacji zawartości pierwiastków śladowych w układzie gleba – roślina, są metody geodezyjne głównie, techniki kartograficzne oraz technologie GIS i teledetekcji. Wymienione techniki są wykorzystywane w kilku dziedzinach geologii [1,2,3] obejmujących: kartowanie geologiczne, poszukiwanie złóż rud metali, kaustobiolitów i źródeł geotermalnych. Zastosowanie metod GIS z geochemicznego punktu widzenia jest szczególnie istotne przy monitoringu zanieczyszczeń, zwłaszcza biorąc pod uwagę zmiany zachodzące na określonej przestrzeni czasowej.

Anomalie geochemiczne w glebach prowadzą do zwiększenia zawartości pierwiastków toksycznych w roślinach, Kartowanie stężenia obu typów zanieczyszczeń wymaga pozyskanie odpowiednich próbek w terenie. Ich liczba zależy od szczegółowości prowadzonych badań, tj. od skali map, na których mają być przedstawione wyniki (Pasiczna, 2004). Mapy geochemiczne opracowywane są w różnych skalach w zależności od ich przeznaczenia. Mogą to być mapy przeglądowe (1: 500 000 ÷ 1: 5 000 000), regionalne (1: 100 000 ÷ 1: 300 000) lub szczegółowe (1: 10 000 ÷ 1: 25 000). Wyniki dotychczasowych badań geochemicznych zostały opublikowane przez Państwowy Instytut Geologiczny w latach 1991-2003 w formie atlasów geochemicznych. Ponadto, w roku 2015 PIG udostępnił 17 map geochemicznych w formie usług sieciowych WMS (Web map service) (PIG, 2015). Udostępnione mapy geochemiczne przedstawiają zawartości pierwiastków w odniesieniu do wydzielenia geologicznego (PIG, 2015)[4].

1.1. Charakterystyka badanego obszaru

Przemyśl to historyczne miasto położone w południowo – wschodniej Polsce nad rzeką San. Zajmuje powierzchnię około 44 km² i należy do wschodniej części województwa podkarpackiego. Zlokalizowany jest w odległości około 78 km na południowy wschód do Rzeszowa i 12 km na zachód od granicy państwowej z Ukrainą. Z racji licznych walorów przyrodniczych oraz wielu zabytków stanowi rejon coraz częściej odwiedzany przez turystów. Jednym z podstawowych zasobów naturalnych analizowanego terenu są gleby. Dolina Sanu od Przemyśla do ujścia Wisłoka rozdziela obszar województwa podkarpackiego na część północno – wschodnią z glebami brunatnymi i pyłowymi z dużym udziałem gleb bielcowych oraz na część południowo zachodnią, w której występują

gleby brunatne i czarnoziemy, wytworzone na podłożu lessowym. Mady doliny Sanu, gleby pyłowe lekkie i średnie zaliczane są do najlepszych gleb w powiecie, to jest kompleksu pszennego I i II klasy bonitacyjnej. Od północnej części Przemyśla poprzez Radymno za Jarosław ciągnie się szeroki pas gleb typu czarnoziemy, który w połączeniu z czarnoziemami łąkowymi, stanowi 11,8% gleb użytkowanych rolniczo. Na Pogórzu Przemyskim dominują gleby kompleksu zbożowy górski, na glebach brunatnych pyłowych i ilastych np.: w obszarze Wiaru. W Karpatach Brzeźnych części przemyskiej najczęściej występują gleby pyłowe powstałe ze zwietrzliny fliszu.

Na omawianym terenie pierwotnym źródłem zanieczyszczenia środowiska jest emisja pyłów i dymów pochodzących ze spalania surowców energetycznych zawierających zanieczyszczenia, których udział jest zależny od rodzaju węgla i spalanych odpadów. Do ważnych źródeł zanieczyszczeń zlokalizowanych na terenie miasta zaliczyć należy drobne i średnie zakłady przemysłowe. Na terenie Przemyśla zlokalizowano cztery zakłady przemysłowe o najwyższej emisji zanieczyszczeń, w pobliżu których pobrano materiał do przeprowadzonych badań. Należą do nich:

- A. MPEC Sp. z o.o. (Ciepłownia „Zasanie”),
- B. Zakład Wyrobów Powlekanych „ Sanwil” S.A,
- C. Zakład Automatyki „Polna” S.A,
- D. Fibris S.A Zakład płyt Piłśniowych.

1.2. Monitoring środowiska glebowo – roślinnego miasta Przemyśla

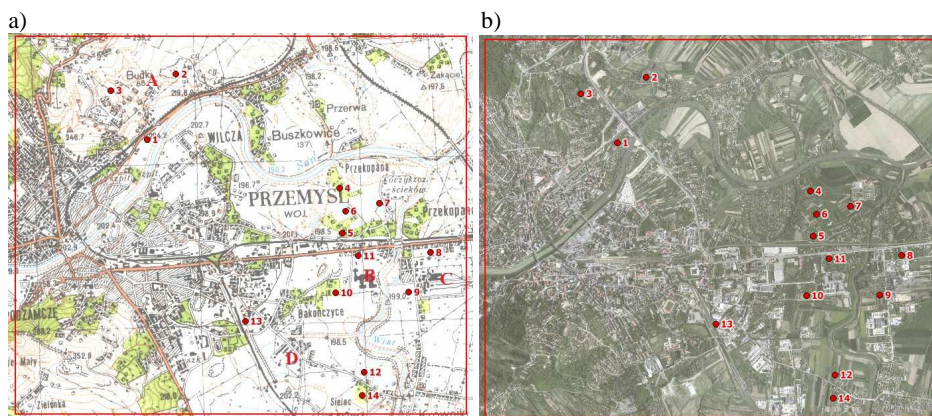
Aktualny stan i ocena jakości środowiska na rok 2013 w Przemyśle zostały przedstawione w oparciu o opracowany przez WIOŚ w Rzeszowie dokument pt „Stan środowiska w województwie podkarpackim w latach 1999-2008. Dane w nim zawarte są zgodne z regulacjami prawnymi, wynikającymi z ustawy Prawo ochrony środowiska z dnia 27 kwietnia 2001r. (Dz.U. Nr 62 poz. 627 z późn. zm.) i przepisami wykonawczymi oraz dostosowane do norm, wynikających z przepisów Unii Europejskiej. Dokument ten pt: „Program ochrony środowiska dla miasta Przemyśla na lata 2010 – 2013, z perspektywą do 2017 r”. nie obejmuje jednak monitoringu gleb miasta Przemyśla [5]. Ostatnie dane odnośnie, badań gleb i roślin wokół zakładów przemysłowych Przemyśla podaje raport z 1994, Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Przemyśle. Według danych PIOŚ w glebach pochodzących z ogródków działkowych zlokalizowanych wokół Ciepłowni „Zasanie” zarejestrowano w większości punktów pomiarowych podwyższoną koncentrację kadmu, przekraczającą górną granicę zawartości naturalnych. Zawartość kadmu w roślinach tego rejonu była znacznie niższa niż dolna granica zawartości toksycznej, nie mniej jednak niemal we wszystkich punktach przekraczała górną granicę zawartości spotykanych w klasie roślin jednoliściennych. Badania próbek glebowych pobranych wokół ZWP „Sanwil” wykazały, że zawartość kadmu, miedzi i cynku mieściła się w granicach zawartości naturalnej.

Zawartości zaś ołowiu w wielu punktach przekroczyły górną granicę zawartości naturalnych. Na podstawie uzyskanych danych, według wytycznych opracowanych przez IUNiG w Puławach w roku 1992 dokonano ekologicznej klasyfikacji gleb wokół powyższych zakładów Przemysłu. Gleby z rejonu Ciepłowni „Zasanie” zakwalifikowano do IV i III klasy zanieczyszczeń kadmem. Gleby pobrane w rejonie ZWP „Sanwil” były nieco mniej zanieczyszczone i na całym badanym terenie zostały zakwalifikowane do III klasy zanieczyszczeń ze względu na zawartość kadmu [6].

2. Metodyka badań terenowych i laboratoryjnych

Próbki do przeprowadzonych badań pobrano zgodnie z Polską normą (PN-R-04031:1997) z południowo wschodniej części miasta oraz z obszarów nadzalewowych w pobliżu miejsc o znacznej emisji zanieczyszczeń. Łącznie analizom poddano 14 próbek gleb i 14 próbek roślin (korzeń marchwi). Miejsce pobrania próbek przedstawia Rys. 1. W pobranym materiale glebowym i roślinnym, przy zastosowaniu atomowej spektroskopii absorpcyjnej (ASA) na spektrometrze PHILIPS PU 9100Xi Camera SX-100, oznaczono koncentrację takich pierwiastków śladowych jak: ołów, kadm i miedź.

W celu dokładnej identyfikacji składu chemicznego cząstek występujących w glebach Przemysła, przeprowadzono dodatkowe badania wykorzystujące metodę dyfrakcji rentgenowskiej (XRD) oraz elektronowej mikroskopii skaningowej wraz z metodą dyspersji energii promieniowania rentgenowskiego (EDX).

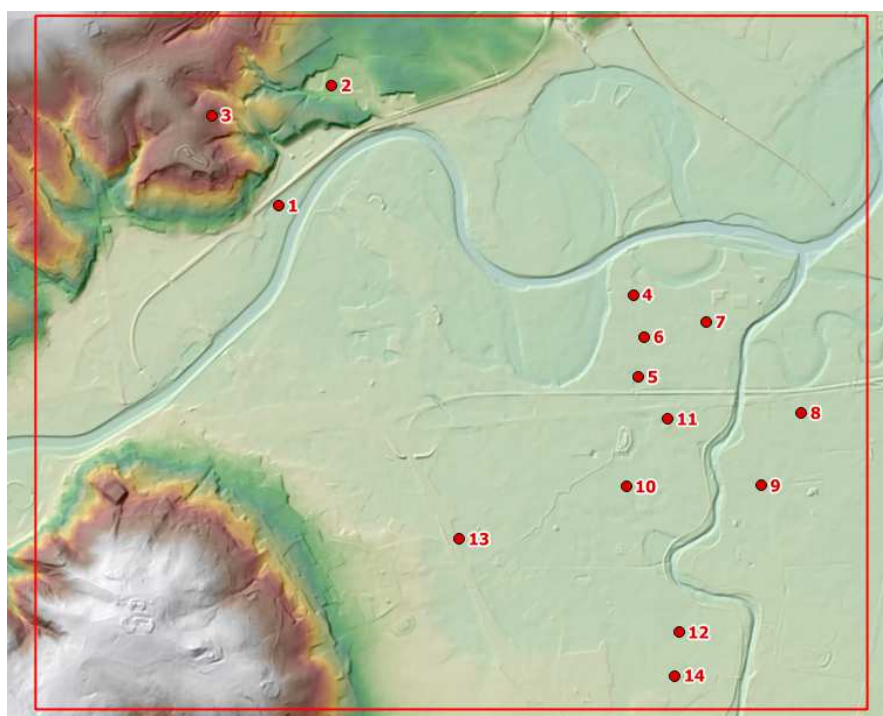


Rys. 1. Lokalizacja poboru próbek na wybranym obszarze badań przygotowana na podkładzie: a) mapy topograficznej b) ortofotomapy (WMS geoportal.gov.pl, dostęp wrzesień 2015)

Fig. 1. Location of sampling points on the selected area of research prepared for base-map: a) a topographic map b) orthophoto map (WMS geoportal.gov.pl, access september 2015)

W trakcie pomiaru terenowego lokalizacja każdego punktu poboru próbki gleby została zmierzona za pomocą odbiornika GPS. Wszystkie operacje i czynności związane z analizą przestrzenną i kartowaniem wykonane zostały w open-source'owym systemie QGIS/GRASS.

W oparciu o współrzędne punktów poboru próbek przygotowano numeryczną siatkę punktów pomiarowych, którą zapisano jako warstwa wektorowa w formacie ESRI Shape file. Na jej podstawie utworzony został obszar testowy o wymiarach 5,5 km × 4,5 km podlegający dalszemu opracowaniu (Rys.1). W celu dokładnej analizy topograficznej i sytuacyjnej utworzona siatka punktów pomiarowych została nałożona na podkład mapy topograficznej (Rys.1a), ortofotomapy (Rys.1b) oraz numeryczny model terenu (pochodne: cieniowanie i mapa hipsometryczna) (Rys.2) dostępne jako usługi sieciowe WMS (*Web Map Service*). Na podstawie map wysokościowych zbadano ekspozycję poszczególnych punktów pomiarowych, co umożliwiło sprawdzenie potencjalnej migracji zanieczyszczeń, które mogło być spowodowane deniwelacją terenu.



Rys.2. Rozmieszczenie punktów pomiarowych na wybranym obszarze badań na podkładzie danych wysokościowych (mapa hipsometryczna i mapa cieniowania) (WMS Geoportal.gov.pl, dostęp wrzesień 2015)

Fig.2. Arrangement of measurement points on a selected area of research on the base-map of elevation data (hypsometric map and the shading map) (WMS Geoportal.gov.pl, access september 2015)

Następnie wykorzystując algorytm interpolacji RST (*Regularized Spline with Tension*), zaimplementowany w systemie GRASS, wykonano kompozycje mapowe stężeń poszczególnych pierwiastków oznaczonych w próbach glebowych (Rys.3, Rys.4, Rys.5) oraz korzeniach marchwi. Metoda RST używa funkcji interpolującej, która jest sumą funkcji trendu i zmienności lokalnej. W ten sposób uzyskano mapy rastrowe stanowiące dwuwymiarowy model stężenia oznaczanych pierwiastków na badanym terenie. Uzyskane mapy w sposób ciągły przedstawiały stężenie oznaczanych pierwiastków dla każdego punktu w obrębie siatki pomiarowej. W celu analizy korelacji stężeń badanych pierwiastków w glebie i w roślinach, przygotowane zostały dodatkowe wektorowe mapy izolinii, przedstawiające stężenia: Pb, Cd, Cu w korzeniach marchwi (Rys.3, Rys.4, Rys.5). Mapy te wygenerowano w oparciu o opracowane uprzednio rastrowe mapy stężeń analizowanych pierwiastków.

3. Analiza i interpretacja wyników

W badanych glebach i materiale roślinnym (korzeniu marchwi) oznaczono zawartość pierwiastków śladowych: Pb, Cd, Cu. Ponadto dla gleb zostały wyznaczone wartości ich kwasowości oraz w oparciu o badania mineralogiczne ustalono ich skład fazowy. Biorąc pod uwagę wymagania zawarte w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi [7] (tab. 1), można stwierdzić, iż zawartości pierwiastków śladowych Pb, Cu uzyskane w wyniku analizy geochemicznej gleb i korzeni marchwi, nie przekraczają dopuszczalnych wartości. Należy podkreślić, że z badanych pierwiastków, jedynie kadm charakteryzuje się wartością najbardziej zbliżoną do górnej granicy dopuszczalnej w glebach tj. zawartości 4 mg / kg s.m. określonej w Rozporządzeniu Ministra Środowiska. Największa zawartość kadmu w analizowanych próbkach wyniosła 2,6 ppm (próbka nr 11) (tab.1). Ponadto, warto zaznaczyć, że koncentracje te są również

Tabela 1. Wartości statystyczne stężeń Pb, Cd i Cu w glebie i materiale roślinnym z terenu Przemysła.

Table 1. Statistical values of concentrations of Pb, Cd and Cu in soil and plant material from the Przemyśl area.

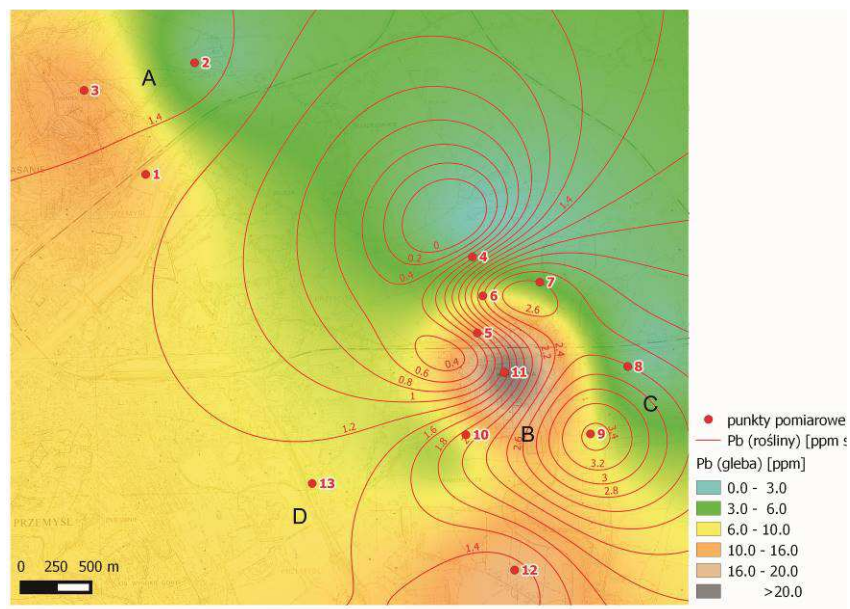
Wartość statystyczna	Stężenie pierwiastków śladowych w glebie [ppm s.m.]			Stężenie pierwiastków śladowych w roślinach [ppm s.m.]		
	Pb	Cd	Cu	Pb	Cd	Cu
Średnia	10,56	1,09	20,6	1,70	1,81	5,54
Max	21,4	2,60	50,8	3,5	2,15	8,0
Min	3,9	0,17	9,6	0,5	1,29	3,2
Mediana	9,7	0,74	19,2	1,4	1,72	4,8
Odchylenie standardowe	5,16	0,79	9,98	0,82	0,30	2,16

kilkukrotnie podwyższone w stosunku do danych zawartych w Atlasie Geochemicznym na terenie Przemyśla ($\text{Cd} < 0,5 \text{ ppm}$) [8,9]. Podobną sytuację zaobserwowano w przypadku koncentracji kadmu w korzeniach marchwi. Jego stężenie kształtuje się w przedziale 1,29 – 2,15 ppm s.m [11] (tab.1). Na podstawie analizy dopuszczalnych stężeń dla kadmu ujętych w rozporządzeniu KE [2011] oraz rozporządzeniu Ministra Środowiska [2003] można stwierdzić, że stężenie tego pierwiastka uzyskane w wyniku badań przeprowadzonych na terenie Przemyśla przekracza wartość dopuszczalną, wynoszącą $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ świeżej masy [12,13].

Przeprowadzone badania mineralogiczne wykazały, że główną fazą mineralną badanych utworów jest kwarc. Obok kwarcu we wszystkich badanych próbkach stwierdzono minerały z grupy węglanów. Identyfikacja faz metodą dyfrakcji rentgenowskiej ujawnia, że w większości przypadków jest to kalcyt. Wykazano też obecność skaleni sodowo - wapniowych. Odmiany potasowe skaleni reprezentowane są przez ortoklaz i mikroklin. Obok wymienionych składników stwierdzono także obecność minerałów ilastych – kaolinitu, minerałów z grupy mik (illit, muskowit) oraz minerałów z grupy smektytu [9]. Powyższy skład fazowy jest typowy dla gleb macierzystych Przemyśla. Analiza zdjęć w SEM nie wykazała w badanych glebach obecności np. detrytycznych ziaren tlenków żelaza, sferul magnetycznych czy cząstek żelaza metalicznego, mogących świadczyć o zanieczyszczeniu gleb pyłami przemysłowymi. Po przeprowadzonej analizie składu chemicznego przy zastosowaniu metod mineralogicznych, nie można jednak wykluczyć, zanieczyszczeń pochodzących z pyłów elektrociepłowniczych, w których to składzie występują takie minerały, jak: kwarc, szkliwo krzemianowe i mullit [10].

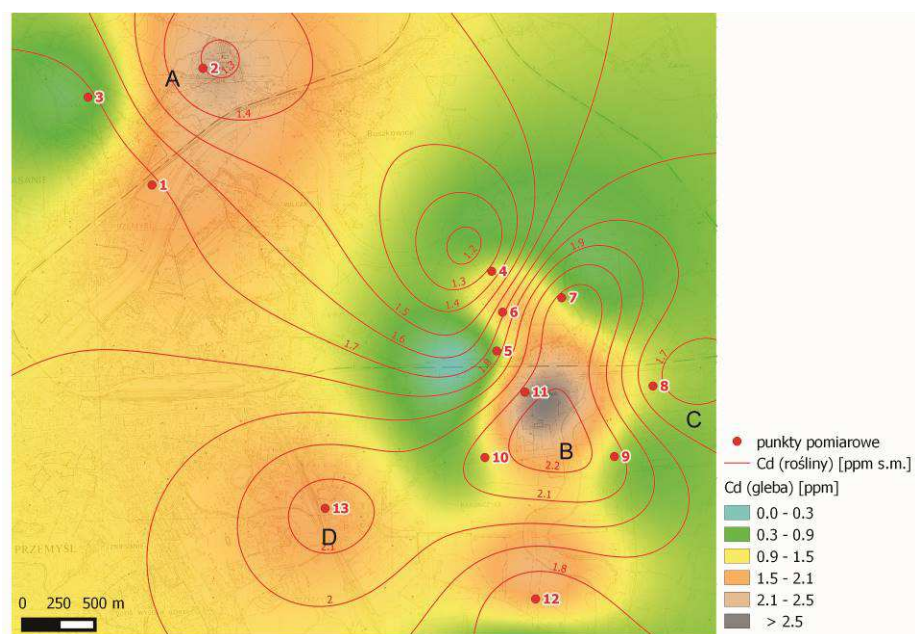
Wizualizacja uzyskanych wyników przy zastosowaniu metod kartograficznych, pozwoliła zarejestrować na analizowanym terenie Przemyśla miejsca największej koncentracji metali ciężkich (Rys.3, Rys.4, Rys.5). Należą do nich obszary zlokalizowane wokół zakładów przemysłowych ZWP „Sanwil” oraz przy Elektrociepłowni „Zasanie” (Rys.3,4,5). Mapy korelacji pomiędzy środowiskiem glebowym a roślinnym potwierdzają wyniki badań geochemicznych. Miejsca największej koncentracji kadmu (Cd) pokrywają się z podwyższoną zawartością tego pierwiastka w roślinach (Rys.4).

Analizując stężenia pierwiastków na uzyskanych mapach korelacji zaobserwowano, iż najbardziej narażonym na wpływ zanieczyszczeń pochodzących z obiektów przemysłowych są obszary usytuowane w sąsiedztwie zakładu wyrobów powlekanych SANWIL. Podwyższony poziom zawartości wszystkich pierwiastków w tym rejonie, zarówno w glebie, jak i w roślinności, wskazuje na występowanie nienaturalnego źródła zanieczyszczeń identyfikowane na mapach w promieniu 1,5km od zakładu. Z przeprowadzonej analizy sytuacyjnej (Rys.1) i wysokościowej (Rys.2) wynika, iż zanieczyszczenia badanymi pierwiastkami nie mogły być rezultatem migracji spowodowanej np. dużą różnicą terenu bądź innymi ogniskami zanieczyszczeń.



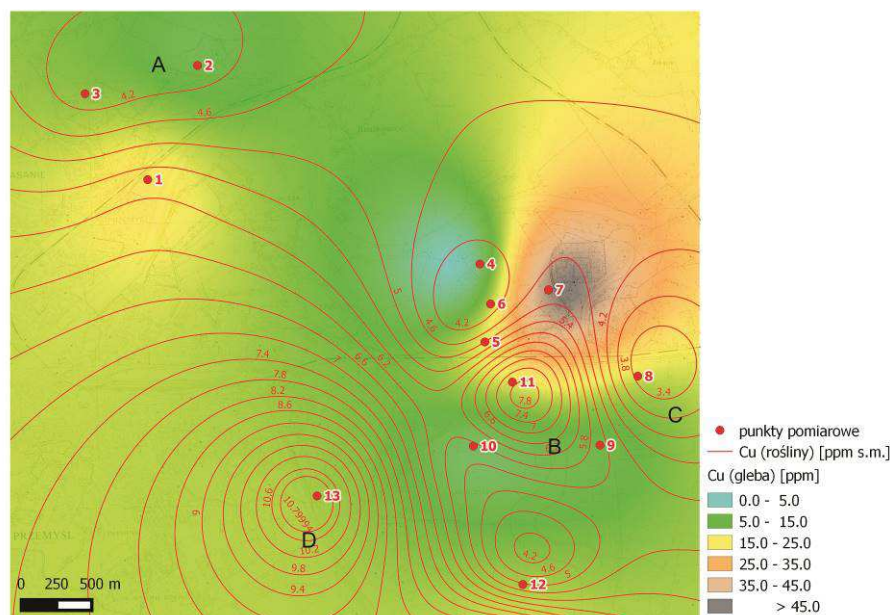
Rys.3. Mapa stężenia ołowiu (Pb) w roślinach i glebach dla badanego obszaru.

Fig.3. Map showing the concentration of lead (Pb) in plants and soil for the study area



Rys.4. Mapa stężenia kadmu (Cd) w roślinach i glebie dla badanego obszaru .

Fig.4. Map showing the concentration of cadmium (Cd) in plants and soil for the study area



Rys.5. Mapa stężenia miedzi (Cu) w roślinach i glebie dla badanego obszaru.

Fig. 5. Map showing the concentration of copper (Cu) in plants and soil for the study area

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania geochemiczne oraz próba ich przestrzennej wizualizacji za pomocą map stężeń, pozwalają stwierdzić, że na analizowanym obszarze kadm wykazuje wartości podwyższone w stosunku do dopuszczalnego poziomu stężenia tego pierwiastka według rozporządzeń polskich i unijnych [12,13]. Na podstawie porównania uzyskanych w tym opracowaniu wyników z rezultatami badań z roku 1992 [6], kwalifikujących gleby w sąsiedztwie Elektrociepłowni „Zasanie” do III I IV klasy zanieczyszczeń kadmem, natomiast gleby w rejonie ZWP Sanwil do III klasy, można zaobserwować obniżenie poziomu zanieczyszczenia dla pierwszej z nich. Na mapach korelacji wyraźnie widać, iż w obecnej chwili głównym ogniskiem zanieczyszczeń jest obszar ZWP „Sanwil”. W przypadku jakości gleb w rejonie Elektrociepłowni można zauważyć poprawę jakości środowiska glebowego, która prawdopodobnie jest wynikiem modernizacji zakładu (wyposażenie kotłów w system odpylania) przeprowadzonej w latach 2006-2007.

Literatura

- [1] Graniczny M.: Kartowanie geologiczne z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych Landsat. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego 2002, 420, s.27-50.

- [2] Graniczny M.: Remonte sensing: A perfect tool for solving geological and geoenvironmental cross-border issues. *Prz.Geol.*2004.52(8/2), s.731-737.
- [3] Milton N.: Remote Sensing of Vegetation Responses to the Environment. *U.S.Geol.Surv.Circ.*1990.1033, s.51-51.
- [4] Pasieczna A.: Mapy i atlasy geochemiczne-bogate źródło informacji o zanieczyszczeniu środowiska. REA - Centrum Doskonałości badań Środowiska Abiotycznego, 2004,nr 6, s.5-6.,. *PIG*, 2015, <http://www2.pgi.gov.pl/>.
- [5] Program Ochrony Środowiska dla Miasta Przemysła na lata 2010-2013, z perspektywą do 2017r. Przyjęty Uchwałą Nr 231/2011 Rady Miejskiej w Przemysłu z dnia 29 września 2011r. i opublikowany w Dzienniku Urzędowym Województwa Podkarpackiego w dniu 24 listopada 2011 r.
- [6] Raport o stanie środowiska w województwie przemyskim w latach 1995-1996. *PIOŚ, WIOŚ w Przemysłu*. Wyd. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Przemysł 1997.
- [7] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (*Dziennik Ustaw - Dz. U.* 2002, Nr 165 poz. 1359).
- [8] Lis J., Pasieczna A.: Atlas geochemiczny Polski 1:2 500 000. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 1995.
- [9] Pękala A. Ocena stanu geochemicznego gleb miasta Przemysła. *Górnictwo i Geologia*. Tom 7, zeszyt 2, Gliwice 2012, 197-205.
- [10] Manecki A., Klasyfikacja i skład mineralny pyłów atmosferycznych. *Prace Mineralogiczne* 57. PAN Kraków 1993.
- [11] Pękala A.: Zawartość Cd, Pb i Cu w korzeniu marchwi z ogródków działkowych Przemysła. *Geochemia i Geologia Środowiska terenów uprzemysłowionych*. Wyd. P.A.NOVA. Gliwice 2014.
- [12] Rozporządzenie Komisji UE NR 420/2011 z dnia 29 kwietnia 2011 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych.
- [13] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 stycznia 2003 roku w sprawie maksymalnych poziomów zanieczyszczeń chemicznych i biologicznych (*Dz.U.* Nr 37, poz. 325).

THE RESEARCH OF THE TRACE ELEMENTS CORRELATION IN SOIL-PLANT ENVIRONMENT USING GIS

Summary

The aim of the present study is to identify anomalous geochemical concentrations in soils and root carrots originating from allotments of the Przemyśl city. Using cartographic techniques there are made monitoring maps of environment pollution, including registrations of industrial plants emitting determined trace elements into the environment. These technologies have also helped to visualize the interaction between the natural system type soil / plant and preparation correlation maps between this system. In the implementation of the study there were used chemical testing to determine the concentration of cadmium, lead and copper in plants and soils. Mineralogical studies made it possible to determine the phase composition of the studied soils, designate also their acidity. There were used atomic absorption spectroscopy (AAS), X-ray diffraction, optical

and scanning microscopy. All operations and activities associated with spatial analysis and mapping were made in opensource system QGIS / GRASS. The results of chemical testing for plant material and soils allow us to conclude that in all 14 measurement points there is exceeded the upper acceptable limit of Cd content given in Regulation 420/211 committee of the EU 2011. The contents of Cu and Pb in all samples does not exceed the permissible norms. The correlation maps between the soil environment and plant are confirmed by the results of geochemical research. Places highest concentration of cadmium correspond with the increased content of this element in plants.

Keywords: cartography, geochemistry, environmental monitoring, trace elements, cadmium, QGIS/GRASS

Przesłano do redakcji: 30.10.2015 r.

Przyjęto do druku: 1.03.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.123

Katarzyna PIETRUCHA-URBANIK¹
Aneta BERNACKA²

ANALYSIS OF WATER INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT - A CASE STUDY OF THE EXEMPLARY WATER SUPPLY SYSTEM

The paper presents the characteristics of the water supply infrastructure in Lubaczów. Thereafter the analysis of the water supply infrastructure based on the collected operational data was performed. Indicators characterizing the water supply infrastructure in the years 1995-2014 were determined. In the analysis the following parameters were used: length of water supply network, the number of water supply connections, water consumption. The analysis was based on data get from the Central Statistical Office for 1995-2014 [4]. The increase in the water supply network in Lubaczów in the considered period amounted 125,8%, while the average increase in the length of water supply network was 0,3 km/year, per one inhabitant falls 1,87-2,38 m of the water supply network. The value of the load intensity of the water supply system in the Podkarpackie region in the years 1995-2009, as opposed to Lubaczów, showed an increasing trend. The length of the water supply system per unit area was 0,88 km/km² in 1995 and has grown to a value of 1,11 km/km² in 2014. The number of water supply connections leading to residential buildings and collective waterworks increased from 1299 in 1995 to 1903. In 2014, the increase amounted 146,5%. The average number of water supply connections per 1 km of water supply network in the years 1995-2014 was 65 no/km, while the difference between the maximum and minimum was 21 no/km, which shows a slight increase of this indicator.

Keywords: water supply infrastructure, water supply system development indicators, failure rate, water supply system

1. Introduction

Lubaczów is a city located in the south-eastern Poland, in the Podkarpackie province, in the district Lubaczów, in the Tarnogrodzki Plateau, at the mouth of the river Sołotwy to Lubaczówka, near the state border with Ukraine. Currently the city has 12 thousands residents, a population density of 490 people/km². The share of working age population for the city is about 65% of the total population.

¹ Aneta Bernacka, Politechnika Rzeszowska

² Autor do korespondencji/corresponding author: Katarzyna Pietrucha-Urbanik, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17 8651703, kpiet@prz.edu.pl

The population under the age of 18 years is about 20-25% of the population, while 10-15% are people of working age.

Water supply pipeline and other components of water supply include [10]:

- backhaul network of water from wells to water treatment plants (WTP),
- backhaul network of treated water from WTP to expansion tanks,
- water supply network with connections,
- the intake of water supplying the Municipality of Lubaczów (the city of Lubaczów).

Lubaczów is supplied with water from the underground water intake by six active drilled wells numbered S-1a, S-2, S-5a, S-6a, S-7, S-8, of total capacity 202 m³/h.

The well S-3 was constructed in 1976, now, since 1993, it is excluded from the operation due to technical wear and is going to be eliminated. At present it serves as a piezometer.

The main potential sources of pollution of groundwater in the area of wells S-1a and S-2 are sewage and rainwater collectors. Due to the relatively small depth of the foundation, 1,5-2,5 m below ground level and the presence of the semi-works with a thickness of 6,5-7,0 m, defaulting on aquifer, the threat from them is potentially vital [10].

Capacity of wells is greater than the demand and therefore they operate alternately, resulting in less technical wear.

In the analysis the following data were used: the length of the water supply network, water supply network density indicator, the number of water supply connections leading to residential buildings and the collective waterworks, the number of water supply connections per 1 km, the intensity of the network load. The analysis can be used to describe the operation of water supply systems [1, 5, 6, 12, 14, 15]. Analysis of the water infrastructure state in the Lubaczów city was conducted for the years 1995-2014 on the basis of data provided by the Central Statistical Office.

2. Analysis of the water supply system of the Lubaczów city

2.1. Increase of the water supply network length in Lubaczów

In the Lubaczów city some private buildings are supplied with water from own wells. In dry periods (low level of underground water), users of private wells can use water from the network, because of decreasing water resources.

The increase in the water supply system length for the whole city in the period 1995-2014 amounted to 125,8% (Fig. 1). The sudden growth of this indicator in 1998 by 11,7% in relation to 1997 was the result of a significant extension of the network, due to the expansion of the city.

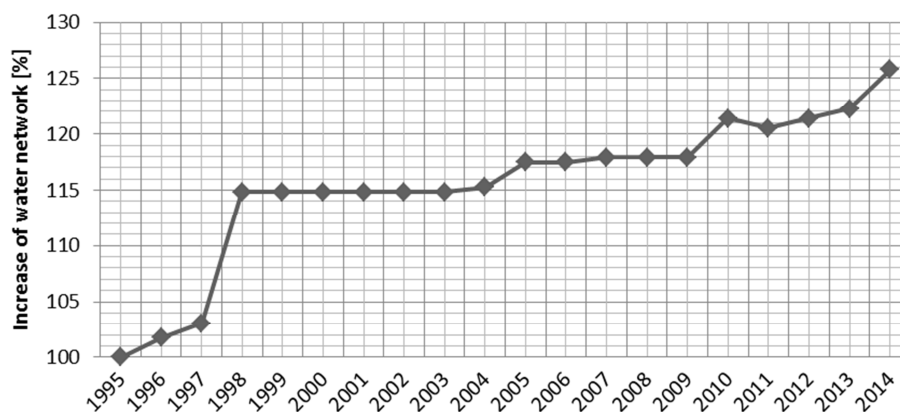


Fig. 1. Growth dynamics of the water supply system in Lubaczów

Rys. 1. Dynamika przyrostu sieci wodociągowej w Lubaczowie

The average increase in water length p_{sr} can be determined according to the formula [2, 3]:

$$p_{sr} = (l_{2014} - l_{1995})/t, [\text{km/year}] \quad (1)$$

where:

l_{1995} – the length of the water supply system at the beginning of the observation period (in 1995), [km],

l_{2014} – the length of the water supply system at the end of the observation period (in 2014), [km],

t – observation time [years], $t = 20$ years.

On the basis of calculations the average increase of the length of the water supply network was 0,3 km per year. A small increase of the water network length in 1995-2014 was due to the lack of significant development of the city in terms of water supply systems construction and new residential buildings are located nearby the existing network. In 2012 67 houses were put into operation, what resulted in a significant expansion of the water supply network before the investment and final inspection.

2.2. Indicators of equipment in water supply networks

In 1995-1998 in Lubaczów fell about 1,9 m of water supply network per one inhabitant (Fig. 2) and in the years 1999 to 2013 the indicator increased from 2,1 to 2,23 m/inhabitant, reaching a value of 2,38 m/inhabitant in 2014. Slight fluctuations in the length of the water supply system per one inhabitant can be seen.

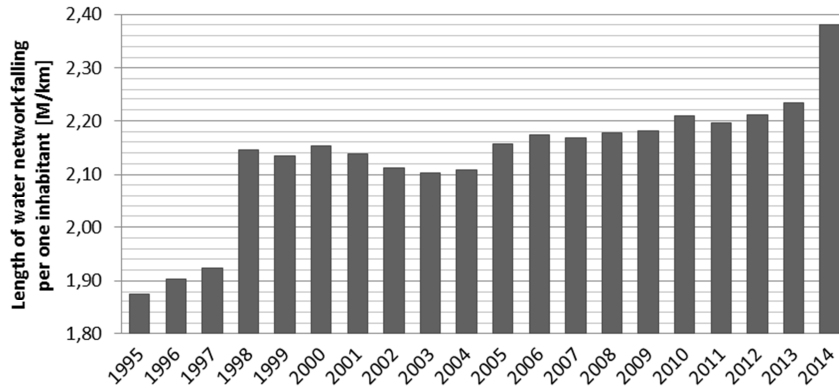


Fig. 2. Length of water network falling per one inhabitant of Lubaczów

Rys. 2. Długość sieci wodociągowej przypadająca na jednego mieszkańca Lubaczowa

The statistical analysis of unit length of water supply network per one inhabitant of Lubaczów was conducted for 20 years. The analysis showed that the average value of this indicator amounted to 2,13 m/inhabitant. The range between the minimum and the maximum value in the 1995-2014 was 0,51 m/ inhabitant, reflecting the minimal development of the water supply system in the city.

Basic descriptive statistics for the water supply network length per one inhabitant of Lubaczów were as follows: average - 2,13, median - 2,16, minimum - 1,87, maximum - 2,38, the coefficient of variation - 55%, the standard deviation - 0,12, range - 0,51, 10% percentile - 1,92, 90% percentile - 2,21.

Indicator, that shows the production capacity of water network and the degree of its use, is the intensity of the network loading q_{os} calculated according to the formula [2, 3]:

$$q_{os} = Q_d/L, [m^3/(d \cdot km)] \quad (2)$$

where:

Q_d – the average daily demand for water, [m^3/d],

L – the length of the water supply network, [km].

The intensity of the water supply network use in Lubaczów in 2003-2014 was lower compared to previous years (Fig. 3). The highest intensity of network load was achieved in 2002 and amounted 77,1 $m^3/(d \cdot km)$ and the lowest 41,3 $m^3/(d \cdot km)$ in 2013-2014. The main reason for this situation is the decrease of water consumption. The value of the intensity of the network loading in the Podkarpackie region in the years 1995-2009 showed an increasing trend ranged from 27,9 $m^3/(d \cdot km)$ in 1995 to 66,8 $m^3/(d \cdot km)$ in 2009 [11]. In Lubaczów, however, this indicator decreases over the years. The main reason for such situation is mainly low density of buildings and low water consumption.

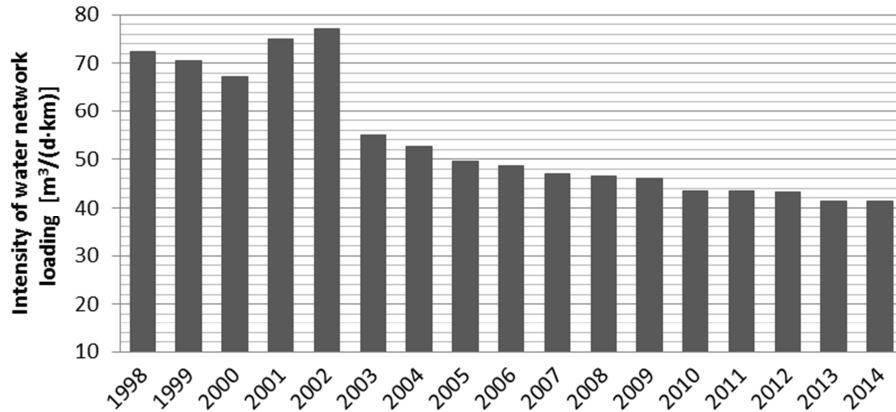


Fig. 3. Intensity of water network loading in Lubaczów

Rys. 3. Intensywność obciążenia sieci wodociągowej w Lubaczowie

A significant relationship between the ratio of the intensity of the water network loading and the number of inhabitants per 1 km of network in the period of 2003-2014 can be noticed (Fig. 4).

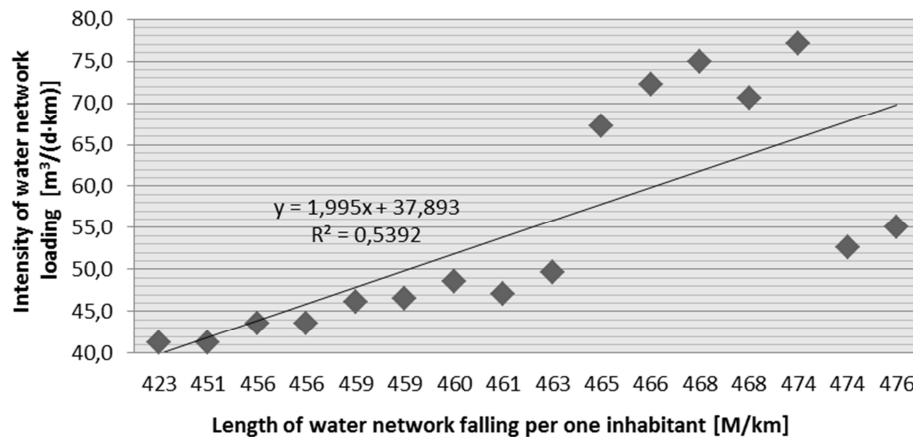


Fig. 4. The coefficients of the intensity of water network loading depending on the number of inhabitants of Lubaczów per 1 km of network

Rys. 4. Współczynniki intensywności obciążenia sieci wodociągowej w zależności od liczby mieszkańców Lubaczowa przypadających na 1 km sieci

Slightly less dependence indicate variables in 1998-2002, when the intensity of the water network loading in Lubaczów was much higher than in the following years. The coefficient of determination is 0,5392, which indicates a strong relationship between the variables.

Another indicator describing the water network state is the length of the water pipes per unit area of the city. In the years 1995-2014 the area of Lubaczów remained unchanged and equals 26 km². In 1995 the density of the water supply system amounted to 0,88 km/km² and increased by 26% in 2014 to a value of 1,11 km/km². A sudden increase in the length of water supply network per 1 km² of the city area in 1998, of 12% compared to 1997, was caused by the expansion of the water supply network.

Knowing the length of the water network, the number of water supply connections per 1 km of water supply network l_{sr} can be determined according to the dependence [2, 3]:

$$l_{sr} = n / \sum l_r, [\text{no}/\text{km}] \quad (3)$$

where:

n – the number of water supply connections, [no],

$\sum l_r$ – the total length of the water network, [km].

The number of water supply connections in Lubaczów in the years 1995-2014 was shown in the Figure 5.

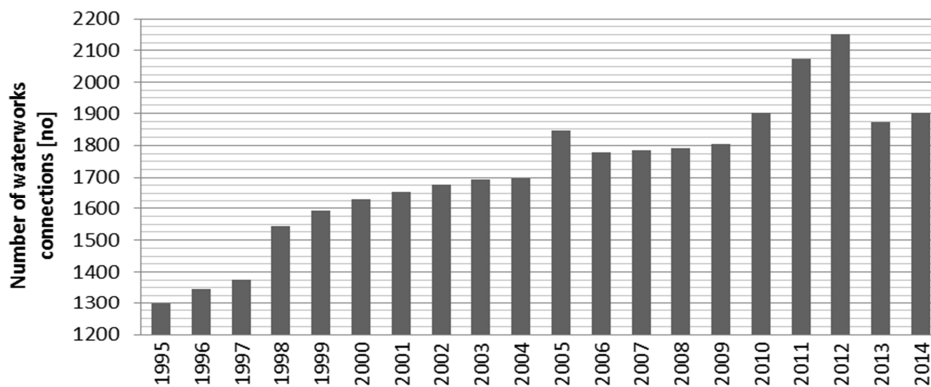


Fig. 5. Number of waterworks connections in Lubaczów

Rys. 5. Liczba przyłączy wodociągowych w miejscowości Lubaczów

The number of water supply connections in Lubaczów in 2014 increased of 46,5% in comparison to 1995. The average number of connections was 1,721, and the relative variation of individual values obtained from the measured average variation coefficient, which reached 13%. The value of the dispersion of results equals 854 water supply connections at the end of 20 years, shows a large increase of water supply connections number in Lubaczów.

The average value of water supply connections per 1 km of water supply network for Lubaczów was 65 no/km, while the difference between the maximum and minimum is 21 no/km, which at the end of 20 years shows a slight increase of the number of water supply connections per 1 km of the length of water supply network in Lubaczów.

In order to assess the development of water supply infrastructure in cities of comparable population the indicators of considered water network in Lubaczów (with a population of 12517) were compared to two selected cities of Podkarpackie Province: Leżajsk (with population 14363) and Nisko (with population 15484). The characteristics was shown in Table 1.

Table 1. The development of water supply infrastructure in cities of comparable population

Tabela 1. Rozwój infrastruktury wodociągowej w miastach o porównywalnej liczbie mieszkańców

Parametrs	Number of waterworks connections[no]	Increase of waterworks connections in comparison to 1995	Water supply connections per 1 km of water network [no/km]	Density of water network [km/km ²]	Length of the water pipes per unit area [km/km ²]	Percentage of population using the water supply network [%]	Intensity of water network loading [m ³ /(d·km)]
Lubaczów	1903	146,5	67	1,11	1,11	96	41,3
Leżajsk	1988	165,9	20	2,64	2,64	91	10
Nisko	2059	2079,8	37	1,71	1,71	77,7	21,3

The aim of the comparison of Lubaczów with cities of similar population was to assess the impact of each indicator on the water supply infrastructure development. Lubaczów is characterized by small development of water supply infrastructure, while Leżajsk, despite of a similar area and population is characterized by greater expansion of the water supply network. In the years 1995-2014 the number of population has been changing slightly in Lubaczów, Leżajsk and Nisko. The large discrepancies in the growth of connections, as well as in the length of the water supply network can be seen. Lubaczów is characterized by the lowest increase in the number of connections in the analysed two decades, however, the number of water supply connections per 1 km of water supply system in comparison with Nisko (8-30 no/km) and Leżajsk (36-44 no/km) is the largest and is 57-78 no/km. It indicates small expansion of Lubaczów and dominance of single-family houses. Lubaczów is characterized by the lowest increase of the network length in comparison to the area in the years 1995-2014. In 1995 Leżajsk had the highest rate of network density 1,63 km/km² and gradually increased to a value of 2,64 km/km² in 2014. Leżajsk and Lubaczów are similar as far as type of building is concerned, but Leżajsk is characterized by greater ex-

pansion of single-family houses, as well as the length of the water supply network. A small length of water supply network per 1 km² in Nisko (0,15 km/km²) in the early years of the analysed two decades and the increase of 1133% to 2014 indicates that there are more multi-family houses than single-family houses. Such situation allows to observe how significant impact on the water supply infrastructure has a type of buildings in the given city.

One of the most important indicators of the technical condition assessment of the network is the pipe failure rate, which can be presented as the failure rate of the water supply network. It is calculated as the number of failures in pipes that occurred in one km of pipeline during the relevant time period. This dependence is determined by the formula [8, 9]:

$$\lambda = n/(L \cdot \Delta t), [\text{failure}/(\text{km} \cdot \text{a})] \quad (4)$$

where:

n – a number of failures in the given time interval Δt , [failure],

L – the length of the water supply network in the studied time interval Δt , [km],

Δt – considered time interval, [a].

In 2014 the failure rate of distributional pipes was 0,17 failure/(km·a) and thus it meets the requirements for failure rates of the distributional pipes which equals 0,5 failure/(km·a) [7, 13].

In relation to Podkarpackie province Lubaczów has a slightly higher level of failure rate. For cities with a population of 10 000-20 000 the failure rate of distributional pipes is 0,13 failure/(km·a) [13]. Mainly those failures occurred in the winter season and were caused by longitudinal and transverse cracks of pipes.

3. Conclusion

The technical condition of the water supply network is not satisfactory, which is the result, among others, of underinvestment in replacing old pipes and years of negligence in maintenance and modernization of the network. More attention is paid to the renovation and construction of new wells, in order to replace depleted wells. It is recommended to renew old water pipes or replace them with the new ones in the future.

In order to minimize costs and improve the water supply system the water company recommended to develop the program of water supply system modernization in the city, as well as the implementation of the project "Improving water supply of Lubaczów inhabitants through the modernization of hydrophone infrastructure in Lubaczów."

Conducting renewal and renovation of water supply system is performed by long-term strategy and its aim is not only to improve water quality but also to reduce the failure rate.

Literature

- [1] Bergel T., Kaczor G., Bugajski P., Stan techniczny sieci wodociągowych w małych wodociągach województwa małopolskiego i podkarpackiego, *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, Nr 3/IV/2013, s. 291-304.
- [2] Dymaczewski Z., Sozański M.M. *Wodociągi i kanalizacja w Polsce tradycja i współczesność*, Polska Fundacja Ochrony Zasobów Wodnych, Poznań-Bydgoszcz 2002.
- [3] Dziembowski Z., *Poradnik wodociągi i kanalizacja. Ekonomika wodociągów i kanalizacji, Część IV*, Wyd. Arkady, Warszawa 1971.
- [4] Główny Urząd Statystyczny, *Ochrona środowiska, Roczniki statystyczne za lata 1995-2014*.
- [5] Iwanejko R., Leń T.: Analiza uszkodzalności sieci wodociągowej eksploatowanej przez SPGK w Sanoku, *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, JCEEA*, t. XXXII, z. 62 (1/15), s. 153-166.
- [6] Iwanek M., Kowalska B., Kowalski D., Kwietniewski M., Miszta-Kruk K., Mikołajuk P.: Wpływ różnych czynników na awaryjność sieci wodociągowej w układzie przestrzennym – studium przypadku, *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, JCEEA*, t. XXXII, z. 62 (1/15), s. 167-183.
- [7] Kwietniewski M., Rak J.: *Niezawodność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce. Studia z Zakresu Inżynierii*, nr 67. Polska Akademia Nauk, Warszawa 2010.
- [8] Kwietniewski M., Roman M., Kloss-Trębaczkiwicz H.: *Niezawodność wodociągów i kanalizacji*. Arkady, Warszawa 1993.
- [9] Mays W. L.: *Reliability analysis of water distribution systems*. American Society of Civil Engineers, New York 1989.
- [10] Pergół S., Sokołowski J., *Wody podziemne. Bilans zasobów eksploatacyjnych i dyspozycyjnych wód podziemnych Polski wg stanu na dzień 31.12.2011 r.*, Państwowy Instytut Geologiczny–Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2012.
- [11] Pietrucha–Urbanik K., *Infrastruktura wodociągowa w województwie podkarpackim w latach 1995–2008*, *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, Nr 276, z. 58 (2/2011), s. 259-269.
- [12] Pietrucha–Urbanik K.: Prioritizing water pipe renewal using fuzzy set theory, *Journal of KONBiN* 1(33)2015, p. 243-250. DOI 10.1515/jok-2015-032.
- [13] Rak J.: *Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę*. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, vol. 28. Wydawn. Drukarnia Liber Duo Kolor, Lublin 2005.
- [14] Studziński A., Pietrucha–Urbanik K., Mędrala A.: Analiza strat wody oraz awaryjności w wybranych systemach zaopatrzenia w wodę, *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, JCEEA*, t. XXXI, z. 61 (4/14), 2014, s. 193-201. DOI:10.7862/rb.2014.144.
- [15] Wiczysty A.: *Metody oceny i podnoszenia niezawodności działania komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę*. Wydawnictwo Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, Kraków 2001.

ANALIZA STANU INFRASTRUKTURY WODOCIĄGOWEJ NA PRZYKŁADZIE WYBRANEGO SYSTEMU ZAOPATRZENIA W WODĘ

Streszczenie

W pracy przedstawiono charakterystykę infrastruktury wodociągowej w Lubaczowie. Następnie sporządzono analizę stanu infrastruktury wodociągowej na podstawie zebranych danych eksploatacyjnych. Wyznaczono wskaźniki charakteryzujące infrastrukturę wodociągową w latach 1995–2014. W analizie wykorzystano następujące parametry: długość sieci wodociągowej, liczbę przyłączy wodociągowych, zużycie wody, na podstawie danych uzyskanych z Głównego Urzędu Statystycznego za lata 1995÷2014 [4]. Przyrost sieci wodociągowej w mieście Lubaczów w rozpatrywanym okresie wyniósł 125,8%, natomiast średni przyrost długości sieci wodociągowej wyniósł 0,3 km/rok, na jednego mieszkańca Lubaczowa przypadało 1,87–2,38 m sieci wodociągowej. Wartość intensywności obciążenia sieci wodociągowej w województwie podkarpackim w latach 1995–2009, w przeciwieństwie do Lubaczowa miała tendencję wzrostową. Długość sieci wodociągowej przypadająca na jednostkę powierzchni wynosiła 0,88 km/km² w 1995 roku i wzrosła do wartości 1,11 km/km² w 2014 roku. Liczba przyłączy wodociągowych prowadzących do budynków mieszkalnych i zbiorowego zamieszkania wzrosła z 1299 szt. w 1995 roku, do wartości 1903 szt. w 2014 roku, więc przyrost wynosi 146,5%. Średnia liczba przyłączy wodociągowych przypadających na 1 km sieci wodociągowej w latach 1995–2014 wynosiła 65 szt./km, natomiast różnica pomiędzy wartością maksymalną, a minimalną wynosi 21 szt./km, co świadczy o niewielkim przyroście tego wskaźnika.

Słowa kluczowe: infrastruktura wodociągowa, wskaźniki rozwoju sieci wodociągowej, wskaźnik intensywności uszkodzeń, sieć wodociągowa

Przesłano do redakcji: 29.01.2016 r.

Przyjęto do druku: 1.06.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.124

Katarzyna PIETRUCHA-URBANIK¹
Adrian SZELIGOWSKI²

ANALYSIS OF WATER CONSUMPTION CHANGEABILITY IN THE EXEMPLARY WATER SYSTEM

In the paper the analysis of changes in water consumption in the city of Krosno on the basis of the operating data from the last decade was presented. Moreover, the characteristics of Krosno and the water supply system were presented. Water production analysis depending on the month and season was shown. Unit average daily water consumption per capita was calculated. The analysis showed that the demand for water in Krosno is subjected to fluctuations. The highest water demand was recorded in July and August and the lowest in November. Water consumption in Krosno is steadily declined, in 2006 it amounted to 6 397 594 m³/year, whereas in 2014 it was 5 392 777 m³/year. Major contribution to the decrease in water consumption in Krosno has industry where over 30% of total water consumption fell to 15%. Low water consumption is influenced by the high price of water, the use of local water supplies, as well as water saving. The calculated values were compared with the Regulation of the Infrastructure Minister concerning the average water consumption standards, corresponding to the fourth category of sanitary equipment. Krosno water supply network is continuously expanded and new connections are created so that more and more consumers have access to tap water (currently approx. 94% use the water supply network).

Keywords: water consumption, water production, water consumption indicators, changeability in water consumption

1. Introduction

Krosno is a city located in the area of Jasło-Sanok, which is a border to the north of the Strzyżów-Dynów Foothills and on the south of the Beskid Niski. Krosno is located in an area with a temperate climate with frequent strong winds from the Dukla Pass. The city center is situated on a height of 277 m above sea level, on a hill, at the confluence of river and stream Wisłok Lubatówka [5].

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Katarzyna Pietrucha-Urbanik, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17 8651703, kpiet@prz.edu.pl

² Adrian Szeligowski, Politechnika Rzeszowska

Krosno covers an area of approx. 45 km², with approx. 50 thousands inhabitants. According to data obtained from Central Statistical Office (CSO) for the last 10 years, the number of inhabitants in Krosno decreased by more than 600 people, whereas the number of people who inhabit the community directly adjacent to the city increased.

According to the data of the CSO in 2005 the number of residents of Krosno was the 47817 thousands. Apart from 2008 and 2009 when the population rose by a total of 86, in the remaining years systematic decline from 40 to 250 people was recorded. At the end of 2014 the number of residents was 47140, which over the last decade decreased of about 677 people [2].

Currently Krosno water supply system provides water for industrial plants and residents in the area of Krosno and to ten municipalities of the district Krosno and Sanok (Besko, Zarszyn, Chorkówka, Jedlicze, Iwonicz, Korczyn, Wojaszówka, Rymanów, Krościenko Wyżne, Place Piastowe) [4, 5].

Despite supplying so many municipalities the length of water supply network in the city is almost two times longer than beyond the city. It shows a highly developed water supply system, a large number of connections and a high percentage of the population in Krosno using water from the network. Almost every water supply system has the greatest length of the distributional pipes, the same situation is in analysed area, which occupies 50% of the whole network. The shortest is the main network occupying only 14%, the rest are connections with a total length of 230,9 km [7].

The largest increase in the length of the distribution network occurred in the years 2006 and 2007, up to 38,9 km, what with a small number of new connections resulted in a decrease of over 20% of connections in comparison to pipes length. The reverse situation occurred in the years 2009 and 2010, where the majority of new connections in the analysed period were built, i.e. 1006 units.

2. Production capacity and water consumption

Currently, the city of Krosno and 10 communes of Krosno and Sanok are supplied from three Water Treatment Plants (WTPs) in Szczepańcowa, Iskrzynia and Sieniawa a production capacity of approx. 36 000 m³/d and with the average daily production of approx. 14 500 m³. The oldest plant is located in Szczepańcowa which supplies Krosno from water intake in the river Jasiołka, while the other two plants are located on the river Wisłok (Iskrzynia and Sieniawa) [4,5]. The largest production capacity has Water Treatment Plant in Sieniawa that could provide nearly 50% of the total water demand, not much less has plant in Iskrzynia 14,000 m³/d, while the smallest plant is the oldest plant in Szczepańcowa.

Summary of the average daily water consumption and production is shown in Figure 1.

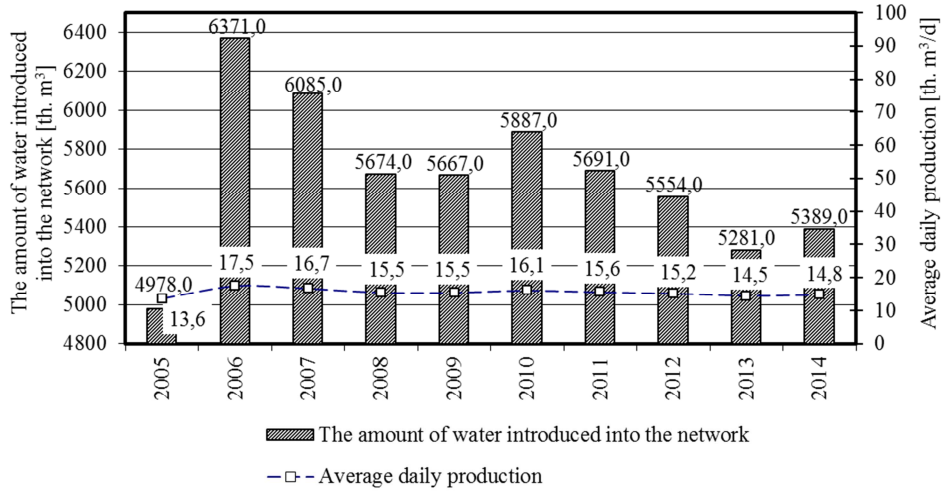


Fig. 1. Summary of water consumption and average daily water production

Rys. 1. Zestawienie poboru i średniodobowej produkcji

Figure 2 shows water introduced from each WTP.

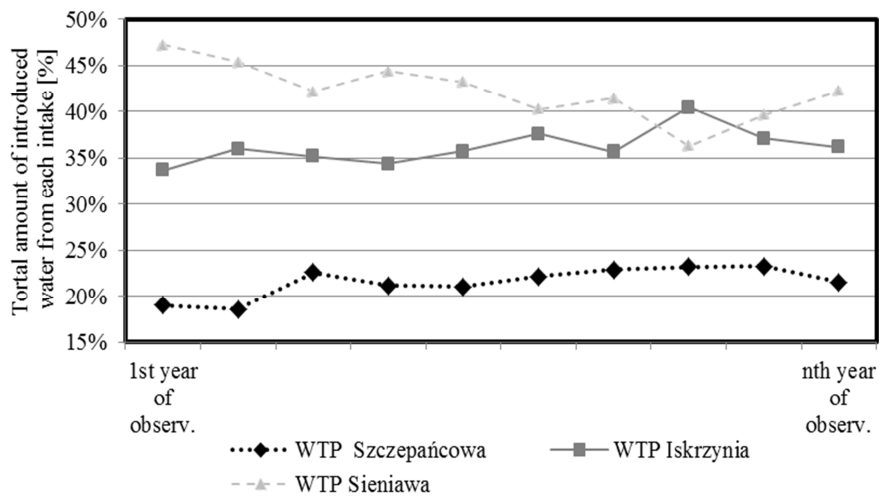


Fig. 2. Total amount of water introduced from WTPs: Szczańcowa, Sieniawa and Iskrzynia

Rys. 2. Łączna ilość wody wtłoczonej z ZUW: Szczańcowej, Sieniawy oraz Iskrzyni

The percentage of water introduced into the water supply network over nine years is at the level 42,24% for WTP "Wisłok" Sieniawa, 36,21% for WTP "Wisłok" Iskrzynia, 21,55% WTP "Jasiołka" Szczańcowa. WTP "Wisłok" Sieniawa produced the most amount of water. Only in 2013 WTP "Wisłok" Is-

krzynia produced more water than WTP "Wisłok" Sieniawa by about 4,13%. It was due to modernization of WTP "Wisłok" Sieniawa. Water production from plant "Jasiołka" Szczepańcowa between 2006 and the average increased by 2,52% , between 2006 and 2014 increased by 4,25%. The increase in production is due to the economic activities of the company, the production cost of 1 m³ of water in plant "Jasiołka" Szczepańcowa is the lowest among all the WTP [3].

According to the data obtained from the Municipal Enterprise for Communal Economy in Krosno the largest water production amounted to 6 371 thousand m³ and occurred in 2006. The smallest amount of water was produced in 2005 and amounted to 4 978 thousand m³, it differs by 1393 thousand m³ in comparison to 2006. The range of the average daily water production in the analysed interval is from 13,6 to 17,5 th. m³/d, which in comparison to production capacity of 3 plants with 36 th. m³/d gives the capacity utilization of approx. 38-49%. The precise values of the capacity utilization in the water treatment plants in the reporting period are shown in Figure 3.

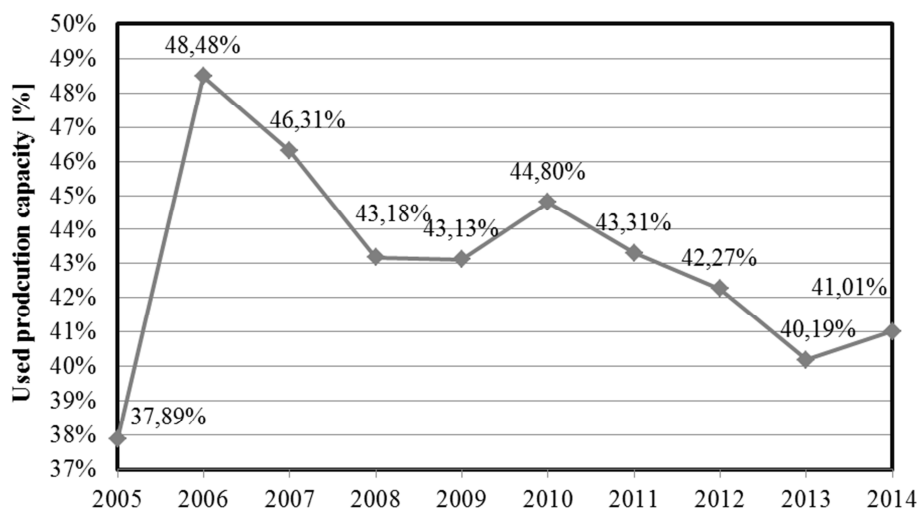


Fig. 3. The percentage of used production capacity

Rys. 3. Procent wykorzystywanej zdolności produkcyjnej

Monthly changeability of water consumption in housing is dependent on many different factors, e.g. vacations, residents lifestyle, their plans for holidays and weather conditions. In contrast, the water consumption in the industry is completely different. During the holiday season it is the lowest due to the decline in production and departures of employees, which also occurs in the holiday periods.

The difference between the water production based on the arithmetic mean of the analysed years in individual months is not large and is less than 9%. The month with the highest water consumption was March in 2006 when 570819 m³ of water was used and the lowest in February 2014 with the amount of 410621 m³, the difference is almost 30%. The arithmetic means of the analysed period indicate that the month with the highest demand of water is July, which is the month in which the highest temperatures of the year were recorded (Fig. 4).

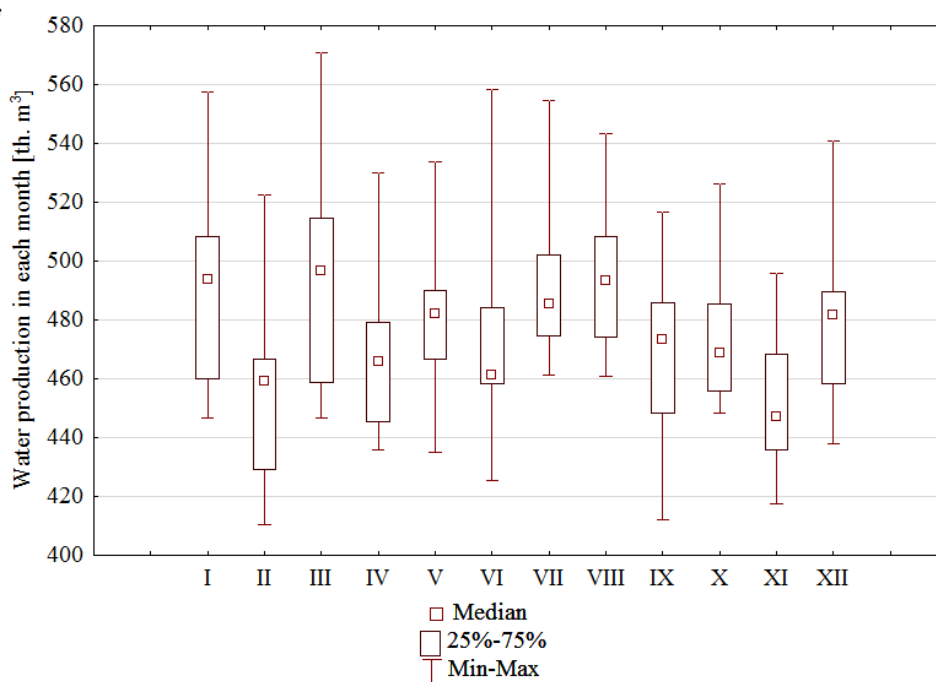


Fig. 4. Water production in each month [th. m³]

Rys. 4. Produkcja wody w poszczególnych miesiącach [tys. m³]

Grouping water production for individual seasons shows how much water has been taken depending on temperatures. Taking into account the arithmetic average of the analysed years, water consumption in individual seasons remains at constant level. The highest water consumption occurred in summer, while in autumn and winter water consumption was lower than in other seasons and in spring of 2013 reached the lowest value of 1,296 thousand m³.

As to indicate the percentage value of changeability through seasonal indicator was calculated according to the formula [8]:

$$S_i = \frac{\bar{y}_i \cdot d}{\sum_{i=1}^d \bar{y}_i} \cdot 100 \quad (1)$$

where S_i is seasonal indicator for subperiod; is arithmetic mean of the magnitude of the examined occurrence in uninominal subperiods (January, with February,..., December) in years 2000÷2008 [11]; d_j is number of uninominal subperiods, $d_j = 4$; d is number of months in the year, $d = 12$.

Designated seasonal variations for each month is shown in Figure 5.

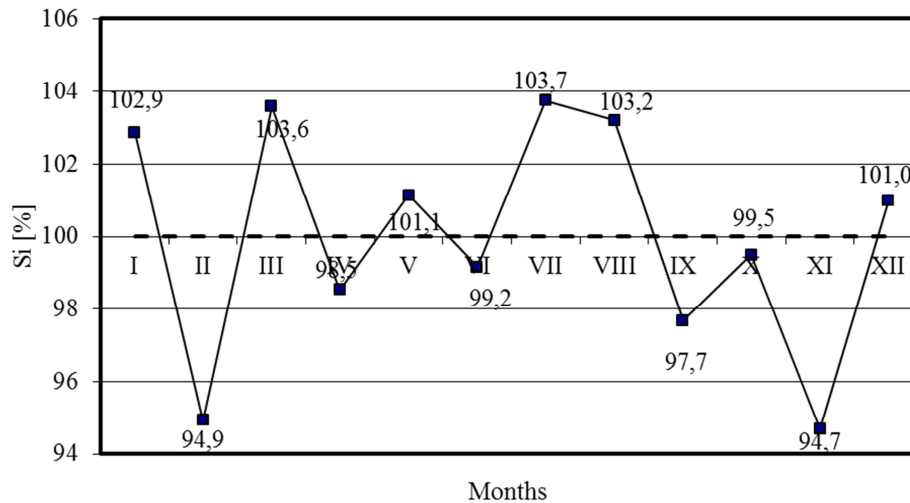


Fig. 5. Seasonal variations of the water consumption in distinguished months

Rys. 5. Wahania sezonowe zużycia wody w poszczególnych miesiącach

The highest water consumption compared to the average value occurred in July (on average 3,7%), August (on average 3,2%) and March (on average 3,6%). Water consumption in the four months (April, May, June, October) shapes around the average value. The lowest consumption occurred in February, November which confirmed the previously conducted analysis.

In order to determine the average changeability rate in water consumption the chain indexes were designated, as shown in Table 1.

Table 1. Chain changes in water consumption

Tabela 1. Łańcuchowe zmiany zużycia wody

Year	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
$i_{t/t-1}$	-	0,886	1,091	0,989	0,941	0,992	0,877	0,966	0,907	0,874	0,979	0,966	1,447	0,719	0,957

Then the geometric average of the chain index chain was determined according to the formula [6]:

$$i_{t/t-1} = \sqrt[n-1]{i_{2/1} \cdot i_{3/2} \cdot \dots \cdot i_{n/n-1}} \quad (2)$$

and the average rate of change was calculated according to the formula [6]:

$$\bar{T} = (i_{t/t-1} - 1) \cdot 100\% \quad (3)$$

Based on the calculations the average rate of change amounted to -4,31%, which means that the annual water consumption decreased on average of about 4,31%.

The amount of water consumed by three basic groups of recipients was shown in the Fig. 6. The largest decrease in water consumption was observed in a group of industrial customers, with almost 1 000 thousand. m³ to the level of 383 thousand. m³ in the last analysed year. Water consumption in households for the first five years of analysis decreased by 300 thousand. m³ and for the other years remained at constant level, while water consumption for other purposes is steadily declining, with the exception of 2012, in which water consumption was almost two times higher than in other years. The largest percentage of the total water consumption used for the purposes of households is 35-54%. Despite the overall decline in water consumption the amount of water consumed for other purposes remained constant at about 30-35%.

Detailed analysis of water consumption in the normal working week in the considered years of observation showed that the biggest water consumption occurred on Saturday and Wednesday, in the remaining days it remained at constant level. on average 40% higher water consumption compared eg. to Friday. Daily variation coefficient ranged from 1,16 to 1,54. In the case of the day with the lowest water consumption, small fluctuations in water consumption occurred. These values do not differ from the data presented in the literature publications [1, 3, 9, 10].

In the Figure 7 the total consumption of water, in industry, households and for other purposes, per statistical inhabitant was shown.

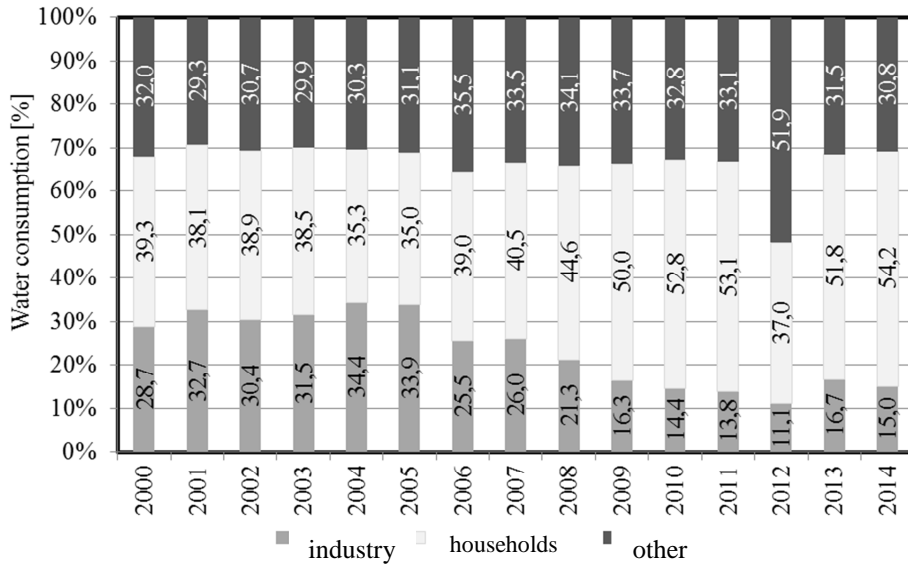


Fig. 6. Percentage of water consumption in individual groups of recipients

Rys. 6. Procentowy udział zużycia wody w poszczególnych grupach odbiorców

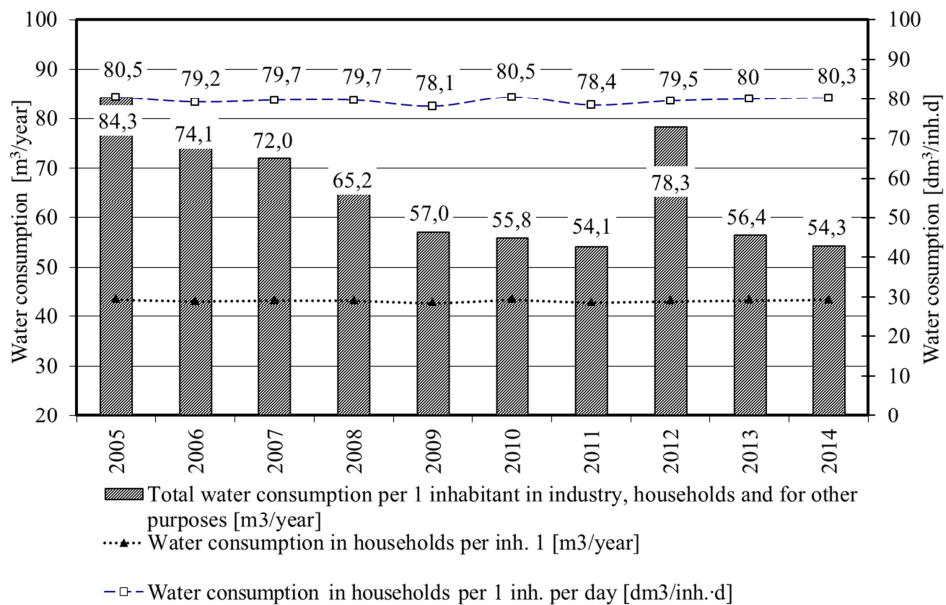


Fig. 7. Water consumption per 1 inhabitant

Rys. 7. Zużycie wody na 1 mieszkańca

Water consumption in the analysed period of time remained constant at approx. 29 m³ per year or about 80 dm³/Md. Taking into account also other purposes, water consumption per capita has decreased significantly which was caused primarily by large decline of water consumption for industrial purposes.

3. Conclusion

Analysing water consumption by different groups of recipients it can be concluded that water consumption is decreasing mainly due to the increase of environmental awareness, rational water use, more modern and less water consuming household appliances, upgraded sanitary fittings, reducing water losses (due to seal installation). The most important reason, however, remains the collapse of industry in the 90s, in particular the industry using the most water. Companies also modernize their production through the introduction of closed circuit. In the vast majority of agriculture and forestry own water intakes are used.

Conducting detailed analysis for water production and consumption for each unit of the settlement has a big impact on the proper operation of the water supply system. It also allows making the right decisions on the renovation or modernization of the network and thereby allows the greatest reliability in its functioning.

Literature

- [1] Dymaczewski Z., Sozański M.M. Wodociągi i kanalizacja w Polsce tradycja i współczesność, Polska Fundacja Ochrony Zasobów Wodnych, Poznań-Bydgoszcz 2002.
- [2] Główny Urząd Statystyczny, Ochrona środowiska, Roczniki statystyczne za lata 1995-2014.
- [3] Heidrich Z., Jędrzejkiewicz J.: Analiza zużycia wody w miastach polskich w latach 1995-2005. Ochrona Środowiska 2007, vol. 29, nr 4. s. 29-34.
- [4] <http://www.bip.umkrosno.pl/?c=mdTresc-cmPokaz-74> [dostęp: 06.01.2016].
- [5] http://www.ekrosno.pl/holding/mpgk/zaklad_wodociagow_i_kanalizacji/ [dostęp: 18.12.2015].
- [6] Józwiak J., Podgórski J.: Statystyka od podstaw, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2012.
- [7] Rak J.: Metoda planowania remontów sieci wodociągowej na przykładzie miasta Krosna. Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, JCEEA, z. 61 (1/14), 2014, s. 225-232. DOI:10.7862/rb.2014.15.
- [8] Sobczyk M. Statystyka. Wydawnictwo PWN. Warszawa, 1996.
- [9] Studziński A., Pietrucha-Urbanik K., Dąbek M.: Analiza zużycia wody w miejscowości Stalowa Wola. Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, JCEEA, z. 61 (1/14), 2014, s. 323-332. DOI:10.7862/rb.2014.22.

- [10] Studziński A., Pietrucha-Urbanik K., Mędrala A.: Analiza strat wody oraz awaryjności w wybranych systemach zaopatrzenia w wodę, *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*, JCEEA, z. 61 (4/14), 2014, s. 193-201. DOI:10.7862/rb.2014.144.
- [11] Tchorzewska-Cieślak B., Pietrucha K.: The analysis of the exploitation of the water network on the example of the Krosno water network [w:] *Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód - zagadnienia współczesne "Water Supply and Water Quality" - present issues*, *Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych O/ Wielkopolski*, 2010,II, 119-128.

ANALIZA ZMIENNOŚCI ZUŻYCIA WODY W PRZYKŁADOWYM SYSTEMIE WODOCIĄGOWYM

Streszczenie

W pracy przedstawiono analizę zużycia wody oraz zmian poboru wody w mieście Krosno na podstawie uzyskanych danych eksploatacyjnych. Ponadto przedstawiono charakterystykę miasta Krosno oraz systemu wodociągowego. Przedstawiono produkcję wody w zależności od miesiąca i pory roku. Wyznaczono jednostkowe średniodobowe zużycie wody na jednego mieszkańca. Analiza wykazała, że zapotrzebowanie na wodę w Krośnie podlega wahaniom i jest nierównomierne. Najwyższe zapotrzebowanie na wodę odnotowano w lipcu i sierpniu, a najmniejsze w listopadzie. Zużycie wody w Krośnie od dziesięciu lat systematycznie spada, w 2006 roku wtłoczono – 6 397 594 m³/rok natomiast w 2014 roku – 5 392 777 m³/rok. Główny udział w spadku zużycia wody w Krośnie miał przemysł, który z ponad 30% ogólnego zużycia wody spadł do 15%. Na niskie zużycie wody wpływa wysoka cena wody, korzystanie z lokalnych ujęć wody, jak również oszczędzanie wody. Wyznaczone wartości zostały porównane z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury dotyczącego przeciętnych norm zużycia wody, co odpowiada czwartej kategorii wyposażenia sanitarnego. Krośnieńska sieć wodociągowa jest stale rozbudowywana i powstają nowe przyłącza, dzięki czemu coraz więcej odbiorców ma dostęp do wodociągowej wody (obecnie ok. 94% korzystających z sieci wodociągowej).

Słowa kluczowe: zużycie wody, produkcja wody, wskaźniki zużycia wody, zmienność zużycia wody

Przesłano do redakcji: 29.01.2016 r.

Przyjęto do druku: 1.06.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.125

Andżelika PIETRZYK¹
Dorota PAPCIAK²

MATERIA ORGANICZNA W WODACH NATURALNYCH – FORMY WYSTĘPOWANIA I METODY OZNACZANIA

Ilość materii organicznej jest ważnym parametrem decydującym o stopniu zanieczyszczenia wód naturalnych. Jedynym dobrze zdefiniowanym wskaźnikiem określającym sumę wszystkich organicznych zanieczyszczeń jest ogólny węgiel organiczny (OWO). W artykule omówione zostały metody wykorzystywane do pomiaru OWO oraz formy występowania materii organicznej w różnych typach wód. Zawartość ogólnego węgla organicznego w wodach naturalnych jest zróżnicowana i zależy od następujących czynników: typu i wielkości badanego zbiornika wodnego, położenia geograficznego, temperatury, zasolenia, wartości pH, aktywności mikrobiologicznej oraz charakteru zlewni. Wzrost zawartości ogólnego węgla organicznego w wodach, które ujmowane są w celu zaopatrywania ludności w wodę przeznaczoną do picia wpływa na znaczne zwiększenie kosztów jej uzdatniania. Obecność substancji organicznych, a przede wszystkim substancji humusowych przyczynia się do pogorszenia właściwości organoleptycznych wody m.in. są one odpowiedzialne za występowanie specyficznego smaku i zapachu, a także za ponadnormatywną barwę.

Słowa kluczowe: ogólny węgiel organiczny (OWO), zawieszony węgiel organiczny (ZWO), rozpuszczony węgiel organiczny (RWO), biodegradowalny węgiel organiczny (BWO)

1. Wprowadzenie

Zawartość materii organicznej jest jednym z parametrów określających stopień zanieczyszczenia środowiska. W celu oszacowania jej ilości powszechnie wykorzystywane są wskaźnikowe oznaczenia grupowe, które reprezentują sumaryczną zawartość poszczególnych związków chemicznych. W analizie wody można posłużyć się różnymi metodami pośrednimi, do których należy zaliczyć

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Andżelika Pietrzyk, Politechnika Rzeszowska, Zakład Oczyszczania i Ochrony Wód, Al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 691259551, d332@stud.prz.edu.pl

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

m.in.: biochemiczne zapotrzebowanie na tlen (BZT), chemiczne zapotrzebowanie na tlen (ChZT), absorbcję UV oraz straty przy prażeniu suchej pozostałości. Najczęściej stosuje się metodę bezpośrednią, polegającą na utlenianiu związków węgla do dwutlenku węgla, a następnie jego ilościowe oznaczenie za pomocą różnych detektorów [1 - 3]. Spośród wszystkich wymienionych metod jedynie pomiar ogólnego węgla organicznego (OWO) daje pełną informację o sumie wszystkich związków organicznych występujących w analizowanej próbce [4]. Pojęcie ogólnego węgla organicznego definiowane jest jako całkowita zawartość węgla w rozpuszczonej i nierozpuszczonej materii organicznej. Parametr ten nie dostarcza jednak szczegółowych informacji o rodzaju poszczególnych związków organicznych [3, 5].

Dokładne oszacowanie zawartości związków organicznych w wodach naturalnych jest niezwykle ważnym zagadnieniem, któremu poświęca się coraz więcej uwagi. Obecnie ogólny węgiel organiczny jest wskaźnikiem normowanym przez polskie prawodawstwo. Graniczne stężenia OWO określone zostały dla wszystkich trzech kategorii wód powierzchniowych (A1, A2, A3), tj. 5 mg/l - wody wymagające prostego uzdatniania fizycznego, 10 mg/l - wody wymagające typowego uzdatniania fizycznego i chemicznego oraz 15 mg/l - wody wymagające wysokosprawnego uzdatniania fizycznego i chemicznego [6]. Najwyższa dopuszczalna zawartość ogólnego węgla organicznego w ściekach, które odprowadzane są do wód lub do ziemi może wynosić natomiast 30 mg/l [7]. Z kolei w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi dopuszczalna zawartość OWO określona została terminem: „bez nieprawidłowych zmian”[8]. O wystąpieniu nieprawidłowych zmian można mówić wówczas, gdy różnica pomiędzy największą i najmniejszą wartością OWO w skali roku jest wyższa od 40% wartości minimalnej [9].

2. Materia organiczna w wodach naturalnych

Materia organiczna występująca w wodach może być zarówno pochodzenia naturalnego jak również antropogenicznego. Do naturalnie występujących substancji organicznych możemy zaliczyć przede wszystkim związki humusowe (tj. kwasy humusowe, kwasy fulwowe i huminy), produkty przemiany materii mikroorganizmów, a także związki pochodzące z rozkładu martwych roślin i zwierząt [2, 10]. Natomiast wśród zanieczyszczeń antropogenicznych wymienić należy m.in. fenole, substancje powierzchniowo czynne, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), chlorowane związki organiczne (ChZO), pestycydy oraz związki ropopochodne. Głównym źródłem zanieczyszczeń syntetycznych są odcieki ze składowisk odpadów, ścieki, nawozy oraz środki ochrony roślin [5, 10 - 12]. Zawartość syntetycznych oraz naturalnych związków organicznych w wodzie zależy przede wszystkim od typu wód oraz od stopnia ich zanieczyszczenia. Zazwyczaj wody podziemne zawierają śladowe ilości substancji organicznych w przeciwieństwie do wód powierzchniowych,

które mogą charakteryzować się ich znaczą zawartością (szczególnie wody silnie zanieczyszczone) [2]. Działalność człowieka oraz naturalnie występujące w środowisku procesy przyczyniają się do zwiększenia zawartości związków organicznych zarówno w wodach, glebach jak również osadach dennych [13].

Naturalna materia organiczna (NOM) jest ogólnym terminem określającym wszystkie związki organiczne występujące w wodach naturalnych [14]. Węgiel organiczny może występować w dwóch podstawowych formach – rozpuszczonej (RWO) i zawieszanej (ZWO), a łączna suma tych obu parametrów stanowi całkowitą zawartość OWO [13]. Rozpuszczony węgiel organiczny definiowany jest jako sumaryczna zawartość węgla organicznego pochodzącego ze związków, które przechodzą przez filtr membranowy o średnicy porów 0,45 μm . Do tej grupy można zaliczyć m.in. ultra małe bakterie (o wielkości mniejszej niż 0,2 μm), wirusy oraz kwasy organiczne wchodzące w skład związków humusowych. Inne substancje określane mianem RWO to m.in. aminokwasy, cukry proste, hydrokyskwasy oraz kwasy tłuszczowe. Z kolei zawieszony węgiel organiczny (ZWO) to głównie zooplankton, glony, pierwotniaki, zawiesina bakterii i ich pojedyncze komórki, a także część substancji organicznych wyługowanych z gleb i roślin [14]. W wodach słodkich około 90% całkowitej materii organicznej występuje w postaci frakcji rozpuszczonej [15].

Zawartość ogólnego węgla organicznego w wodach naturalnych jest zróżnicowana i zależy od następujących czynników: typu wody, wielkości badanego zbiornika wodnego, położenia geograficznego, temperatury, zasolenia, wartości pH, aktywności mikrobiologicznej oraz charakteru zlewni [5, 16]. W tabeli 1 przedstawiono zakresy stężeń OWO, stwierdzonych w różnych typach wód.

Tabela 1. Wartości węgla organicznego występujące w różnych typach wód

Table 1. The organic carbon content in the different types of waters

Typ wody	OWO [mg/l]	Referencje
Rzeki	0,8 – 78	[17 – 20]
Jezióra	8,3 – 24,1	[21]
Wody gruntowe	22,6 – 101,7	[12, 22]
Wody podziemne	0,3 – 36	[1, 15, 23, 24]
Wody deszczowe	0,3 – 44,1*	[25, 26]
Wody morskie	2,38 – 8,24*	[27]

*Wartość rozpuszczonego węgla organicznego (RWO)

Zawartość rozpuszczonego węgla organicznego w wodzie może ulegać wyraźnym zmianom w zależności od strefy klimatycznej. Najmniejsze wartości występują w terenach górskich, arktycznych oraz suchych (RWO = 2 – 3 mg/l) co uwarunkowane jest małą produktywnością roślin. Z kolei w regionach charakteryzujących się wysokimi temperaturami, pomimo dużej produkcji pierwotnej stężenie rozpuszczonego węgla organicznego kształtuje się na poziomie

6 – 7 mg/l. Jest to wynikiem szybkiej mineralizacji związków organicznych w tych strefach klimatycznych. Najwyższe wartości tego parametru występują natomiast w klimacie tajgi, gdzie stężenia RWO wynoszą średnio 10 mg/l [28].

Światowe raporty dostarczają informacji, iż w ciągu ostatnich kilku dekad ilość materii organicznej w wodach powierzchniowych nieustannie wzrasta. W ostatnich latach zaobserwowano wzrost stężenia ogólnego węgla organicznego w ciekach wodnych na terenie Europy (m.in. w Wielkiej Brytanii i Norwegii) oraz w Ameryce Północnej [16, 19, 29]. Zwiększające się stężenia substancji organicznych mogą mieć znaczący wpływ na florę i faunę wód powierzchniowych, jakość wody przeznaczonej do picia oraz sposób jej uzdatniania [29]. Przyczyny wzrostu ilości materii organicznej nie są jeszcze dostatecznie poznane lecz uważa się, że mogą one zależeć od takich czynników jak: zmiany klimatyczne, intensywność nasłonecznienia, wielkość opadów, wilgotność gleby, wzrost stężenia CO₂ w atmosferze oraz depozycja atmosferyczna [19].

W wodach jeziornych również dominuje rozpuszczona forma węgla organicznego (zawieszony węgiel organiczny stanowi zaledwie ok. 10% rozpuszczonego węgla organicznego) [21]. W tym przypadku wartość RWO będzie zależała głównie od trofii jeziora. Wielkość tego parametru może oscylować w granicach od 1 mg/l w warunkach oligotroficznym (niska zawartość substancji odżywczych rozpuszczonych w wodzie) do nawet 50 mg/l w warunkach dystroficznych (niedobór substancji odżywczych rozpuszczonych w wodzie). Największe stężenia OWO są odnotowywane w jeziorach charakteryzujących się znaczną ilością substancji humusowych, niedoborem tlenu i substancji pokarmowych, ubogą fauną i florą, a także kwaśnym odczynem wody [28].

W przypadku wód podziemnych zawartość substancji organicznych również jest zróżnicowana, a jej średnie wartości oscylują od 0,2 do 15 mg/l. Mniejsze stężenia materii organicznej w wodach podziemnych można tłumaczyć faktem, iż wraz z upływem czasu, stężenie OWO ulega znacznemu obniżeniu. Zjawisko to jest spowodowane procesem mineralizacji związków organicznych tj. chemiczną i biologiczną degradacją do dwutlenku węgla, który może przebiegać zarówno w procesach tlenowych jak i beztlenowych. Większe stężenia OWO najczęściej są obserwowane w wodach, które znajdują się w bliskim sąsiedztwie złóż węgla brunatnych lub torfowisk [28].

Do wzbogacenia wód powierzchniowych i podziemnych w substancje organiczne przyczyniają się ekosystemy bagienne, charakteryzujące się znaczną zawartością materii organicznej. Ma to miejsce szczególnie podczas intensywnych opadów oraz w wyniku zwiększonego spływu wody z obszaru zlewni do rzek [12]. Według badań *Kiryłuk* [22] stężenia OWO w wodach powierzchniowych badanych na terenach pobagiennych były zróżnicowane, a uzyskane wartości mieściły się w zakresie od 22,99 do 86,31 mg/l. W przypadku wód gruntowych (zaskórnych) odnotowano stężenia, które oscylowały w granicach od 22,55 do 101,66 mg/l. Przyczyną wyższych wartości OWO w wodach gruntowych może być bezpośrednie przenikanie substancji organicznych z mineralizu-

jącej się masy torfowej. Sposób użytkowania ekosystemów pobagiennych również miał wpływ na zawartość substancji organicznej w wodzie gruntowej. Największe stężenia odnotowano w wodach pobranych z intensywnie użytkowanych pastwisk [22]. Zawartość materii organicznej zależna jest przede wszystkim od właściwości fizycznych i chemicznych gleb. Gleby bogate w węgiel są głównym źródłem RWO w środowisku wodnym [29].

Wody deszczowe w swoim składzie również zawierają pewne ilości substancji organicznych. Rozpuszczony węgiel organiczny jest jednym z głównych składników morskich i kontynentalnych deszczy, którego średnie stężenia wynoszą odpowiednio 0,28 i 1,93 mg/l [25]. Z danych literaturowych wynika, że na terenach uprzemysłowionych stężenia RWO mogą osiągać znaczne wyższe wartości. W badaniach przeprowadzonych w północnych Chinach średnie roczne stężenie RWO w wodach opadowych wahały się od 0,3 do 44,1 mg/l. Najwyższe wartości rozpuszczonego węgla organicznego zostały zaobserwowane w sezonie zimowym, zwłaszcza w próbkach śnieżnych. Natomiast średnie wartości RWO w porze suchej były wyższe od wartości uzyskanych w porze deszczowej [25]. Podobne wahania sezonowe stwierdzono również na terenie Brazylii [26].

3. Metody oznaczania ogólnego węgla organicznego

Obecnie istnieje kilka norm europejskich zawierających wytyczne dotyczące prawidłowego oznaczania zawartości węgla organicznego w różnych typach wód oraz w ściekach. Na ich podstawie dokonano szczegółowej klasyfikacji wszystkich oznaczalnych form węgla (Tab. 2) oraz graficznie przedstawiono ich podział (Rys. 1). Zasada pomiaru OWO i RWO opisana została w normie PN-EN 1484:1999.

Tabela 2. Terminy wykorzystywane w analizie związków węgla, na podstawie [30]

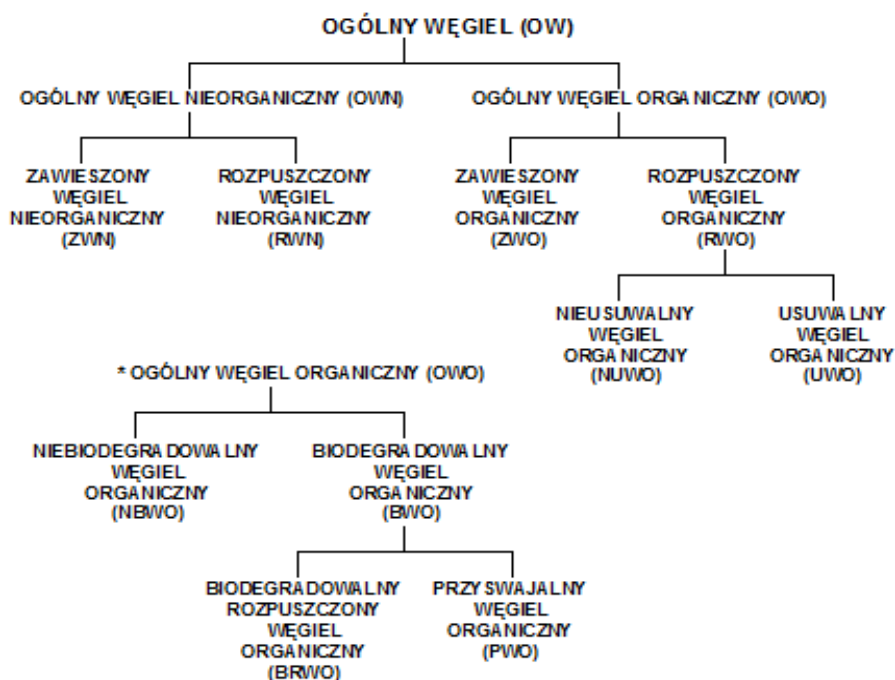
Table 2. The terms used in the analysis of carbon, based on [30]

Nazwa	Skrót	Charakterystyka
Ogólny węgiel	OW	Sumaryczna zawartość węgla nieorganicznego, węgla organicznego oraz węgla pierwiastkowego; $OW = OWN + OWO$
Ogólny węgiel nieorganiczny	OWN	Sumaryczna zawartość węgla nieorganicznego występującego w postaci węglanu, wodorowęglanu oraz rozpuszczonego dwutlenku węgla; $OWN = OW - OWO$
Rozpuszczony węgiel nieorganiczny	RWN	$OWN = RWN + CWN$
Zawieszony węgiel nieorganiczny	ZWN	
Ogólny węgiel organiczny	OWO	Sumaryczna zawartość węgla organicznego pochodzącego z materii rozpuszczonej bądź zawieszonej w wodzie; $OWO = RWO + ZWO$, $OW = NUWO + LWO$

Tabela 2 cd. Terminy wykorzystywane w analizie związków węgla, na podstawie [30]

Table 2 cont. The terms used in the analysis of carbon, based on [30]

Nazwa	Skrót	Charakterystyka
Rozpuszczony węgiel organiczny	RWO	Sumaryczna zawartość rozpuszczonych związków organicznych przechodzących przez membranowy filtr o wielkości porów 0,45 µm; RWO = UWO + NURWO, RWO = OWO – ZWO
Zawieszony węgiel organiczny	ZWO	Zawieszone cząstki zatrzymane przez filtr o wielkości porów 0,2 - 10 µm; ZWO = OWO – RWO
Lotny węgiel organiczny/Usuwalny węgiel organiczny	LWO/ UWO	Związki o niskiej masie cząsteczkowej; Węgiel organiczny usuwalny przez wydychanie (Wielu autorów używa zamiennie określeń LWO i UWO)
Nieusuwalny węgiel organiczny /Nielotny węgiel organiczny	NUWO/ NLWO	Węgiel organiczny nieusuwany poprzez wydychanie;
Nieusuwalny rozpuszczony węgiel organiczny	NURWO	NUWO = NURWO + ZWO



* Inny podział OWO uwzględniający biodegradowalność związków organicznych

Rys. 1. Podział związków organicznych występujących w wodach naturalnych [Oprac. własne]

Fig. 1. Distribution of organic compounds present in natural waters [Own elaboration]

W celu wyznaczenia OWO można posłużyć się kilkoma metodami, jednak przy wyborze odpowiedniej techniki należy wziąć pod uwagę następujące czynniki: rodzaj analizowanej próbki, czas trwania pomiaru, wpływ interferencji, precyzję i czułość metody, a także generowane koszty [1]. Obecnie na rynku znajduje się wiele urządzeń służących do pomiaru OWO, które różnią się między sobą sposobem utleniania obecnych w próbce związków organicznych i/lub detektorem. Do najczęściej wykorzystywanych metod mineralizacji zalicza się przeprowadzanie analizowanych próbek w stan gazowy. Tego typu przemiana może nastąpić podczas katalitycznego utlenienia niskotemperaturowego oraz utleniania wysokotemperaturowego [1, 4].

Główne wady i zalety wymienionych metod mineralizacji zostały zestawione w tabeli 3.

Tabela 3. Metody wykorzystywane do oznaczenia OWO, na podstawie [4]

Table 3. The methods used for the determination of TOC, based on [4]

Metoda	Zalety	Wady
Utlenienie promieniowaniem UV	<ul style="list-style-type: none"> niski koszt utrzymania, nie wymaga stosowania odczynników chemicznych 	<ul style="list-style-type: none"> niska dokładność dla wartości poniżej 5 ppm, stosunkowo niski stopień utleniania, wymagana duża objętość próbki, długi czas analizy
Utlenienie niskotemperaturowe (promieniowanie UV + nadsiarczan)	<ul style="list-style-type: none"> niski koszt utrzymania, wysoka czułość, duża dokładność, wysoki odzysk CO₂ w wielu zastosowaniach, duża szybkość utleniania 	<ul style="list-style-type: none"> możliwość wystąpienia interferencji pochodzących od chlorków podczas detekcji CO₂ w atmosferze bogatej w tlen
Utlenianie w podwyższonej temperaturze z wykorzystaniem nadsiarczanu	<ul style="list-style-type: none"> niski koszt utrzymania, wysoka czułość, duża dokładność, wysoki odzysk CO₂ w wielu zastosowaniach 	<ul style="list-style-type: none"> długi czas utleniania, w przypadku wysokiego poziomu TOC następuje nieilościowy odzysk
Utlenianie wysokotemperaturowe	<ul style="list-style-type: none"> krótki czas analizy, możliwość utlenienia substancji stałych występujących w analizowanej próbce wody, względnie niski poziom interferencji 	<ul style="list-style-type: none"> wysoki koszt utrzymania, mała czułość, możliwość wykonania analizy jedynie przy małej zawartości soli, możliwość straty CO₂ występującego w strumieniu kondensującej pary wodnej, problem z odzyskiem części związków aromatycznych, zatrucia katalizatorów

Dostępne na rynku analizatory OWO posiadają podobną (zgodną z normą europejską) zasadę działania, ale różnią się sposobem wprowadzania próbki, metodą utleniania, detekcją oraz rejestracją wyników [30].

Dotychczas przeprowadzono wiele badań, których celem było porównanie skuteczności metod stosowanych do pomiaru OWO w próbkach ciekłych [1, 4]. Stwierdzono, że najbardziej odpowiednią metodą jest utlenienie z wykorzystaniem nadsiarczanu oraz metoda utleniania dodatkowo wspomaganą promieniowaniem UV wówczas gdy analizowana próbka zawiera OWO w ilości większej niż 1 mg/l. Z kolei dla wód morskich najlepsze rezultaty uzyskuje się stosując wysokotemperaturowe utlenianie. Dzięki zastosowaniu tego sposobu możliwe jest oznaczenie znacznie większej ilości węgla organicznego niż w przypadku metody wykorzystującej nadsiarczan [4].

4. Biodegradowalna materia organiczna - metody oznaczania

Materię organiczną występującą w wodzie można podzielić na dwie podstawowe frakcje: biodegradowalną oraz referencyjną (odporną na biodegradację) [31, 32]. W skład biodegradowalnej materii organicznej (BMO) wchodzi m.in.: biodegradowalny rozpuszczony węgiel organiczny (BRWO) oraz przyswajalny węgiel organiczny (PWO). Dominującą frakcją jest BRWO, który osiąga znacznie wyższe wartości w analizowanych próbkach niż PWO. Wymienione powyżej frakcje mogą być metabolizowane i wbudowywane w struktury komórki bakterii heterotroficznych. Podatność materii organicznej na biodegradację zależy głównie od składu chemicznego oraz masy cząsteczkowej danej substancji, a także od enzymatycznej aktywności bakterii [33]. Pomiar BMO jest rutynowo stosowany w analizach laboratoryjnych jako jeden z głównych parametrów jakości wody pitnej, decydujący o jej biologicznej aktywności.

Woda wprowadzana do systemu dystrybucji musi być stabilna biologicznie, gdyż w przeciwnym wypadku istnieje niebezpieczeństwo wtórnego rozwoju mikroorganizmów, które następnie będą gromadzić się na powierzchniach rurociągów, tworząc tzw. biofilm. Ich obecność odpowiedzialna jest również za intensyfikację procesu korozji części metalowych systemu wodociągowego, zwiększenie zapotrzebowania na dezynfektant oraz znacznie podnosi koszty eksploatacji systemu dystrybucji wody. Ponadto brak stabilności wody może doprowadzić do wtórnego jej zanieczyszczenia oraz naruszenia norm dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia [21, 34, 35]. Duży udział substancji organicznych w wodzie jest również odpowiedzialny za niepożądany smak i zapach wody [10, 33].

Obecność w wodzie BRWO i PWO stwarza idealne warunki do rozwoju mikroorganizmów heterotroficznych, w tym również organizmów patogennych i chorobotwórczych. Przyjmuje się, że wartość PWO powinna wynosić w wodzie niechlorowanej 0,01 mg/l, według innego źródła 0,03 mg/l. Natomiast w wodzie chlorowanej, rozwój heterotroficznych bakterii zostaje zahamowany

przy stężeniu PWO wynoszącym od 0,05 do 0,1 mg/l. Z kolei w przypadku BRWO wartości powinny mieścić się w zakresie od 0,15 do 0,3 mg/l. Gdy wartości PWO i BRWO w wodzie dezynfekowanej wynoszą odpowiednio więcej niż 0,15 i 0,5 mg/l wówczas konieczne jest zredukowanie ilości obu frakcji [35].

Nie wszystkie związki organiczne obecne w wodzie podlegają biodegradacji, w rzeczywistości tylko frakcja o małej masie cząsteczkowej może być przyswajana przez bakterie. Metody oznaczania biodegradowalnej materii organicznej obejmują zarówno wyznaczenie całego BRWO jak również frakcji PWO. Do oznaczenia przyswajalnego węgla organicznego najczęściej stosuje się metodę van der Kooija oraz Wernera, natomiast do pomiaru BRWO metodę Servaisa i Joreta [31, 36].

Główną wadą tych metod jest zbyt długi czas inkubacji, który może stanowić utrudnienie w przypadku wykonywania częstych analiz [36, 37]. Ze względu na ograniczenia czasowe opracowano znacznie szybszy sposób pomiaru BRWO, wykorzystując do tego celu skolonizowany przez autochtoniczne bakterie bioreaktor. Koncepcja bioreaktora w kolejnych latach została udoskonalona przez *Kaplana i Newbolda* [32]. Następnie do oznaczeń biodegradowalnego węgla organicznego wykorzystano bioreaktory z immobilizowanymi komórkami mikroorganizmów w wyniku czego znacznie skrócono czas potrzebny do kolonizacji wypełnienia [37].

5. Wnioski

- Naturalna materia organiczna (NOM) jest ogólnym terminem określającym wszystkie związki organiczne występujące w wodach naturalnych, od wód deszczowych, rzecznych, jeziornych, podziemnych do wód morskich.
- Ogólny węgiel organiczny w wodach naturalnych może przyjmować wartości od 1 mg/l do ponad 100 mg/l w zależności od typu analizowanej wody (wraz ze wzrostem stopnia zanieczyszczenia wody zwiększa się stężenie OWO).
- W wodach naturalnych węgiel organiczny może występować w dwóch podstawowych formach – rozpuszczonej (RWO) i zawieszanej (ZWO). Łączna suma tych obu parametrów stanowi całkowitą zawartość OWO. Ponadto materia organiczna występująca w wodzie może zostać podzielona na dwie frakcje: biodegradowalną oraz referencyjną. Wymienione powyżej frakcje mogą być metabolizowane i wbudowywane w materiał komórkowy bakterii heterotroficznych.
- Wzrost zawartości ogólnego węgla organicznego w wodach, które ujmowane są w celu zaopatrywania ludności w wodę przeznaczoną do picia niejednokrotnie wpływa na znaczne zwiększenie kosztów jej uzdatniania. Obecność substancji organicznych, a przede wszystkim substancji humusowych przyczynia się do pogorszenia właściwości organoleptycznych wody m.in. są one odpowiedzialne za występowanie specyficznego smaku i zapachu, a także za ponadnormatywną barwę.

- Pomiar BMO jest stosowany jako jeden z głównych parametrów charakteryzujących jakość wody użytkowej, decydujący o jej biologicznej aktywności. Obecność BRWO i PWO w wodzie wprowadzanej do systemu dystrybucji stwarza idealne warunki do rozwoju mikroorganizmów heterotroficznych, w tym również organizmów patogennych i chorobotwórczych.

Literatura

- [1] Bożym M., Sławińska I., Halska - Bonkosz M.: Oznaczanie OWO w wodzie podziemnej, *Wodociągi – Kanalizacja*, nr 11, 2010, s. 52 - 55.
- [2] Gomółka E., Szaynok A.: *Chemia wody i powietrza*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1997.
- [3] Juszczak D., Bebek M., Mitko K.: Oznaczenie ogólnego węgla organicznego (OWO) w wodzie i ściekach metodą utleniania chemicznego w fazie ciekłej, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr 10, 2004, s. 355 - 358.
- [4] Raczyk – Stanisławiak U., Świetlik J., Kasprzyk B., Nawrocki J.: The efficiency of different oxidation methods in total organic carbon analysis, *Chemia Analityczna*, 48 (2), 2003, s. 243 – 254.
- [5] Visco G., Campanella L., Nobili V.: Organic carbons and TOC in waters: an overview of the international norm for its measurements, *ScienceDirect, Microchemical Journal* 79, 2005, pp. 185 – 191.
- [6] Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska z dnia 27 listopada 2002r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia.
- [7] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego.
- [8] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.
- [9] Mołczan M., Szlachta M., Karpińska A., Biłyk A.: Zastosowanie absorpcji właściwej w nadfiolecie (SUVA) w ocenie jakości wody, *Ochrona Środowiska*, nr 4, 2006, s. 12 - 16.
- [10] Krupińska I.: Problemy związane z występowaniem substancji humusowych w wodach podziemnych, *Inżynieria Środowiska, Zeszyty Naukowe* 148, nr 28, 2012, s. 55 - 68.
- [11] Ignatowicz K.: Graveyard – Point Source Pollution of Natural Water by Pesticides, *Ecological Chemistry and Engineering*. Vol. 18, nr 2, 2011, s. 191 – 200.
- [12] Kiryluk A., Leszczyński J., Łukowski A., Miłaszewski R., Piekutin J., Siemieniuk A., Skorbiłowicz E., Skorbiłowicz M., Szczykowska J., Wiater J., Żebanowicz E.: Źródło zanieczyszczeń wód powierzchniowych i wybrane metody ich oczyszczania, *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, nr 5, 2014, s. 49 - 57.
- [13] Ouyang Y.: Simulating dynamic load of naturally occurring TOC from watershed into a river, *Water Research* 37, 2003, pp. 823 - 832.
- [14] Michael - Kordatou I., Michael C., Duan X., He X., Dioysiou D.D., Mills M. A., Fatta - Kassinos D.: Dissolved effluent organic matter: Characteristics and potential implications in wastewater, *Water research* 77, 2015, pp. 213 - 248.

- [15] Pisarek I., Głowacki M.: Quality of groundwater and aquatic humic substances from main reservoir of ground water No. 333, *Journal of Ecological Engineering*, Volume 16, Issue 5, 2015, pp. 46 - 53.
- [16] Hytteborn J., Temnerud J., Alexander R. B., Boyer E. W., Futter M. N., Fröberg M., Dahné J., Bishop K. H.: Patterns and predictability in the intra-annual organic carbon variability across the boreal and hemiboreal landscape, *Science of the Total Environment* 520, 2015, pp. 260 - 269.
- [17] Mattsson T., Kortelainen P., Lepistö A., Räike A.: Organic and minerogenic acidity in Finnish rivers in relation to land use and deposition, *Science of the Total Environment* 383, 2007, pp. 183 – 192.
- [18] Mora A., Laraque A., Moreira - Turcq P., Alfonso J. A.: Temporal variation and fluxes of dissolved and particulate organic carbon in the Apure, Caura and Orinoco rivers, Venezuela, *Journal of South American Earth Sciences* 54, 2014, pp. 47 - 56.
- [19] Rodríguez - Murillo J. C., Zobrist J., Filella M.: Temporal trends in organic carbon content in the main Swiss rivers, 1974 - 2010, *Science of the Total Environment* 502, 2015, pp. 206 - 217.
- [20] Xiao Y., Räike A., Hartikainen H., Vähätalo A.: Iron as a source of color in river waters, *Science of the Total Environment* 536, 2015, pp. 914 – 923.
- [21] Kutser T., Verpoorter C., Paavel B., Tranvik L. J.: Estimating lake carbon fractions from remote sensing data, *Remote Sensing of Environment* 157, 2015, pp. 138 - 146.
- [22] Kiryluk A.: Stężenie ogólnego węgla organicznego w wodzie ekosystemów pobagiennych różnie użytkowanych, *Woda - Środowisko - Obszary Wiejskie*, t. 6 z. 1(16), 2006, s. 173 – 181.
- [23] Poté J., Mavingui P., Navarro E., Rosselli W., Wildi W., Simonet P., Vogel T. M.: Extracellular plant DNA in Geneva groundwater and traditional artesian drinking water fountains, *Chemosphere* 75, 2009, pp. 498 - 504.
- [24] Piekutin J.: Zanieczyszczenia wody gruntowej związkami organicznymi, *Inżynieria Ekologiczna* nr 26, 2011, s. 95 - 102.
- [25] Pan Y., Wang Y., Xin J., Tang G., Song T., Wang Y., Li X., Wu F.: Study on dissolved organic carbon in precipitation in Northern China, *Atmospheric Environment* 44, 2010, pp. 2350 - 2357.
- [26] Coes A. L., Paretti N. V., Foreman W. T., Iverson J. L., Alvarez D. A.: Sampling trace organic compounds in water: A comparison of a continuous active sampler to continuous passive and discrete sampling methods, *Science of the Total Environment* 473 - 474, 2014, pp. 731 - 741.
- [27] Maciejewska A., Pempkowiak J.: DOC and POC in the water column of the southern Baltic. Part I. Evaluation of factors influencing sources, distribution and concentration dynamics of organic matter, *Oceanologia*, 56 (3), 2014, pp. 523 – 548.
- [28] Zabiegała B.: Oznaczenie zawartości węgla całkowitego, całkowitego węgla organicznego oraz węgla nieorganicznego w próbkach środowiskowych z kulometrycznym oznaczeniem końcowym, *Chemia analityczna*, Wydział Chemiczny Politechnika Gdańska, 2002.
- [29] XI Min, LU Xianguo, LI Yue, KONG Fanlong: Distribution characteristics of dissolved organic carbon in annular wetland soil-water solutions through soil profiles in the Sanjiang Plain, Northeast China, *Journal of Environmental Sciences* 19, 2007, pp. 1074 - 1078.

- [30] Bisutti I., Hilke I., Raessler M.: Determination of total organic carbon – an overview of current methods, *Trends in Analytical Chemistry*, Vol. 23, No. 10 - 11, 2004, pp. 716 - 726.
- [31] Rosińska A., Rokocz K.: Rola biodegradowalnej materii organicznej w procesie dezynfekcji wody, *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, t. 16, nr 4, 2013, s. 511 -521.
- [32] Kaplan L. A., Newbold J. D.: Measurement of streamwater biodegradable dissolved organic carbon with a plug - flow bioreactor, *Wat.Res*, Vol. 29, No. 12, 1995, pp. 2696 - 2706.
- [33] Polańska M., Huysman K., Keer Ch.: Investigation of assimilable organic carbon (AOC) in Flemish drinking water, *Water Research* 39, 2005, pp. 2259 - 2266.
- [34] Świdarska - Bróż M.: Skutki braku stabilności biologicznej wody wodociągowej, *Ochrona Środowiska*, nr 4, 2003, s. 7 - 12.
- [35] Świdarska - Bróż M.: Czynniki współdecydujące o potencjale powstawania i rozwoju biofilmu w systemach dystrybucji wody, *Ochrona Środowiska*, nr 3, Vol. 32, 2010, s. 7 - 13.
- [36] Biłozor S., Danielak K.: Ocena podatności związków organicznych w wodzie na biodegradację, *Ochrona Środowiska* nr 4 (67), 1997, s. 55 - 58.
- [37] Khan E., Babcock R. W., Jongskul S., Devadason F. A., Tuprakay S.: Determination of biodegradable dissolved organic carbon using entrapped mixed microbial cells, *Water Research* 37, 2003, pp 4981-4991.

ORGANIC MATTER IN NATURAL WATER – FORMS AND METHOD FOR DETERMINING

Summary

Concentration of organic matter is an important parameter for determining the degree of pollution of natural water. The only well-defined indicator that represents the sum of all organic contaminants is the total organic carbon (TOC). The article shows the methods used to measure TOC and the form of organic matter presence in different types of waters. The content of total organic carbon in natural waters is varied and depends on the following factors: the type and size of the test water tank, geographic location, temperature, salinity, pH, microbiological activity and land cover. The increase of total organic carbon in drinking water considerably increases the cost of its treatment. The presence of organic matter in particular humic substances contributes to the deterioration of the organoleptic properties of water, among others, they are responsible for the occurrence of a specific taste and aroma and for the enhanced color.

Keywords: total organic carbon (TOC), particulate organic carbon (POC), dissolved organic carbon (DOC), biodegradable organic carbon (BOC)

Przesłano do redakcji: 11.04.2016 r.

Przyjęto do druku: 1.06.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.126

Robert PŁOSKONKA¹

AUTOMATYZACJA WYBRANYCH PROCESÓW AKTUALIZACJI I KALIBRACJI MODELU SIECI WODOCIĄGOWEJ PRZY ZMIENNYCH WARUNKACH EKSPLOATACYJNYCH

Modelowanie funkcjonowania systemów wodociągowych staje się coraz popularniejszym narzędziem wspomagającym zarządzanie i eksploatację nowoczesnych przedsiębiorstw wodociągowych. W znakomitej większości przypadków, powstające modele sieci odwzorowują pewien umowny stan eksploatacyjny, odpowiadający średniemu bądź maksymalnemu dobowemu zapotrzebowaniu na wodę. Istnieje wiele przeszkód natury technicznej i organizacyjnej, by można było stworzyć model odwzorowujący bieżący stan pracy systemu. W opracowaniu przedstawiono autorskie rozwiązanie poszerzające funkcjonalność symulatorów systemów wodociągowych, pozwalające na uzyskanie znacznej automatyzacji procesu dostosowania modelu do warunków bieżących, poprzez aktualizację i urealnienie wielkości zapotrzebowania na wodę oraz automatyczne dopasowanie parametrów sterujących pracą pompowni. Rozwiązanie to zostało przedstawione w formie procedury, którą można wykorzystać do implementacji w ramach dowolnego symulatora sieci wodociągowych. Procedura ta została wykorzystana do poszerzenia funkcjonalności rodzimego symulatora, bazującego na rozwiązaniach numerycznych zaczerpniętych z Epanet a następnie z powodzeniem przetestowana i wdrożona do eksploatacji na modelu sieci wodociągowej Nowego Sącza.

Słowa kluczowe: model sieci wodociągowej, zapotrzebowanie na wodę, Epanet, kalibracja

1. Wstęp

Skuteczna eksploatacja i zarządzanie strukturą tak złożoną jak system wodociągowy, niejednokrotnie wymaga wsparcia ze strony wielu narzędzi komputerowych, których funkcjonalność obejmuje między innymi gromadzenie i przetwarzanie danych o produkcji i sprzedaży wody, prowadzonych inwestycjach i wielu innych aspektach natury technicznej oraz organizacyjnej. Jedną z kategorii narzędzi komputerowych znajdujących zastosowanie w procesie

¹ Robert Płoskonka, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, rp@vistula.wis.pk.edu.pl

eksploatacji systemów wodociągowych są symulatory funkcjonowania sieci wodociągowych w zakresie hydrauliki przepływu. Typowy model sieci wodociągowej powstający w takim symulatorze, pomimo wielu niezaprzeczalnych zalet, posiada szereg ograniczeń funkcjonalnych, z których najistotniejsze, w kontekście niniejszego artykułu to możliwość odwzorowania jedynie pewnego umownego stanu funkcjonowania systemu, traktowanego jako miarodajny. Zazwyczaj stan ten utożsamiany jest z dobą o średnim bądź maksymalnym zapotrzebowaniu na wodę. Regulacje modelu dopasowane są w takiej sytuacji do jednego stanu eksploatacyjnego, przez co staje się on bardzo mało elastyczny. Postępowanie takie jest słuszne przy założeniu, że interesujące jest odwzorowanie warunków skrajnych (np. Q_{dmax}), które mogą stanowić podstawę do podjęcia kroków w zakresie modernizacji bądź rozbudowy istniejącej infrastruktury. Niestety, odwzorowanie o takim charakterze nie pozwala na śledzenie bieżących bądź historycznych warunków eksploatacyjnych całego systemu, choćby ze względu na ciągle zmienne zapotrzebowanie na wodę i w konsekwencji zmienne parametry pracy urządzeń takich jak pompy. Dostępne na rynku, znane autorowi oprogramowanie, nie pozwala na szybkie, wygodne i skuteczne dostosowanie modelu do bieżących warunków eksploatacyjnych, które w wyraźny sposób mogłyby przyczynić się do lepszego poznania i zarządzania systemem wodociągowym. W niniejszym artykule przybliżono dwa uzupełniające się rozwiązania pozwalające na skuteczne usprawnienie i automatyzację tego procesu, wraz z przykładem ich wykorzystania w bieżąco eksploatowanym modelu sieci wodociągowej. Dwa omawiane zagadnienia, związane z aktualizacją wielkości zapotrzebowania na wodę oraz regulacją nastaw obiektów w modelu, zostały zaimplementowane w symulatorze o nazwie Isydyw, który jest rozwiązaniem autorskim bazującym na bibliotekach numerycznych wykorzystywanych w ogólnodostępnym symulatorze Epanet 2.

2. Model zapotrzebowania na wodę

Na każdy model sieci wodociągowej przypada m.in. pula informacji o geometrii połączeń przewodów, ich parametrach hydraulicznych oraz sposobie funkcjonowania istotnych obiektów wodociągowych. Kluczowym uzupełnieniem tych danych są informacje o zapotrzebowaniu na wodę, które można podzielić na trzy kategorie:

- wielkość zapotrzebowania na wodę,
- zmienność poboru w czasie,
- lokalizacja poboru wody.

W przypadku modelu sieci projektowanej trudno o jednoznaczne i precyzyjne zdefiniowanie składowych dotyczących ilości i zmienności w czasie, gdyż potencjalni odbiorcy wody jeszcze z niej nie korzystają. Wartości te zakładane są z wykorzystaniem metod wskaźnikowych, a ich dokładność bywa różna. Inaczej wygląda sytuacja w przypadku odwzorowania systemu istnieją-

cego. Tu pojawia się możliwość pomiaru rzeczywistej wielkości poboru wody wraz z dynamiką jej rozbioru w czasie oraz pomiaru przepływu w sieci. Ze względu na specyfikę prezentowanej metody, w dalszych rozważaniach skupiono się wyłącznie na próbie odwzorowania stanu bieżącego w istniejącym systemie wodociągowym.

2.1 Lokalizacja poboru wody

W większości symulatorów pobór wody realizowany jest poprzez wykorzystanie struktury zwanej węzłem sieci, w którym agregowane jest zapotrzebowanie z okolicznych budynków. Jest to pewna forma uproszczenia, która zauważalnie zmniejsza wymagany nakład pracy, równocześnie nie wpływając na dokładność obliczeń [1]. Lokalizacja węzła sieci jest tu równoważna przybliżonej lokalizacji odbiorcy bądź grupy odbiorców wody.

2.2. Zmienność w czasie

Określenie zmienności zapotrzebowania w czasie jest zagadnieniem trudnym i w przypadku braku szczegółowych pomiarów zwykle sprowadza się do identyfikacji kategorii odbiorcy i przypisania mu jednego ze standardowych rozkładów dostępnych np. w [4]. Niestety, postępowanie takie może prowadzić do znacznych rozbieżności między wynikami obliczeń w modelu a pomiarami terenowymi i z tego względu powinno być prowadzone bardzo rozważnie. W dalszej części opracowania szerzej zostanie omówione zagadnienie szacowania zmienności zapotrzebowania w czasie symulowanego okresu jednej doby.

2.3 Wielkość poboru wody

Istnieje wiele metod szacowania wielkości poboru wody, niektóre z nich zostały opisane w [4] a odpowiednie regulacje prawne zawarto np. w [3]. Są to głównie metody wskaźnikowe, które nie są wolne od wad. Najistotniejszą z nich jest niska dokładność szacowania. W przypadku systemów istniejących, stanowczo dużo bardziej dokładne dane można pozyskać bazując na odczytach z indywidualnych wodomierzy. Odczyty takie prowadzone są zwykle z interwałem jednego do trzech miesięcy, tak więc uzyskana tą drogą wielkość zapotrzebowania dobowego będzie średnią, lecz mimo to dużo bardziej dokładną wartością. Taki poziom dokładności jest właściwy przy sporządzaniu modelu statycznego. Próba odwzorowania warunków bieżących wymaga jednak bardziej złożonych procedur, które pozwolą na szybką i wiarygodną aktualizację ilości pobieranej wody w obrębie całej sieci, dzielnicy bądź wydzielonej strefy. Wiąże się to jednak z koniecznością posiadania szerszego spektrum pomiarów, głównie wielkości przepływu w wybranych punktach sieci.

Wykorzystanie trzech wyżej opisanych składowych pozwala na stworzenie kompletnego modelu zapotrzebowania na wodę, będącego integralną częścią modelu hydraulicznego. W takim modelu zapotrzebowania na wodę wiarygodne jest miejsce i średnia wielkość poboru wody. Rozkład zmienności w czasie jest przybliżony i w znacznym stopniu zależny do identyfikacji przynależności poszczególnych odbiorców do jednej z typowych grup, takich jak mieszkalnictwo czy usługi. Metoda opisana poniżej pozwala na zwiększenie wiarygodności odwzorowania tego czynnika poprzez wykorzystanie danych pomiarowych wielkości przepływu w kluczowych miejscach sieci.

3. Metoda aktualizacji modelu zapotrzebowania na wodę

Podstawowym założeniem prezentowanej metody aktualizacji modelu zapotrzebowania na wodę jest dostosowanie odwzorowania zmienności zapotrzebowania w czasie do danych pomiarowych poprzez modyfikację odpowiednich rozkładów godzinowych i wielkości poboru wody opisanych w modelu.

W tym celu wykorzystuje się dostępne pomiary terenowe wielkości przepływu w strategicznych miejscach sieci. Są to dane z przepływomierzy na przewodach tłocznych ZUW i poszczególnych przepompowni, oraz dane z przepływomierzy umieszczonych na przewodach rozdzielających strefy bilansowania przepływu. Szczególnie te ostatnie są ważne w kontekście niniejszej metody, gdyż pozwalają na uszczegółowienie odwzorowania na mniejsze rejony sieci. Istotne jest również to, by wszystkie pomiary zostały wykonane w tym samym czasie. Na rys. 1, jako przykład, przedstawiono podział obszaru zasilanego przez Sądeckie Wodociągi na szereg mniejszych stref bilansowania przepływów. Podział ten stanowił podstawę do opracowania modelu tego systemu wodociągowego, w którym wykorzystano prezentowaną metodę aktualizacji modelu zapotrzebowania na wodę.



Rys. 1. Podział systemu wodociągowego na strefy bilansowania zapotrzebowania. Nowy Sącz

Fig. 1. Water supply system diversification into separate zones of water demand. Nowy Sącz

3.1 Bilansowanie zmienności w czasie i ilości wody w wydzielonej strefie

Dysponując pomiarami przepływu na kluczowych odcinkach sieci wydzielających separowane strefy, możliwe jest ich odpowiednie sumowanie, pozwalające na zbilansowanie ilości i uzyskanie zmienności w czasie wody, która po-

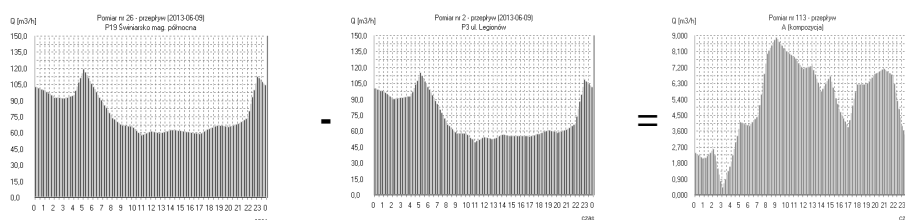
zostaje w obrębie każdej z wydzielonych stref. Jest to zarówno woda sprzedana jak i tracona np. na nieszczelnościach. Bilansowanie tego typu realizowane jest dla każdego przedziału czasowego (domyślnie jedna godzina) z wykorzystaniem wzoru:

$$Q_{strefy} = \sum Q_{we} - \sum Q_{wy} \quad (1)$$

gdzie:

- Q_{strefy} – obliczona wielkość konsumpcji wody w obrębie wydzielonej strefy [m^3/h],
- Q_{we} – przepływ przez przepływomierze, przez które woda wpływa do strefy [m^3/h],
- Q_{wy} – przepływ przez przepływomierze przez które woda wypływa ze strefy [m^3/h].

Na rys. 2.a – 2.c. schematycznie przedstawiono procedurę bilansowania, gdzie wynikowy rozkład (rys. 2.c) powstaje z różnicy przepływów między odcięciem na wejściu (rys. 2.a) i na wyjściu ze strefy (rys. 2.b).



Rys. 2.a. Pomiar przepływu wody dopływającej do wydzielonej strefy

Fig. 2.a. Chart of measured amount of water entering separated zone

Rys. 2.b. Pomiar przepływu wody wypływającej z wydzielonej strefy

Fig. 2.b. Chart of measured amount of water leaving separated zone

Rys. 2.c. Obraz zmienności w czasie poboru wody w wydzielonej strefie

Fig. 2.c. Chart of measured water demand in separated zone

3.2 Szacowanie wielkości strat wody w wydzielonej strefie

Wykorzystując obliczony wzorem (1), na bazie pomiarów terenowych, rozkład zmienności „konsumpcji” wody w wydzielonej strefie, oraz przyjmując z pewnym prawdopodobieństwem rozkład poboru wody sprzedanej, możliwe jest wyznaczenie różnicy między nimi dla każdego przedziału czasowego, korzystając z następujących relacji, które są każdorazowo wyznaczone dla kolejnych godzinowych przedziałów czasowych:

$$Q_{strat} = Q_{strefy} - Q_{sprz} \quad (2)$$

$$Q_{sprz} = \sum_{i=1}^n q_{sprz}^i \quad (3)$$

$$q_{sprz}^i = q_{sr}^i \cdot u(t) \quad (4)$$

gdzie:

Q_{strat} – obliczona wielkość strat wody w obrębie wydzielonej strefy [m^3/h],

Q_{strefy} – obliczona wg (1) wielkość konsumpcji wody w obrębie wydzielonej strefy wodociągowej [m^3/h],

Q_{sprz} – obliczona wg (3), sumaryczna sprzedaż wody w strefie [m^3/h],

q_{sprz}^i – wielkość sprzedaży wody w i -tym punkcie pomiaru sprzedaży, w kolejnym kroku czasowym, na podstawie przyjętego rozkładu zmienności zapotrzebowania na wodę u , dla i -tego odbiorcy [m^3/h],

q_{sr}^i – średnia dobową sprzedaż wody zmierzona w i -tym punkcie sprzedaży wody [m^3/d]

$u(t)$ – wartość założonego rozkładu zmienności zapotrzebowania na wodę w kolejnym kroku czasowym [-],

n – liczba węzłów sieci obciążonych zapotrzebowaniem na wodę.

Suma wartości Q_{strat} dla całej doby może być utożsamiana z dobową wielkością strat na nieszczelnościach. Z perspektywy zmienności w czasie kolejnych wartości Q_{strat} nie jest to już takie oczywiste ze względu na założoną ($u(t)$), a nie zmierzoną zmienność sprzedaży wody. Taka niejednoznaczność nie stanowi jednak istotnego problemu obliczeniowego, gdyż finalnie istotna jest suma obu wartości, która winna pokryć się z pomiarem na przepływomierzach. Może ona prowadzić jedynie do lokalnych rozbieżności z rzeczywistym przepływem.

Aby dopasować model zapotrzebowania do pomiarów terenowych, konieczne jest wprowadzenie korekty w zakresie ilości wody, oraz zmienności w czasie dla wszystkich węzłów sieci w obrębie wskazanej strefy bilansowania. Odbywa się to poprzez dystrybucję obliczonej ilości wody traconej pomiędzy węzły sieci, według jednego z kilku dostępnych w aplikacji scenariuszy. Zaimplementowany algorytm dystrybucji strat pozwala na przeprowadzenie jej:

- proporcjonalnie do wielkości rzeczywistego zapotrzebowania na wodę

$$q_{strat}^i = Q_{strat} \cdot \frac{q_{sprz}^i}{Q_{sprz}} \quad (5)$$

- proporcjonalnie do średnicy przewodu zasilającego

$$q_{strat}^i = Q_{strat} \cdot \frac{D^i}{\sum_{i=1}^n D^i} \quad (6)$$

- rozkładając straty równomiernie między obciążone węzły w strefie

$$q_{strat}^i = \frac{Q_{strat}}{n} \quad (7)$$

gdzie:

Q_{strat} – obliczona wielkość strat wody w obrębie wydzielonej strefy [m^3/h],

Q_{sprz} – obliczona sumaryczna sprzedaż wody w obrębie strefy [m^3/h],

q_{sprz}^i – zmierzona sprzedaż wody w i -tym punkcie (wodomierzu) [m^3/h],

q_{strat}^i – oszacowana strata wody w okolicy i -tego punktu sprzedaży [m^3/h],

D^i – średnica wewnętrzna przewodu doprowadzającego wodę do i -tego punktu sprzedaży wody [mm],

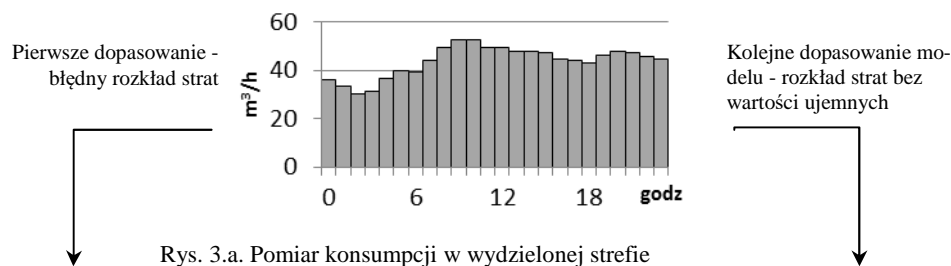
n – liczba węzłów sieci obciążonych zapotrzebowaniem na wodę.

Dystrybucja wyżej opisanej ilości wody związana jest z równoczesnym przypisaniem do węzła sieci odpowiedniego, obliczonego rozkładu zmienności w czasie. Należy tu zauważyć, że ta dystrybucja odbywa się według założonego algorytmu, natomiast wielkość sprzedaży wody jest już uzależniona od odczytów na indywidualnych wodomierzach. Suma tych dwóch składowych pozwala na pełne zbilansowanie ilości i zmienności w czasie wody w obrębie całej wydzielonej strefy, równocześnie utrzymując zróżnicowanie ilościowe oraz sumaryczną zmienność sprzedaży i strat w każdym węźle sieci. Procedura nie prowadzi do uśrednienia i ujednolicenia charakteru poboru wody. Pomimo sumarycznej zgodności w zakresie ilości i zmienności w czasie z odczytami terenowymi zachowany jest indywidualny charakter poboru wody w każdym węźle sieci.

3.3 Dopasowanie wartości modelowych do danych pomiarowych

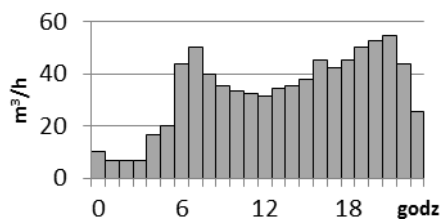
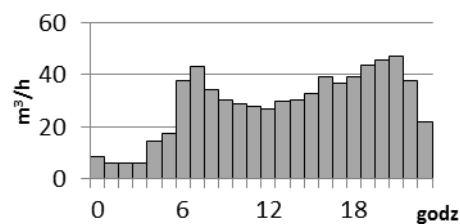
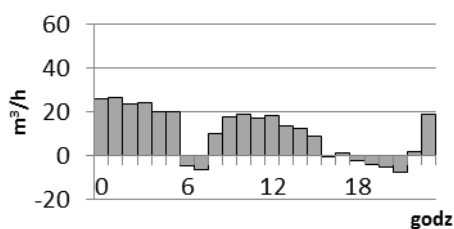
Przedstawiony powyżej algorytm może napotkać na pewną przeszkodę wymuszającą korektę obliczeń. Wielkości sprzedaży wyliczone na bazie założonego rozkładu zmienności w czasie wg wzoru (4), w szczególnych warunkach, dla niektórych godzin mogą być większe niż wartości zmierzone. Prowadzi to do błędnych wyników sugerujących ujemne zapotrzebowanie na wodę. Zdarzenie takie może mieć miejsce przy aktualizacji modelu do warunków, w których pobór wody jest mniejszy niż q_{sr}^i wynikające z uśrednionego odczytu

na indywidualnych wodomierzach. W takiej sytuacji, w aplikacji rekurencyjnie realizowana jest korekta rozkładu i wielkości sprzedaży wody, tak by osiągnąć stan, w którym wielkości obliczone nie przekraczają wielkości zmierzonych w ciągu całej symulowanej doby, dla każdego węzła sieci, w każdym przedziale czasowym. Zyskiem z takiej operacji jest korekta wstępnie założonego rozkładu sprzedaży wody w kierunku rozkładu bardziej rzeczywistego, natomiast jego uzupełnienie do wielkości zmierzonej jest przybliżonym rozkładem zmienności wody traconej.



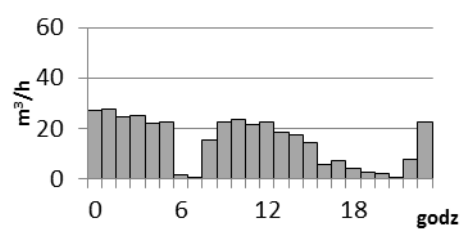
Rys. 3.a. Pomiar konsumpcji w wydzielonej strefie

Fig. 3.a. Measured water consumption in separated zone

Rys. 3.b. Założony rozkład konsumpcji wody
Fig. 3.b. Assumed chart of water consumptionRys. 3.d. Skorygowana konsumpcja wody
Fig. 3.d. Recalculated water consumption

Rys. 3.c. Obliczony rozkład strat – pojawiają się wartości ujemne

Fig. 3.c. Calculated chart of water losses – negative values appeared



Rys. 3.e. Rozkład strat po korekcie konsumpcji – brak wartości ujemnych

Fig. 3.e. Chart of water losses after recalculation – lack of negative values

Na rys. 3.a – 3.e przedstawiono kolejne kroki realizujące korektę wielkości sprzedaży wody i wielkości strat. Dysponując rozkładem na bazie pomiarów (rys. 3.a) oraz, przy założeniu rozkładu sprzedaży wody (rys. 3.b) wylicza się teoretyczny, przybliżony rozkład wody traconej (rys. 3.c). Gdy którakolwiek z wartości w tym rozkładzie jest ujemna, konieczna jest korekta założonego rozkładu sprzedaży wody poprzez jego proporcjonalne zmniejszenie i spłaszczenie (rys. 3.d), aż uzyskany rozkład wody traconej będzie pozbawiony wartości ujemnych (rys. 3.e). Ich suma w dalszym ciągu dokładnie odpowiada wartościom zmierzonym.

Finalnie, po wykonaniu opisanej procedury, model zapotrzebowania na wodę odwzorowuje ilość i zmienność w czasie charakterystyczną dla doby wykonania pomiarów. Poziom szczegółowości odwzorowania związany jest w dużej mierze z ilością punktów pomiarowych na sieci i wydzielonych w ten sposób stref bilansowania. Sam proces aktualizacji modelu zapotrzebowania na wodę, przy wcześniej zdefiniowanych relacjach między poszczególnymi pomiarami, sprowadza się do wskazania źródła danych o pomiarach i określenia daty, dla której zostanie odwzorowany stan systemu. Można powiedzieć, że odwzorowanie takie jest najbliższe rzeczywistym warunkom poboru wody w analizowanym systemie wodociągowym i stanowi podstawę do kalibracji hydraulicznej wskazanych obiektów wodociągowych, według przyjętych kryteriów dopasowania modelu do stanu rzeczywistego. Zagadnienie kalibracji obiektów wodociągowych również można w znacznym stopniu zautomatyzować, a procedurę taką opisano w kolejnym rozdziale.

4. Autokalibracja pracy pomp

Zagadnienie kalibracji pracy obiektów pompowych jest drugim tematem poruszonym w ramach niniejszego opracowania. Poprzez kalibrację pomp rozumie się tu odpowiednie dopasowanie w symulatorze nastaw obiektów tak, by w wynikach obliczeń uzyskać wartości ciśnienia tłoczenia lub wydajności jak najbliższe wielkościom zmierzonym. W przypadku modeli hydraulicznych o statycznie zdefiniowanym modelu zapotrzebowania na wodę, kalibracja wszystkich urządzeń wykonywana jest przez operatora jednorazowo, tak by dostosować ich parametry do wielkości oczekiwanych. Proces ten, pomimo że jest wykonywany jednorazowo jest zadaniem bardzo żmudnym i często zajmuje istotną część czasu przeznaczanego na stworzenie prawidłowo funkcjonującego modelu sieci. Należy tu zauważyć, że dla każdej pompowni występującej w systemie, należy prawidłowo zdefiniować parametry jej pracy w interwałach nie dłuższych niż godzinne, co przy dużej ilości obiektów pompowych może być bardzo czasochłonne. Alternatywą może być automatyzacja tego procesu, która pozwoli na precyzyjne odwzorowanie pracy obiektu przy minimalnej ingerencji ze strony operatora modelu. W powiązaniu z dynamiczną aktualizacją

modelu zapotrzebowania na wodę, obie metody znacząco zwiększają użyteczność modelu i usprawniają jego eksploatację.

W aplikacji zaimplementowano autorski algorytm, który odwołując się do danych pomiarowych o pracy pompy, takich jak wysokość tłoczenia bądź wydajność, dokonuje modyfikacji parametru utożsamianego z mnożnikiem prędkości obrotowej wirnika pompy, tak by w każdym kroku czasowym nastawa obiektu w modelu skutkowałą wynikiem pracy pompy, zbliżonym do wartości zmierzonej przy założonej dokładności dopasowania, przykładowo $\varepsilon \leq 0,1$ m.

W symulatorze, pompa odwzorowana jest jedynie poprzez charakterystykę zależności $h(Q)$, która może być modyfikowana poprzez zmianę wartości parametru n będącego odpowiednikiem mnożnika fabrycznej prędkości obrotowej wirnika pompy. Zależności między tymi wielkościami przedstawione w równaniach (8) i (9) wg [2] pozwalają wyznaczyć nowy kształt charakterystyki pompy przy zmienionej prędkości obrotowej.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (8)$$

$$\frac{h_1}{h_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad (9)$$

gdzie:

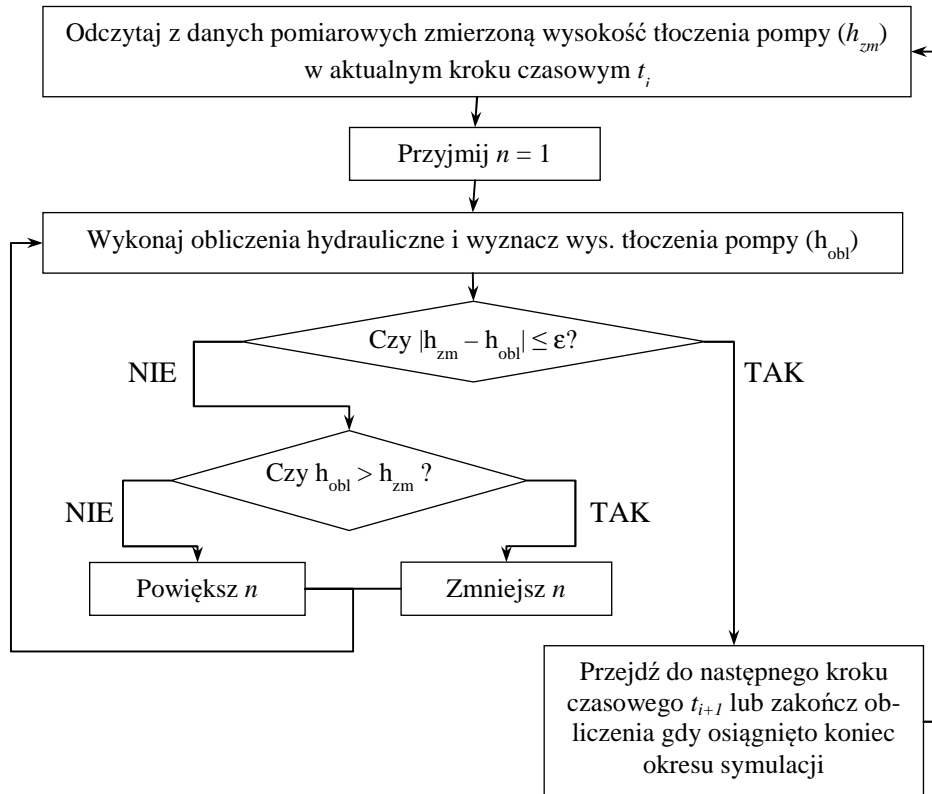
Q_1, Q_2 – wydajności jednostki pompowej przy różnych prędkościach obrotowych,

h_1, h_2 – wysokość podnoszenia jednostki pompowej przy różnych prędkościach obrotowych,

n_1, n_2 – prędkości obrotowe wirnika pompy.

Prezentowany tu algorytm autokalibracji może służyć do dopasowania parametrów pracy pompy w zakresie ciśnienia bądź wydajności jednostki pompowej. Poszczególne kroki algorytmu w formie blokowej przedstawiono na rys. 4 na przykładzie kalibracji w zakresie ciśnienia tłoczenia dla jednego kroku czasowego i przy założonej dokładności dopasowania ε .

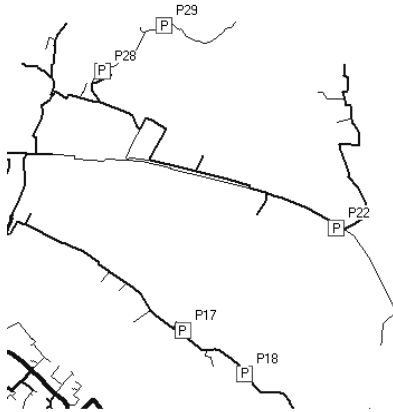
Algorytm przedstawiony na rys. 4. będzie funkcjonować prawidłowo w układzie wodociągowym z jedną pompownią. W przypadku obecności kilku pompowni konieczne jest rozważenie ich wzajemnych relacji hydraulicznych. Można tu rozróżnić obiekty, które tłoczą wodę do jednej strefy ciśnienia i je należy rozpatrywać równolegle, oraz obiekty, które pobierają wodę z takiej strefy i tłoczą do strefy kolejnej. Autokalibracja pompowni równoległych może odbywać się w jednym kroku iteracyjnym. Oznacza to, że wszystkie pompownie tego samego poziomu kalibrowane są w tym samym czasie. Parametry pracy pompowni pobierających wodę ze strefy niższego ciśnienia (w szczególności



Rys. 4. Ramowy algorytm autokalibracji pompy

Fig. 4. Pump calibration algorithm

ciśnienie po stronie ssania) w dużej mierze zależą od pracy pompowni poprzedzających. Z tego względu należy je traktować jak połączone kaskadowo zaś sam proces autokalibracji winien być wykonany na nich w kolejnej iteracji, po uzyskaniu zbieżności wyników w pompowniach niższego rzędu. Oznacza to, że wcześniej prezentowany algorytm z rys. 4 winien być wykonywany wielokrotnie dla kolejnych pomp w układzie, w kolejności określonej przez operatora i zapisanej na liście hierarchiczności poszczególnych obiektów poddawanych kalibracji. Przykład zastosowania tego rozwiązania przedstawiono na rys. 5 oraz rys. 6, gdzie przedstawiono fragment systemu wodociągowego Nowego Sącza, oraz odpowiadającą mu listę hierarchiczności obiektów w procesie autokalibracji. Na pierwszych pozycjach tej listy znajdują się obiekty symulujące pracę ZUW, a na kolejnych – wybrane pompownie. Należy zauważyć, że pompownie nr 17, 22 i 28 są względem siebie równoległe i kalibrowane w tym samym kroku iteracyjnym. Pompownie nr 18 i 29 kalibrowane są po ustaleniu warunków pracy pompowni poprzedzających.



Rys. 5. Lokalizacja pompowni znajdujących się na liście hierarchiczności z rys 6

Fig. 5. Localization of pumps from hierarchical list mentioned in fig. 6

Kolejność	Ob. kal.	Nazwa ob. kalibrowanego	Kalibrowana wielkość	Pomiar referencyjny
Razem z poz. wyżej	Rez	R1: Świniarsko zasilanie m...	poziom zw. wody	140 - Rzędna ciśn dla rez.1 do mag. PN ...
Razem z poz. wyżej	Rez	R4: Świniarsko zasilanie m...	poziom zw. wody	141 - Rzędna ciśn dla rez.4 do mag. PD ...
Razem z poz. wyżej	Rez	R3: Stary Sącz zasilanie m...	poziom zw. wody	142 - Rzędna ciśn dla rez.3 do mag. SS...
W następnym kroku	Pom	P17: Długoszowskiego 1	ciśn. tłoczenia	66 - H. Długoszowskiego 1 - h tłoczenia
Razem z poz. wyżej	Pom	P28: Chruślicka 1	ciśn. tłoczenia	109 - H. Chruślicka 1 - h tłoczenia
Razem z poz. wyżej	Pom	P22: Lwowska	ciśn. tłoczenia	74 - H. Lwowska 1 - h tłoczenia
W następnym kroku	Pom	P18: Długoszowskiego 2	ciśn. tłoczenia	68 - H. Długoszowskiego 2 - h tłoczenia
Razem z poz. wyżej	Pom	P29: Chruślicka 2	ciśn. tłoczenia	112 - H. Chruślicka 2 - h tłoczenia

Rys. 6. Lista hierarchiczności obiektów poddawanych kalibracji

Fig. 6. Hierarchical list of calibrating objects

Na rys. 7 przedstawiono efekt działania algorytmu w formie wykresu z naniesionym pomiarem ciśnienia tłoczenia (jaśniejsza linia) oraz ciśnieniem obliczonym w procesie autokalibracji (ciemniejsza linia). Rozbieżności między obydwooma wykresami nie przekraczają założonej dokładności $\epsilon = \pm 0,1$ [m].



Rys. 7. Porównanie pomiaru i wyników obliczeń hydraulicznych ciśnienia tłoczenia w wybranej pompowni

Fig. 7. Comparison of measured and calculated pressure in pumping station

5. Wdrożenie

Opisane rozwiązania zostały z powodzeniem zaimplementowane w kodzie autorskiego symulatora funkcjonowania systemów wodociągowych opierającego się na mechanizmach obliczeniowych zaczerpniętych z SDK Epanet 2. W symulatorze tym został stworzony szczegółowy model sieci wodociągowej eksploatowanej przez Sądeckie Wodociągi sp. z o.o. Wspomniany model wykorzystywany jest do bieżącej analizy funkcjonowania systemu, a dostęp do niego znajduje się na stanowisku dyspozytorskim. System wodociągowy Nowego Sącza podzielony jest na szereg stref bilansowania przepływów z wykorzystaniem przepływomierzy i ciśnieniomierzy umieszczonych w kluczowych lokalizacjach. Na bazie tego podziału, w modelu stworzono odpowiednie struktury pozwalające na odwzorowanie wielkości i zmienności zapotrzebowania oraz przepływu wody dla dowolnego dnia, dla którego dostępne są odczyty z przepływomierzy, w tym w szczególności dla dnia poprzedniego.

Bazując również na pomiarach wydajności i ciśnienia w pompowniach, oraz napełnienia zbiorników w dowolnie wybranym dniu, w modelu realizowany jest algorytm autokalibracji tych obiektów. Aktualnie, w celu aktualizacji modelu do dowolnie wybranego stanu spośród stanów historycznych, operator modelu musi jedynie w arkuszu kalkulacyjnym podać datę i wygenerować plik z wartościami pomiarów, a następnie taki plik zaimportować do symulatora. Pozostałe operacje związane z aktualizacją modelu zapotrzebowania na wodę oraz autokalibracji pompowni wykonują się w tle. Proces ten trwa w zależności od mocy obliczeniowej komputera od kilkunastu do kilkudziesięciu sekund.

6. Podsumowanie

Zaprezentowane rozwiązania poszerzają możliwości wykorzystania komputerowych modeli sieci wodociągowych oraz w znaczący sposób skracają czas ich aktualizacji w zakresie zmian parametrów eksploatacyjnych. Pomimo dużego potencjału użytkowego jakim są obdarzone, należy przyznać, że rozwiązania te nie są wolne od wad, w szczególności o charakterze numerycznym, prowadząc w niekorzystnych warunkach do niestabilności symulatora. Skuteczność ich stosowania w dużej mierze zależy od dostępności prawidłowych pomiarów terenowych. Na bieżąco prowadzone są prace nad udoskonalaniem prezentowanych metod obliczeniowych i zwiększeniem wiarygodności uzyskiwanych wyników. Według wiedzy autora, przedstawione rozwiązania są niedostępne w innych symulatorach, co czyni je unikatowymi, a wdrożenia z ich wykorzystaniem są działaniami pionierskimi.

Na aktualnym etapie rozwoju symulatora, możliwe jest odtworzenie warunków pracy w dowolnie wybranej pełnej dobie, przy dostępności danych pomiarowych. Planuje się rozwój oprogramowania w kierunku możliwości symulacji stanu bieżącego z opóźnieniem wynikającym jedynie z charakteru transmi-

sji danych z punktów pomiarowych. Powinno to w jeszcze większym stopniu usprawnić eksploatację rozległych systemów wodociągowych, przy minimalnych nakładach pracy ze strony użytkownika.

Literatura

- [1] Knapik K., Wierzbicki R., Płoskonka R.: Zastosowanie technik komputerowych w analizie funkcjonowania istniejących i projektowanych systemów zaopatrzenia w wodę, Materiały II Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo – Technicznej, Szczyrk 5 – 6 czerwiec 2003, strony 131 – 139.
- [2] Rossman L. A.: Epanet 2 User's manual, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH 45268, EPA/600/R-00/057, September 2000.
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 r. w sprawie określenia przeciętnych norm zużycia wody. Dziennik Ustaw, Nr 8, Poz. 70.
- [4] Wytyczne do programowania zapotrzebowania wody i ilości ścieków w miejskich jednostkach osadniczych. Ministerstwo Administracji, Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska, Warszawa 1978.

AUTOMATION OF SELECTED UPDATE AND CALIBRATION PROCESSES IN WATER SUPPLY MODELS WITH VARYING CONDITIONS OF SERVICE

Summary

Water system modelling is becoming a more and more popular tool supporting management and utilization of modern waterworks companies. In the vast majority of cases, existing models represent a conventional level of utilization that corresponds to an average or maximum daily water demand. There are many technical and organizational obstacles preventing us from creation of a model which would map a current state of the water system. The study presents an original solution that extends the functionality of water system simulators and allows for significant automation of model calibrations in current conditions through updates and realignments of actual water demand, and adjustments of corresponding parameters of a pumping station. This solution has been presented in a form of a universal procedure that can be implemented in any water system simulator. It has already been used to extend the functionality of the native simulator based on Epanet software development kit and has been successfully tested and implemented in Nowy Sącz water system model.

Keywords: water supply model, water demand, Epanet, calibration

Przesłano do redakcji: 30.08.2015 r.

Przyjęto do druku: 1.03.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.127

Danuta PROSZAK¹
Patrycja BARŁOWSKA²

PELET CZY WĘGIEL? EKONOMICZNE ASPEKTY WYBORU PALIWA DO OGRZANIA BUDYNKU JEDNORODZINNEGO

W Polsce coraz więcej użytkowników decyduje się na wspomaganie lub całkowitą zmianę paliw tradycyjnych na alternatywne do ogrzewania budynków. Wybierane są paliwa, które nie szkodzą środowisku i są tańsze w zakupie. Mowa tu o energii odnawialnej: słońce, woda, wiatr jak i przetworzonej energii słonecznej pobieranej przez rośliny czyli biomasy. Jest to nie tylko związane z wymogami dotyczącymi emisji gazów oraz pyłów, które są coraz bardziej zaostrzane, ale również ma na celu zastąpienie kopalnych źródeł energii pierwotnej, energią z niskoemisyjnych źródeł odnawialnych. Wśród najważniejszych czynników, które sprawiły, że sektor energetyczny w coraz większym stopniu interesuje się wykorzystaniem biomasy, jest możliwość szybkiego przystosowania technicznego i technologicznego instalacji węglowych do spalania i współspalania biomasy [9]. Ponadto z peletu uzyskuje się energię porównywalną z tą otrzymaną z gorszej jakości węgla, otrzymuje się zerowy bilans ditlenku węgla, oraz niższą emisję zanieczyszczeń w porównaniu z węglem [8]. Jednak ciągle pozostaje duża grupa osób paląca wyłącznie węglem. Nowoczesne automatyczne piece węglowe mogą osiągać sprawność spalania 80-90%, co sprawia, że przy relatywnie niskich cenach węgla w stosunku do innych paliw koszt ogrzewania tym rodzajem opału jest najniższy. Jednak osiągnięcie wysokiej sprawności wytwarzania ciepła jest możliwe tylko wtedy, gdy stosuje się węgiel dobrej jakości. Minusem spalania węgla jest ciemny, zanieczyszczający nasze środowisko dym, emisja pyłu i ditlenku siarki oraz powstawanie stałych produktów spalania tj. popiołu i żużla. Niniejszej publikacji porównano roczne koszty za zużyty pelet i węgiel w przypadku instalacji centralnego ogrzewania w budynku jednorodzinnym.

Słowa kluczowe: pelet, węgiel, koszty ogrzewania domu, biomasa

1. Wprowadzenie

Obecnie najpopularniejszym paliwem do ogrzewania domu, wciąż pozostaje węgiel. Użytkowników nie zraża kłopotliwa eksploatacja kotłów, emitowane przez nie zanieczyszczenia, a także rosnąca cena węgla. Jednak ilość pokładów

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Danuta Proszak, Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, tel. 17 8651699, dproszak@prz.edu.pl

² Patrycja Barłowska, studentka, Politechnika Rzeszowska

paliw kopalnianych maleje, a wymogi dotyczące emisji gazów i pyłów są coraz bardziej zaostrzane. Warto również wspomnieć o ograniczaniu emisji ditlenku węgla, powodującego efekt cieplarniany. Te czynniki zmuszają ludzi do poszukiwania innych źródeł energii. Takim źródłem jest energia odnawialna. Jest to energia pozyskiwana z promieniowania słonecznego, energia wody czy wiatru, która coraz częściej zostaje zastępowana poprzez biomasę, zawierającą w sobie energię promieniowania słonecznego przekształconą podczas fotosyntezy. Produkcja peletu z biomasy jest co raz popularniejsza, gdyż można odpady rolnicze i leśne przekształcić na drogocenne paliwo. Dużym plusem na rzecz wykorzystania peletu jest jego czystość. Pelet nie brudzi, ma przyjemny zapach. Pakowany jest w poręczne torby, a co raz wyższa sprawność kotłów na pelet, sprawia iż są dwukrotnie wydajniejsze od kotłów na węgiel. Ponadto używanie i obsługa tego typu kotłów nie wymaga codziennej pracy fizycznej, jak w przypadku kotłów na koks, brykiet czy węgiel. Przy odpowiednio dobranym koszu i podajniku zasyp granulatem następuje raz 5-7 dni.

2. Pelet jako paliwo

Biomasa według definicji Unii Europejskiej oznacza przydatne na rozkład biologiczny frakcje produktów, odpady i pozostałości przemysłu rolnego (łącznie z substancjami roślinnymi i zwierzęcymi), leśnictwa i związanych z nim gałęzi gospodarki, jak również przydatne na rozkład biologiczny frakcje odpadów przemysłowych i miejskich (Dyrektywa 2001/77/WE). [3] Jest to bez wątpienia najstarsze współcześnie wykorzystywane odnawialne źródło energii. Jednak nie wszystkie formy biomasy są efektem ubocznym produkcji. Aby uzyskać biomasę uprawiane są rośliny energetyczne, które cechują się znacznym przyrostem w ciągu roku oraz nie posiadają dużych wymagań odnośnie gleby można tym samym zagospodarować gleby nieurodzajne.

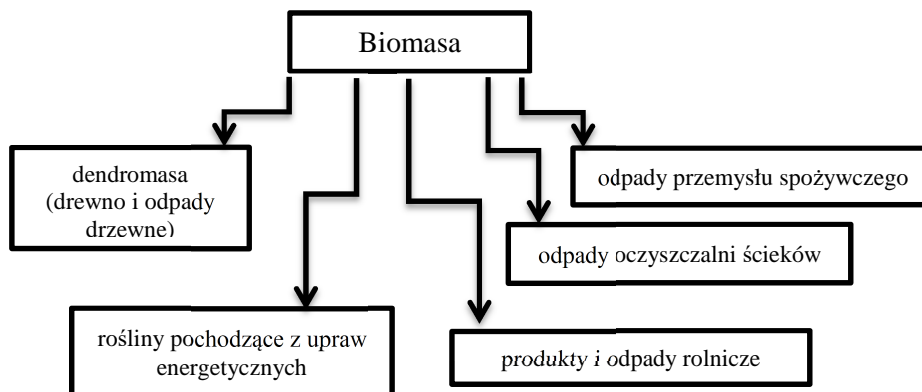
Najwięcej jednak biopaliw powstaje ze stałych odpadów organicznych pozyskiwanych z:

- rolnictwa (słoma, siano, drobne gałęzie pochodzące z przecinki sadów, zboże nienadające się do spożycia),
- przemysłu przetwórstwa zbożowego, tartaczego, meblarskiego, tłuszczowego (są to otręby, trociny, wióry, zrżyny, kora, makuchy rzepakowe, itp.),
- leśnictwa (drewno opałowe, zrębki, wióry, polana, trociny).

Odpady organiczne płynne i o dużej zawartości wilgoci pochodzą z:

- rolnictwa (obornik, gnojowica, gnojówka),
- przemysłu skrobiowego, cukrowniczego, przetwórstwa owocowo-warzywnego, mięsnego, gorzelniczego, piwowarskiego (wytłoki, odpady z przeróbki owoców i warzyw, odpady poubojowe, itp.).

Źródła pochodzenia biomasy przedstawia rysunek 1. Nie przetworzona biomasa jest dosyć kłopotliwym paliwem ze względu na dużą objętość, i z powodowane z tym trudności w transporcie i przechowywaniu. Dlatego też bioma-



Rys. 1. Rodzaje biomasy

Fig. 1. Types of biomass

sę ujednocila się i uszlachetnia w procesie peletyzacji lub brykietyzacji. Poprzez te procesy zmniejsza się jej zawartość wody, zwiększa gęstość, dzięki czemu uzyskuje się znacznie wyższą wartość opałową w przeliczeniu na jednostkę objętości.

Surowcem do produkcji peletu i brykiety może być praktycznie każdy rodzaj roślin. Pelety i brykiety powstają poprzez sprasowanie surowca pod wysokim ciśnieniem, bez udziału chemicznych substancji klejących. Substancją spajającą jest lignina zawarta w biomacie, która w procesie peletyzacji i brykietyzacji pod wpływem wysokiego ciśnienia nagrzewa się i przyjmuje półpłynną postać, dzięki czemu można ją dowolnie formować. Najcenniejszym i najbardziej kalorycznym materiałem są trociny drzewne, ścinki i wióry. Pelet drzewny jest jednym z najbardziej popularnych biopaliw, służących do ogrzewania domu. Wytwarzany jest w 100 % z naturalnych składników. Jest to czyste, sprasowane drewno, w którym nie ma żadnych dodatków ani substancji lepiących. Dzięki temu zawarta w surowcu energia, zostaje silnie zagęszczona, dając paliwo o bardzo dobrych właściwościach energetycznych [2]. Wartość opałowa peletu wynosi 16,5-18 MJ/kg, wilgotność waha się w granicach 7-12 %, natomiast gęstość wynosi około 1200 kg/m³. Średnica granulatu zawiera się pomiędzy 6-8 mm a długość od 10-30mm. Zaletą spalania peletu jest znikoma ilość popiołu, jaka powstaje podczas spalania. Stanowi ona zaledwie ok. 1 % masy drewna i dodatkowo może być użyta, jako naturalny nawóz. Warto również wspomnieć, że jest to paliwo odnawialne, co oznacza, że ditlenek węgla, który wytwarzany jest w procesie spalania, pochłaniają rośliny podczas wzrostu w danym cyklu. Dzięki czemu można stwierdzić, że podczas spalania peletu otrzymujemy zerowy bilans ditlenku węgla, a także nie powoduje dużej ilości emisji ditlenku siarki [10].

Główne zalety peletu widoczne z punktu widzenia użytkowników, to:

- ekologia – paliwo odnawialne,
- duża wydajność energetyczna,

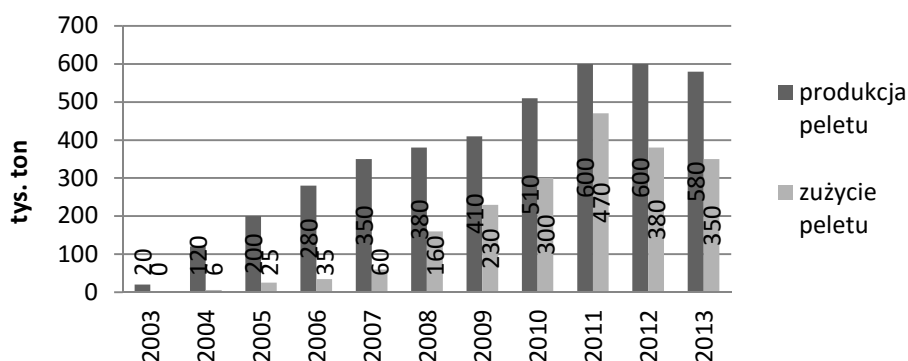
- relatywnie niska cena,
- czystość, brak toksyczności,
- łatwość magazynowania.

Natomiast, warto również pamiętać o:

- zapobieganiu marnotrawstwu oraz zagospodarowaniu odpadów,
- zagospodarowaniu nieużytków oraz terenów przemysłowych przez rośliny energetyczne,
- powstawaniu nowych miejsc pracy, dzięki rozwojowi rolnictwa [4].

W Polsce pelet zyskuje coraz większą popularność. Stosowany jest nie tylko w kotłach przydomowych, które ogrzewają pomieszczenia i wodę, ale również w hotelach czy szkołach. Zyskuje również zastosowanie w nowoczesnych, automatycznych kominkach, które nie wymagają instalacji kominowych, a także w ciepłowniach miejskich czy gminnych. Idealnie sprawdza się w elektrociepłowniach, które muszą ograniczać emisję ditlenku węgla, pyłów i innych szkodliwych związków do atmosfery [6].

Warto wspomnieć, że Polska jest jednym z największych na świecie producentów i eksporterów mebli. Przemysł drzewny stanowi bardzo dużą część naszej gospodarki – podczas wyrobu mebli, generowana jest znaczna ilość trocin, które przerabiane są na ekologiczny pelet. Spadek produkcji widoczny na rys. 2 na przełomie 2012 i 2013 roku, spowodowała zbyt duża podaż zielonych certyfikatów. Ze wstępnych danych wynika, że w 2014 r. konsumpcja pelet drzewnych w UE wzrosła do ok. 20 mln ton. Było to możliwe głównie dzięki zwiększonemu importowi. Największymi eksporterami netto pelet drzewnych na świecie w ubiegłym roku były Stany Zjednoczone (3,9 mln ton), Kanada (1,6 mln ton), Łotwa (1,2 mln ton) oraz Rosja (0,88 mln ton) [5].



Rys. 2. Produkcja i zużycie peletu w Polsce w latach 2003-2012 (opracowano na podstawie [5])

Fig. 2. Pellet production and consumption in Poland in the years 2003-2013 (on the basis of [5])

3. Właściwości węgla kopalnianego

Węgiel kopalniany stanowi około 90 % światowej energii. Na terenie Polski występują znaczne ilości złoża, dlatego jest on powszechnie stosowany. Używanie węgla jest ekonomiczne, co związane jest nie tylko z jego wartością opałową, ale również z ceną. Wartość opałowa węgla kamiennego waha się od 16,7 do 29,3 MJ/kg i jest ona silnie zależna od składu węgla – wilgotności, zawartości siarki oraz popiołu.

Innym rodzajem węgla jest węgiel brunatny, który ze względu na niższą kaloryczność niż węgiel kamienny (max. 21 MJ/kg), odgrywa niewielką rolę z gospodarcze energetycznej. Właśnie ze względu na małą kaloryczność oraz dużą zawartość wody, nie opłaca się go transportować, więc spalany jest najczęściej w pobliskich elektrowniach [7].

Tabela 1. Porównanie składu i wartości opałowej węgla kamiennego i węgla brunatnego

Table 1. Comparison of the composition and calorific value of coal and lignite

Rodzaj paliwa	Węgiel C %	Wodór H %	Tlen O %	Siarka + azot S+N %	Wartość opałowa MJ/kg	Części lotne %
Węgiel kamienny	82	5	12	0,8	29	35
Węgiel brunatny	70	5	24	0,8	21	50

Mimo wielu zalet węgla, takich jak wspomniana wcześniej cena, czy wartość opałowa, jak również jego dostępność oraz łatwość transportu, w porównaniu do np. paliwa gazowego, istnieją również jego wady. Podstawową niedogodnością jest, to, że nie jest to paliwo ekologiczne, ponieważ podczas spalania emituje wiele szkodliwych substancji do atmosfery tj.: duże ilości pyłu w którym zawarte są metale ciężkie (w tym ołów), wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (w tym benzo(a)piren), tlenki siarki, tlenki azotu, tlenek węgla [7]. Ponadto powstają produkty stałe spalania: popiół i sadza. Spalanie węgla przyczynia się do zwiększenia efektu cieplarnianego i kwaśnego deszczu. Dodatkowo wydobycie węgla z roku na rok jest coraz bardziej kosztowne, ponieważ pozyskuje się go z głębiej leżących pokładów.

4. Porównanie zużycia węgla i peletu w ciągu roku dla budynku jednorodzinnego

Obliczenia wykonano dla domu jednorodzinnego o powierzchni użytkowej równej 130,68 m², przystosowanego do potrzeb minimum czteroosobowej rodziny. Jest to budynek wolnostojący, o jednej kondygnacji nadziemnej – parter, niepodpiwniczony, z poddaszem nieużytkowym, kryty dachem wielopołaciowym.

wym. Wnętrze podzielone jest na trakty o zróżnicowanej funkcji. Trakt środkowy to strefa komunikacji: zaczynając od wejścia głównego przez wiatrołap do przedpokoju. W tej strefie znajduje się również kotłownia. Dwie pozostałe części budynku jednorodzinne to strefy funkcjonalne. Po lewej stronie sytuuje się strefa dzienna: kuchnia, spiżarnia, toaleta, salon z jadalnią oraz taras. Natomiast druga strona, to strefa nocna, w której znajdują się trzy pokoje sypialne oraz łazienka. Budynek znajduje się w miejscowości Rzeszów, dla którego przyjęto założenia dla III strefy klimatycznej.

Projektowe obciążenie cieplne budynku wynosi 7460,05 W, natomiast zapotrzebowanie na energię (wg certyfikatu energetycznego) pierwotną – 9548 kWh/rok, oraz końcową 10767 kWh/rok. Obliczenia wykonano dla węgla o kaloryczności 29 MJ/kg oraz peletu o kaloryczności 17,5 MJ/kg.

Ciepło uzyskane z 1 kg paliwa w ciągu 1 h:

$$Q_u = \frac{W_u}{3600} \quad (1)$$

gdzie: Q_u – ciepło uzyskane z 1 kg paliwa w ciągu 1h [kWh],
 W_u – wartość opałowa paliwa [kJ/kg].

Sprawność instalacji C.O.:

$$\eta_{C.O.} = \eta_w \cdot \eta_p \cdot \eta_r \cdot \eta_{We} \quad (2)$$

gdzie: $\eta_{C.O.}$ – sprawność instalacji C.O. [%],
 η_w – sprawność kotła [%],
 η_p – sprawność instalacji [%],
 η_r – sprawność regulacji [%],
 η_{We} – sprawność wykorzystania ciepła [%].

Ciepło przeniesione z pomieszczeń z 1 kg paliwa:

$$Q_p = Q_u \cdot \eta_{C.O.} \quad (3)$$

gdzie: Q_p – ciepło przeniesione z pomieszczeń z 1 kg paliwa [kWh].

Średnie zużycie paliwa:

$$Z_{pśr} = \frac{E}{Q_u \cdot \eta_{C.O.}} \quad (4)$$

gdzie: $Z_{pśr}$ – średnie zużycie paliwa [kg],
 E – zapotrzebowanie na energię [kWh/rok].

Tabela 2. Obliczenie zużycia paliwa

Table 2. Calculation of fuel consumption

Rodzaj paliwa	Węgiel	Pelet	Jednostka
Wartość opałowa	29 000	17 500	kJ/kg
Ciepło uzyskane z 1 kg w ciągu 1 h	8,06	4,84	kWh
Sprawność instalacji C.O.	73	80	%
• kocioł	85	93	%
• instalacja, • regulacja, • wykorzystanie ciepła W każdym przypadku przyjęto 95 %	86	86	%
Ciepło przeniesione z pomieszczeń z 1 kg paliwa	5,88	3,87	kWh
Zapotrzebowanie na energię			
• pierwotną	9 548		kWh/rok
• końcową	10 767		kWh/rok
Średnie zużycie paliwa			
• dla energii pierwotnej i sprawności C.O.	1 623	2 466	kg
• dla energii końcowej i sprawności kotła	1 572	2 393	kg
Całkowite zapotrzebowanie na ciepło	7460,05		W
Zużycie paliwa przy -20 °C (uwzględniając sprawność instalacji C.O.)	1,27 ~31	1,92 ~46	kg/h kg/d

Zużycie paliwa przy temperaturze -20 °C:

$$Z_p = \frac{\phi \cdot 3600}{W_u \cdot \eta_{c.o.}} \quad (5)$$

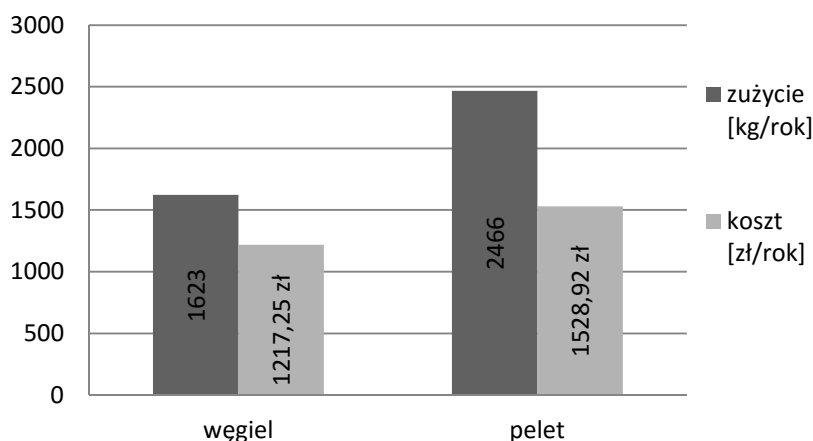
gdzie: Z_p – zużycie paliwa przy temperaturze -20°C [kg/h],
 ϕ - projektowe obciążenie cieplne budynku [W].

Z obliczeń wynika (tab. 3), że zużycie węgla w tym wypadku powinno wynosić 1623 kg rocznie, a zużycie peletu 2466 kg rocznie. Średnia cena węgla (29 MJ/kg) w Rzeszowie wraz z dowozem to 750 zł/t, a peletu (17,5 MJ/kg) 620 zł/t.

Tabela 3. Obliczenie rocznych kosztów ogrzewania

Table 3. Calculation of annual heating costs

Rodzaj paliwa	Węgiel	Pelet
Wartość opałowa	29 000 kJ/kg	17 500 kJ/kg
Średnie zużycie	1 623 kg	2 466 kg
Cena za tonę paliwa	750 zł	620 zł
Roczny koszt ogrzewania	1 217,25 zł	1 528,92 zł



Rys. 3. Roczne zużycie oraz koszt węgla i peletu

Fig. 3. Annual consumption and the cost of coal and pellets

Na podstawie obliczeń stwierdzono, że ogrzewanie węglem domu jednorodzinnego o powierzchni użytkowej 130 m², jest tańsze o ponad 300 zł od ogrzewania peletem (rys. 3) przy założonych właściwościach kalorycznych i cenowych paliw. Jeżeli zakupimy węgiel o mniejszej kaloryczności- tańszy, różnica ta będzie mniejsza. Jednak za tę cenę zanieczyszczamy środowisko i przyczyniamy się do powstawania smogu. Dlatego warto się zastanowić czy 25% kosztów więcej, to tak dużo, w porównaniu do czystszej powietrza.

5. Podsumowanie

Wykorzystanie energii znajdującej się w odpadach, roślinach czy drzewach jest niesamowitą alternatywą do ogrzania domu. Jednak duża część społeczeństwa, nie dostrzegła jeszcze korzyści z opalania biomasą. Większość z nas ogrzewa dom węglem, co według obliczeń jest średnio tańsze o 25 % w porównaniu do peletu. Jednak spalanie węgla w piecach przydomowych to zagrożenie dla zdrowia człowieka. Piece te należą do tzw. źródeł niskiej emisji, ponieważ odprowadzające je kominy, które znajdują się na ok. 10 metrów nad ziemią w domach wolnostojących i ok. 20 metrów nad ziemią w kamienicach. Emitują bezpośrednio do atmosfery ok. 38% cząstek stałych. Jak podają źródła ponad 33% Polaków ekspozowanych jest na działanie średnich rocznych stężeń pyłu zawieszonego PM10 wynoszących 40 µg/ m³ lub więcej, a 97% ludności Polski narażona jest na stężenia pyłu powyżej poziomu rekomendowanego przez WHO (20 µg/m³)[1]. Wdychanie zanieczyszczonego powietrza zwiększa zapadalność na różnego rodzaju choroby układu oddechowego, sercowo-naczyniowego. Dlatego warto się zastanowić nad zmianą paliwa z węgla na pelet.

Literatura

- [1] Adamkiewicz Ł.: Spalanie węgla w domowych piecach zagrożenia zdrowotne. Broszura Health and Environment Alliance (HEAL), Heal., czerwiec 2014.
- [2] Budny J.: Energetyczna i ekologiczna ocena biomasy drzewnej na tle paliw konwencjonalnych. Praktyczne aspekty wykorzystania odnawialnych źródeł energy, Białystok 2005, s. 46-51.
- [3] Dyrektywa 2001/77/WE z 27 września 2001 roku, w sprawie promocji produkcji energii elektrycznej w odnawialnych źródłach energii.
- [4] Gołos P., Kaliszewski A.: Wybrane aspekty wykorzystania biomasy drzewnej do celów energetycznych. *Leśne Prace Badawcze*, Vol. 76 (1), 2015, s. 78-87.
- [5] Grzybek A.: Potencjał biomasy możliwej do wykorzystania na produkcję pelet. „Czysta Energia” 6/2004.
- [6] Juliszewski T., *Ogrzewanie biomasa*, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Poznań 2009.
- [7] Lorenz U.: Skutki spalania węgla kamiennego dla środowiska przyrodniczego i możliwości ich ograniczania. *Mat. Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Sympozja i Konferencje nr 64*, Wyd. Instytut GSMiE PAN, Kraków, s.97-112.
- [8] Proszak-Miąsik, Boryło M.: Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w małych gospodarstwach rolnych. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej (JCEEA)*, t. XXXI, z. 61 (4/14), s.155-166.
- [9] Proszak-Miąsik D., Nowak K., Rabczak S.: Wpływ współspalania biomasy z węglem na sprawność kotłów energetycznych. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej (JCEEA)*, t. XXXI, z. 61 (4/14), s. 144-154.
- [10] Proszak-Miąsik D., Nowak K., Rabczak S.: Logistyka produkcji i dystrybucji roślin słomiastych, *Logistyka* 3/2015, s.1-6.

EFFECT PELLETS OR CARBON? ECONOMIC ASPECTS OF THE CHOICE OF FUEL TO HEAT THE SINGLE-FAMILY BUILDING

Summary

In Poland, more and more users decide to support or total replacement of traditional fuels with alternative ones. The fuels that do not have harmful impact to the environment and are cheaper compared to traditional ones were selected for calculation. It's all about renewable energy such as: sun, water, wind and processed solar energy absorbed by plants or biomass. This is not only related to the requirements for greenhouse gas and dust, which have restrictions, but also economic aspects. One can notice that the processed biomass pellets, chips or briquettes, obtained a lot of energy. This fuel is renewable, meaning that the carbon dioxide which is formed from the combustion process, is absorbed by plants in a given cycle, whereby a zero balance. But still a large group of people burn coal exclusively. Modern, automatic coal stoves can reach the combustion efficiency of 80-90%, which makes for relatively low prices of coal in relation to other fuels cost in heating systems. To achieve high efficiency of heat generation is possible only with high coal quality. Disadvantage of coal combustion is smoke which affects the air as a pollutant, and as well as dust emissions, particularly sulfur dioxide, ash and slag. In this publication, the annual consumption of two fuels, wood pellets and coal were compared to heat a single family house with

a usable area of 150 m². The analysis of selected circumstances results some proposals on the profitability of the coal stove replacement on pellet one in case of financial and ecological effect.

Keywords: renewable fuel, fossil fuel, home heating costs, biomass

Przesłano do redakcji: 12.12.2015 r.

Przyjęto do druku: 1.03.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.128

Barbara PRUS¹
Tomasz SALATA²
Krzysztof GAWROŃSKI³

ZASTOSOWANIE METOD GIS DO OCENY STOPNIA PRESJI INWESTYCYJNEJ W ZAKRESIE DZIAŁALNOŚCI DEWELOPERSKIEJ NA PRZYKŁADZIE STREFY PODMIEJSKIEJ KRAKOWA

Artykuł prezentuje możliwości zastosowania metod geomatycznych w kompleksowej ocenie zjawiska presji inwestycyjnej na obszarach strefy podmiejskiej Krakowa. Strefa podmiejska jest to teren chętnie wybierany przez deweloperów oferujących mieszkania ludności pracującej w Krakowie. Tereny wybierane przez deweloperów podlegają w szczególnie widoczny sposób szybkiemu procesowi suburbanizacji. Obszary użytkowane rolniczo zmieniają swój charakter na miejski. W zabudowę rolniczą wpisują się osiedla deweloperskie, które są powodem dysharmonii w krajobrazie wiejskim prowadząc nierzadko do konfliktów przestrzennych. Poruszone zagadnienie wpisuje się w zakres identyfikowania obszarów problemowych w oparciu o dokumenty planistyczne tworzone w procesie planowania miejscowego. Obszar problemowy jest rozumiany jako „obszar szczególnego zjawiska z zakresu gospodarki przestrzennej lub występowania konfliktów przestrzennych” [Ustawa 2003]. Analizy bazują na wybranych współczynnikach służącymi do badania stanu zagospodarowania przestrzennego, w tym miarach koncentracji zbioru punktów na płaszczyźnie. W tym celu zastosowano podstawowe techniki geoprocessingu. Analizy opracowano w programie QGIS.

Słowa kluczowe: przestrzeń planistyczna, obszary podmiejskie, monokultura funkcjonalna, intensywność zabudowy, współczynnik koncentracji zabudowy

¹ Autor do korespondencji/corresponding autor: Barbara Prus, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Katedra Gospodarki Przestrzennej i Architektury Krajobrazu, ul. Balicka 253c, 30-149 Kraków, b.prus@ur.krakow.pl

² Tomasz Salata, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, ul. Balicka 253c, tel. 14 662 40 17, tomasz.salata@ur.krakow.pl

³ Krzysztof Gawroński, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, ul. Balicka 253c, 14 662 40 17, krzysztof.gawronski@ur.krakow.pl

1. Wstęp

Planowanie miejscowe realizowane na poziomie gminy warunkuje rozwój jednostek osadniczych zgodny z zasadą zrównoważonego rozwoju definiowanego jako racjonalne wykorzystanie przestrzeni i środowiska jako dóbr ograniczonych [Domański 2013]. Ograniczoność przestrzeni jest powodem, że grunty, szczególnie te zlokalizowane w bliskim sąsiedztwie prężnie rozwijających się ośrodków miejskich podlegają silnej presji i konkurencji [Domański 2013]. W związku z ograniczonością przestrzeni już od kilkunastu lat głoszone są postulaty oszczędnego nią gospodarowania [Szulczewska 2000, Matysiak 2004, Poniży 2009]. Przestrzeń bywa bowiem także rozpatrywana w kategoriach ekonomicznych, jako dobro posiadające określoną wartość, generujące przychód i dochód oraz wymagające ponoszenia kosztów, w tym np. z tytułu ochrony środowiska [Wańkowicz 2010]. Działalność człowieka wymaga uwzględnienia zapotrzebowania na przestrzeń indywidualną, ale także kulturową, publiczną i społeczną. Obszary spełniają funkcję miejsca zamieszkania i odpoczynku, a także miejsca pracy.

Zadaniem planowania przestrzennego, w tym w głównej mierze planowania miejscowego, jest przeznaczanie terenów na określone cele wraz z wyznaczeniem parametrów zagospodarowania i zabudowy [Ustawa 2003], określanych w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego [Kwaśniak 2009], a w przypadku jego braku w studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego [Ustawa 2003]. W planach miejscowych określa się m.in. kierunki rozwoju gminy, w tym dopuszczalny zakres zmian w strukturze przestrzennej gminy i w przeznaczeniu terenów, a także ograniczenia dotyczące tych zmian. Z dokumentów planistycznych wynikają minimalne i maksymalne parametry oraz wskaźniki urbanistyczne do zagospodarowania i użytkowania terenu z uwzględnieniem rozwoju zrównoważonego oraz ładu przestrzennego.

Ostatnie dziesięciolecie przyniosły m.in. zmianę sposobu użytkowania ziemi na obszarach wiejskich, ale także przeobrażenia gospodarcze, społeczne, kulturowe i architektoniczne [Sokołowski 1999]. W sposób niekontrolowany i chaotyczny powiększa się obszar stref podmiejskich [Poniży 2009, Springer 2013]. Zjawisko ekspansji infrastruktury miejskiej na obszary wiejskie w Polsce obserwowano już na początku lat osiemdziesiątych, definiując je jako transurbacja [Bartkowski 1981]. W kolejnym dziesięcioleciu jako transurbacja demograficzno-deglomeracyjna zdefiniowano zjawisko „ucieczki” mieszkańców miast na tereny podmiejskie. Najczęściej jednak w literaturze przedmiotu proces zachodzący na obszarach miast i w bliskim ich sąsiedztwie jest nazywany suburbanizacją, natomiast w języku angielskim jest określany jako urban sprawl, co można przetłumaczyć jako rozlewanie się miast [Parysek 2008]. Ze zjawiskiem suburbanizacji ściśle związana jest tzw. presja urbanizacyjna (inwestycyjna), zwana także ekspansją miast, polegająca na zajmowaniu coraz większych powierzchni rolnej przestrzeni produkcyjnej pod zabudowę mieszkaniową oraz

wielkopowierzchniową (hale, magazyny). Zmianie ulega struktura przestrzenna wsi, a przeobrażenia obejmują formy rolniczego użytkowania terenu wraz ze wszystkimi elementami towarzyszącymi [Sokołowski 1999, Głaz 2006]. Skutki rozlewania się miast na strefy podmiejskie są z ekonomicznego punktu widzenia niekorzystne, co zauważono już w latach sześćdziesiątych XX wieku w Europie Zachodniej. Także i w Polsce są to zjawiska niepożądane ze względu m.in. na nieracjonalne wykorzystanie terenu, zmniejszenie powierzchni wykorzystywanych rolniczo i tzw. terenów otwartych, zwiększenie kosztów budowy sieci infrastruktury technicznej, czy wzrost natężenia ruchu drogowego [Kamiński 1995, Springer 2013]. Jednocześnie rozwój przestrzeni podmiejskiej realizowany jest kosztem przyrodniczego i rolniczego otoczenia [Czochoński 2007]. Biorąc pod uwagę indywidualny interes mieszkańców, posiadanie domu na terenie podmiejskim umożliwia poprawę warunków mieszkaniowych, rekreację w przyjaznym środowisku, czy wyższy stopień prywatności [Parysek 2008].

Tabela 1. Skutki presji inwestycyjnej na tereny rolnicze

Table 1. The effects of investment pressure on agricultural land

Zagospodarowanie i środowisko	- niekontrolowane zmiany w zagospodarowaniu przestrzennym - negatywne zmiany w krajobrazie i środowisku - niska efektywność użytkowania przestrzennego (np. koszty infrastruktury)
Demografia	- deglomeracja miast - pogłębienie negatywnych zjawisk demograficznych - przekształcenie struktury przestrzeni (np. koszty infrastruktury)
Transport	- wzrost liczby przejazdów (obciążenie sieci i konieczność rozwoju infrastruktury transportowej) - spadek liczby mieszkańców w zasięgu obsługi wysokowydajnych systemów transportowych - przeniesienie potrzeb transportowych na prywatne środki transportu i systemy nieprzyjazne środowisku
Gospodarka	- zmniejszenie zaplecza żywicielskiego - zaburzenie struktury usług (niedobór infrastruktury społecznej)

Źródło: opracowano na podstawie [Kmieć, Kmieć 2014]

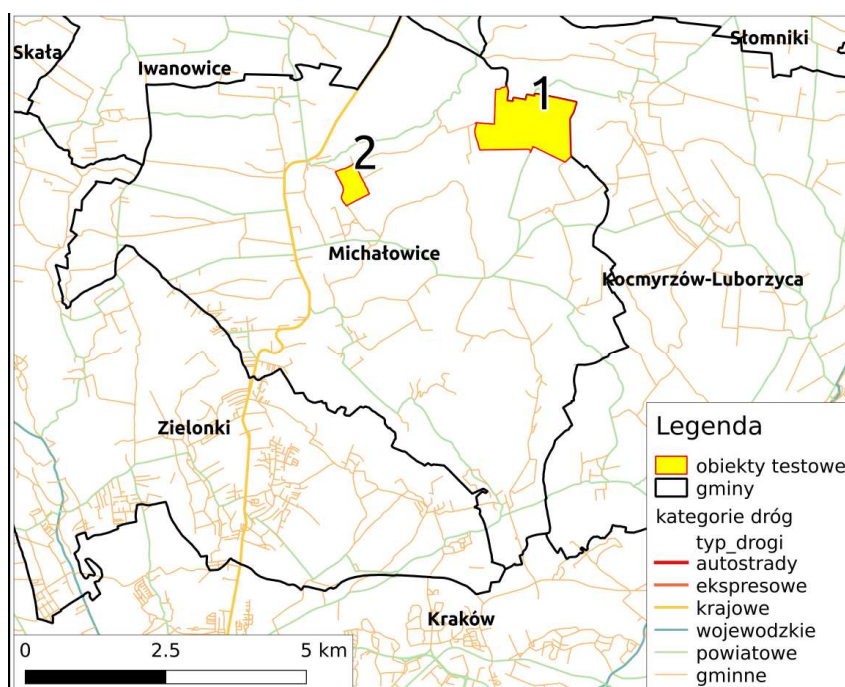
W Polsce sukcesywnie wzrasta powierzchnia gruntów wyłączanych z produkcji rolnej [Fogel 2010, Prus 2012]. Na terenach przylegających do dużych miast znaczny wpływ na odrolnienia posiada działalność deweloperska. Nowe osiedla mieszkaniowe powstające w bliskim sąsiedztwie miast nie zachowują tożsamości regionu, w który się wpisują, lecz prowadzą do intensywnej zabudowy przestrzeni. Z drugiej strony przedsięwzięcia dewelopera mają na celu skupienie na niewielkim obszarze dużej liczby budynków oraz infrastruktury technicznej co zapobiega niekorzystnemu zjawisku rozpraszania zabudowy.

Analizy stanu zagospodarowania przestrzeni opierają się na przetwarzaniu dużej liczby danych przestrzennych. Do badań przyjmuje się geograficzne sys-

temy informacji przestrzennej, posiadające szerokie spektrum zastosowań [Gottlieb i in. 2007, Szymańska 2009, Kuraś 2007, Leszczyńska 2010]. Analizy przestrzenne, polegające na przekształcaniu zbiorów danych, bazują na wielotematycznych zapytaniach, agregacji danych, sumowaniu i mnożeniu warstw. Umożliwiają dowolne przekształcenia zbiorów danych przestrzennych oraz ich wzajemną konfrontację. Celem artykułu jest prezentacja możliwości zastosowania metod geomatycznych do oceny stanu zagospodarowania przestrzennego oraz stopnia presji urbanistycznej (inwestycyjnej), na obszarze inwestycji deweloperskiej.

1.1. Obszar badań oraz metoda badawcza

Badania przeprowadzono na terenie gminy Michałowice, od strony północnej przylegającej do gminy miejskiej Kraków.



Rys. 1. Lokalizacja obszarów badań w odniesieniu do Krakowa

Fig. 1. Research areas in relation to Krakow

Jest to teren pagórkowato ukształtowany, co niejednokrotnie podnosi walory widokowe. Migracja mieszkańców Krakowa do gmin podkrakowskich jest zjawiskiem zauważalnym od kilkunastu lat. Jednak najbardziej widoczne zmiany dotyczą bezpośredniego sąsiedztwa Krakowa. Jako bazę badawczą niniejszego

opracowania przyjęto dwa modelowe obiekty, przyjmując przy ich doborze założenie o porównywalnej liczebności budynków w obu obiektach, stąd posiadają one różną powierzchnię, kształt, czy układ sieci komunikacyjnej. Oceny dokonano w oparciu o porównanie dwóch obiektów badawczych.

Obiekt 1 – obejmuje obszar 150,8750 ha; charakteryzuje się tradycyjnymi formami zabudowy w typie ulicówki, jest zlokalizowany w odległości ok. 10 km od Krakowa oraz ok. 5 km od drogi krajowej (ekspresowej). Obiekt 2 to teren o powierzchni jedynie 24,8864 ha, niemal w całości znajdujący się w posiadaniu developera, został zaplanowany jako zwarte osiedle mieszkaniowe. Tu zabudowa zarówno ta już zrealizowana (przedstawiona na rys.2. kolorem czarnym) oraz zabudowa będąca w trakcie realizacji lub na etapie planowanym (oznaczona na ryc.2. kolorem szarym) bardzo różni się od tradycyjnej wiejskiej zabudowy zagrodowej. Niemniej jednak sposób ułożenia i geometrii elementów składowych obiektu 2 w maksymalny sposób wykorzystuje powierzchnię, w odróżnieniu od zabudowy rozproszonej. Przedstawia to rysunek 2.



Rys.2. Obszary testowe

Fig.2. Case studies

Prace analityczne przygotowano tworząc bazę danych przestrzennych w formacie SQLite/Spatialite, używając do jej obsługi Wolne Oprogramowanie Spatialite_GUI oraz QGIS. Każda tabela posiada przypisane odwzorowanie na bazie systemu EPSG (skr. *European Petroleum Survey Group*) o kodzie EPSG:3120, co odpowiada PUWG "65" strefa 1. Tabele w bazie: budynki, działki i uzbrojenie.

Budowa tabel z danymi jest następująca:

- **budynki**, reprezentują kontur budynków, zastosowany został klusz główny unikatowy, reprezentowany przez wartości całkowite, autonumerowane; iden-

tyfikator budynku zgodnie z ustawą Prawo geodezyjne i Kartograficzne [Ustawa 1989], ‘nazwa’ i ‘funkcjaży’, czyli format asocjacyjny i dyskretny zapisu funkcji użytkowej budynku, status - informacja o istnieniu budynku, obiekt - informacja, do którego obiektu należy budynek (Obiekt 1 to tradycyjny układ zabudowy, Obiekt 2 to przestrzeń zagospodarowana przez developera). Ostatnim atrybutem jest powierzchnia obliczona z mapy (funkcje $\$area$, $Area(Geometry)$). Zapis SQL tabeli ‘budynki’ przedstawia się następująco:

```
CREATE TABLE "budynki" (
  "PK_UID" INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
  "BUDYNEK" TEXT,
  "NAZWA" TEXT,
  "FUNKCJAZY" INTEGER,
  "status" TEXT,
  "obiekt" INTEGER,
  "pow" INTEGER, "Geometry" POLYGON)
```

- **działki** to tabela reprezentująca granice działek zgrupowanych w nieruchomości (zaliczonych do osobnej jednostki rejestrowej w rozumieniu przepisów rozporządzenia w sprawie Ewidencji Gruntów i Budynków [Rozporządzenie 2013]. Podobnie jak w tabeli budynków założony został klucz główny oraz atrybuty: ‘działkaewi’ i ‘nazwa’ jako identyfikatory działki wg systemu TERYT2 [Ustawa 1989], ‘nr_obiektu’ - informacja, do którego obiektu testowego należy budynek, ‘typ_nieruch’ - klasyfikacja typu obiektu wg słownika na: nieruchomość gruntową i drogę. Ponadto powierzchnia działki obliczona z mapy w hektarach jako działanie funkcji $\$area$, $Area(Geometry)$. Poniżej zapis SQL:

```
CREATE TABLE "dzialki" (
  "PK_UID" INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
  "DZIALKAEWI" TEXT,
  "NAZWA" TEXT,
  "nr_obiektu" INTEGER,
  "typ_nieruch" TEXT,
  "pow" DOUBLE, "Geometry" POLYGON)
```

- tabela **uzbrojenia** terenu reprezentuje jedynie liniowe podziemne techniczne zagospodarowanie terenu. Z uwagi na charakter badań dane zostały ograniczone do linii wodnych i kanalizacyjnych (w zakresie merytorycznym gminy, podobnie jak wykonanie MPZP). Oprócz klucza głównego, niezbędne atrybuty to: typ przewodu, jego średnica wyrażana w milimetrach, przynależność przewodu do obiektu testowego oraz obliczona długość przewodu z mapy za pomocą funkcji $\$length$, $Length(Geometry)$. Zapis SQL tabeli ‘uzbrojenie’ przedstawia się następująco:

```
CREATE TABLE "uzbrojenie" (
  "PK_UID" INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
  "typ" TEXT,
```

```
"srednica" TEXT,  
"obiekt" INTEGER,  
"dlugosc" DOUBLE, "Geometry" LINestring)
```

Liczbę działek, sumę powierzchni i inne podstawowe parametry statystyczne dla nieruchomości uzyskano stosując zapytanie SQL o następującej składni, oraz z podziałem na typ nieruchomości: dla działek stanowiących nieruchomości do zabudowy lub zabudowane i działki drogowe.

```
SELECT nr_obiektu, count(*),  
avg(area(Geometry)) AS srednia,  
min(area(Geometry)) AS minimum,  
max(area(Geometry)) AS maksimum,  
sum(area(Geometry)) AS suma  
FROM dzialki  
GROUP BY nr_obiektu  
ORDER BY nr_obiektu
```

```
SELECT nr_obiektu,typ_nieruch, count(*),  
avg(area(Geometry)) AS srednia,  
min(area(Geometry)) AS minimum,  
max(area(Geometry)) AS maksimum,  
sum(area(Geometry)) AS suma  
FROM dzialki_single  
GROUP BY nr_obiektu, typ_nieruch  
ORDER BY nr_obiektu
```

Strukturę powierzchni zabudowy, liczebność budynków z podziałem na obiekty testowe otrzymano stosując zapytanie SQL odwołujące się do tabeli budynków:

```
SELECT obiekt,NAZWA as funkcja_uzytkowa, count(*),  
sum(area(Geometry)) AS suma_powierzchni  
FROM budynki  
GROUP BY obiekt, NAZWA  
ORDER BY obiekt ASC, NAZWA ASC
```

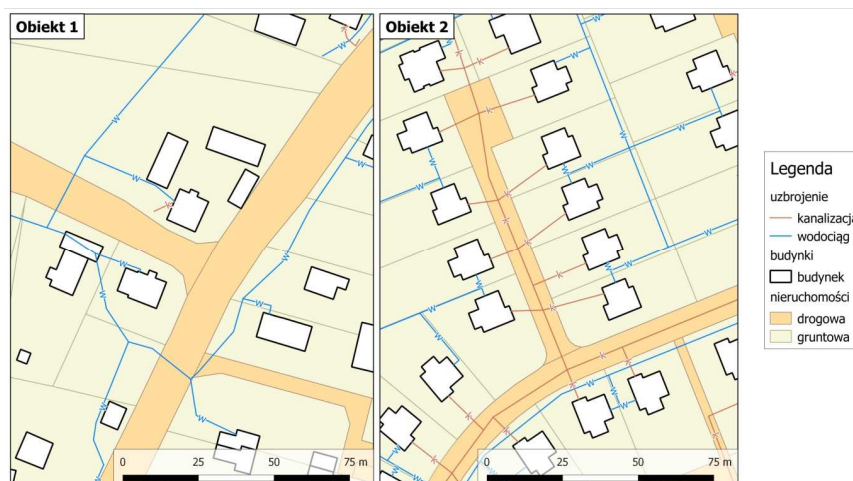
Długość sieci wodociągowej obliczono stosując podobne zapytanie SQL. Grupowanie zostało określone kaskadowo dla obiektu testowego i średnicy. Typ uzbrojenia nie był wykorzystywany z uwagi na fakt, że można było porównać jedynie sieć wodociągową ze względu na uzbrojenie 100% obiektów (budynków mieszkalnych) w obu polach testowych. System kanalizacyjny był rozwinięty jedynie w obiekcie 2. W obiekcie 1 występuje jedynie odprowadzenie ścieków do zbiorników przydomowych.

```
SELECT obiekt,typ, count(*),  
sum(length(Geometry)) AS suma_dlugosci  
FROM uzbrojenie  
GROUP BY obiekt, typ  
ORDER BY obiekt ASC, typ ASC
```


Badania zmian zagospodarowania przestrzennego wykonano korzystając z metody kartometrycznej analizy porównawczej. Do badań użyto następujące materiały źródłowe:

- mapę zasadniczą w formacie GML według stanu z kwietnia 2015 r.,
- mapę ewidencji gruntów i budynków w formacie SWDE, stan z kwietnia 2015 r.

Porównanie dotyczyło różnic pomiędzy sposobem zagospodarowania przestrzeni, co jest wynikiem działania presji inwestycyjnej. Wyrażać ona może się nie tylko w dążeniu do mieszkaniowego charakteru terenu lecz również w geometrycznym sposobie zainwestowania terenu. Model kompaktowy stosowany przez rozwiązania developerskie naprzeciw ulicowej, chaotycznej i przypadkowej zabudowy tradycyjnej. Różnice są widoczne na poniższej rycinie (Rys. 3).



Rys. 3. Sposób zagospodarowania przestrzeni w obiektach testowych

Fig. 3. Space development in case studies

Porównanie przestrzennego rozmieszczenia zabudowy w obiektach badawczych pozwala na stwierdzenie, iż obiekt 1 skupia zabudowę rolniczą (zagrodową). Na rys. 3. widocznym jest, że obiekt posiada chaotyczny układ działek oraz niepełne wyposażenie w infrastrukturę wodno-kanalizacyjną. Obiekt 2 posiada zabudowę zwartą, natomiast działki posiadają regularny kształt oraz pełne wyposażenie w przyłącza wodno-kanalizacyjne.

2. Wyniki badań

Na badanym obszarze można od kilkunastu lat zauważyć systematyczny wzrost powierzchni zabudowanych kosztem rolniczej przestrzeni produkcyjnej.

Sukcesywnie wzrasta powierzchnia przeznaczana w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego pod zabudowę mieszkaniową. Porównując ze sobą dwa analizowane obiekty badawcze można zauważyć, że pierwszy stanowi typowy przykład zabudowy tzw. ulicówki, tworzonej przez stulecia poprzez sukcesywną zabudowę przestrzeni wokół głównych dróg. Drugi to przykład zaprojektowanej jako integralna całość rzędówki, z wyznaczonymi trasami komunikacyjnymi oraz zwartą zabudową.

Tabela 2. Parametry obiektów badawczych pod kątem wielkości działek oraz rodzaju zabudowy

Table 2. Size plots and type of building parameters in case studies

<i>Obiekty</i>	<i>Średnia pow. działki [ha]</i>	<i>Liczba działek</i>	<i>Max pow. działki [ha]</i>	<i>Min pow. działki [ha]</i>	<i>Suma pow. [ha]</i>
<i>1</i>	<i>0,8155</i>	<i>185</i>	<i>4,4243</i>	<i>0,0039</i>	<i>150,8750</i>
<i>2</i>	<i>0,1179</i>	<i>211</i>	<i>0,9113</i>	<i>0,0025</i>	<i>24,8864</i>

Jeszcze przed 2000 rokiem na badanym terenie dominowała zabudowa o charakterze wiejskim, z zabudową zagrodową, podwórzem z budynkiem mieszkalnym oraz zabudowaniami gospodarczymi. Po 2000 roku zaczęto lokalizować wolnostojące domy jednorodzinne na działkach o kilkunasto lub kilku arowej powierzchni. Szczególnym przypadkiem zabudowy na analizowanym obszarze strefy podmiejskiej Krakowa są osiedla deweloperskie różniące się od „starej wsi” układem i wielkością działek, formami zabudowy, stanem infrastruktury technicznej, czy wreszcie parametrami urbanistycznymi. Inwestor grunt pod lokalizację osiedla mieszkaniowego pozyskał od mieszkańców wsi – rolników. Stąd w regularnym układzie zabudowy szeregowej pojawiają się przypadki dawnej zabudowy zagrodowej.

Na obszarach wiejskich Polski południowej po I wojnie światowej współczynnik gęstości zabudowy wynosił średnio 14-17 budynków na km². Odpowiednio współczynnik liczby budynków przypadającej na liczbę nieruchomości znajdował się w przedziale 1,00-1,03 [Angiel 2009]. Dokonując analizy parametrów obiektów badawczych (Tabela 2.) można stwierdzić, że dla obiektu 1 współczynnik gęstości zabudowy wynosi 152,44 budynki na km², natomiast na obiekcie 2 aż 807,670 km². Współczynnik liczby budynków przypadających na liczbę nieruchomości dla obiektu 1 wynosi 1,24, natomiast dla obiektu 2 – 0,95. Oznacza to, że na obiekcie 1 średnio każda działka jest zabudowana więcej niż jednym budynkiem, natomiast na obiekcie 2 pozostają działki niezabudowane (np. drogi). Obliczenia wykazały również różnice pomiędzy obiektami badawczymi zarówno w średniej powierzchni działki (która dla obiektu 1 jest ośmiokrotnie wyższa niż dla obiektu 2), jak również w powierzchni minimalnej oraz maksymalnej działek gruntowych. W kompleksie zabudowy developerskiej maksymalna powierzchnia działki wynosi niespełna 10 arów, zaś minimalna 25 m². W przypadku obiektu zlokalizowanego na „starej wsi” maksymalna po-

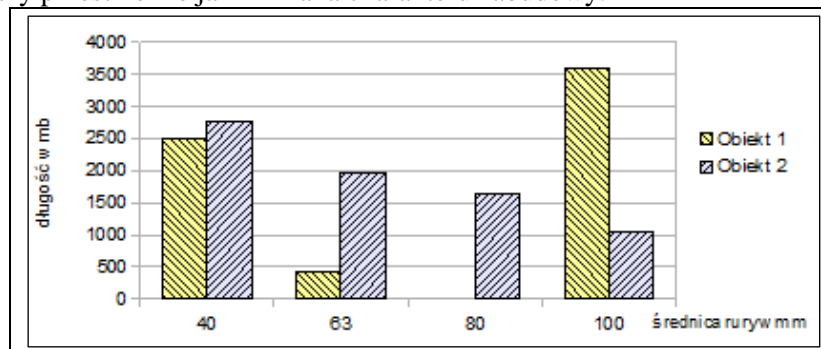
wierzchnia działki dochodzi do 4 ha 42 arów, natomiast minimalna liczy 39 m². Widoczne są zatem duże rozbieżności w geometrii działek.

Tabela 3. Liczebność i struktura budynków w obiektach testowych

Table 3. The number and structure of buildings in test facilities

Budynki	<i>funkcja budynku</i>	<i>liczba</i>	<i>suma powierzchni [m²]</i>	<i>udział funkcji w zbiorach testowych [%]</i>
<i>obiekt 1</i>	<i>gospodarczy</i>	<i>126</i>	<i>10394</i>	<i>54,8</i>
	<i>mieszkalny</i>	<i>87</i>	<i>9991</i>	<i>37,8</i>
	<i>nieokreślony</i>	<i>17</i>	<i>2391</i>	<i>7,4</i>
	suma	230	22776	100
<i>obiekt 2</i>	<i>gospodarczy</i>	<i>8</i>	<i>559</i>	<i>4,0</i>
	<i>handlowy</i>	<i>1</i>	<i>153</i>	<i>0,5</i>
	<i>mieszkalny</i>	<i>189</i>	<i>22820</i>	<i>94,0</i>
	<i>nieokreślony</i>	<i>3</i>	<i>146</i>	<i>1,5</i>
	suma	201	23678	100

Presja urbanizacyjna (inwestycyjna) na przedstawionych obiektach przejawiała się zasadniczo we wzroście powierzchni zabudowanej. Bardziej intensywna zmiana użytkowania terenu następuje na obiekcie nr 2 - stanowiącym zwarte, zaplanowane osiedle mieszkaniowe, co wyraża się m.in. wyższym współczynnikiem intensywności zabudowy, w tym wyższą liczbą budynków przypadających na jednostkę powierzchni. Na analizowanym obszarze widoczne są zarówno zmiany przestrzenne jak i zmiana charakteru zabudowy.



Rys. 4. Struktura długości sieci wodnej według średnic rur

Fig. 4. The length of the water supply network and its dimensions

W pierwszym analizowanym obiekcie niespełna 38% zabudowy stanowiły budynki o funkcji mieszkaniowej, w obiekcie drugim jednorodzinna zabudowa mieszkaniowa stanowi 94% wszystkich budynków. Co więcej niespełna 54% budynków w obiekcie 1 posiada funkcję „budynek gospodarczy”.

Podobnie z udziałem długości sieci wodociągowej. W układzie zabudowy tradycyjnej widać wyraźnie bezładną trasę linii wodociągowych, główne odcinki są prowadzone rurami o znacznej średnicy, z której wprost jest wyprowadzane przyłącze domowe. To duża dysproporcja w systemie sieci rozdzielczej. W obiekcie 2 można zaobserwować lepiej zaprojektowany układ sieci rozdzielczej oraz stopniową redukcję średnic orurowania - przedstawia to rys. 4. Dla obiektu nr 1 powierzchnia wszystkich dróg to 3,0704 ha, co stanowi 2,0 % powierzchni ogółem. W obiekcie nr 2 powierzchnia dróg to 3,6621 ha i odpowiada 14,7 %. W układzie komunikacyjnym obiektu 2 można zaobserwować przekomunikowanie, które dotyczy 33 nieruchomości. Posiadają one dostęp do drogi z dwóch stron - stanowi to 16,5% wszystkich nieruchomości. W obiekcie 1 przekomunikowanie dotyczy 8 nieruchomości i jest to 4,3%. Przyczyn należy szukać w topografii terenu. Różnice w rozliczeniu długości i powierzchni dróg w obiektach testowych przedstawia tabela 4.

Tabela 4. Wartości długości i powierzchni dróg w obiektach testowych

Table 4. Length and surface of roads in case studies

<i>obiekt</i>	<i>liczba odcinków dróg</i>	<i>pow dróg /ha/</i>	<i>ha // km dróg/działkę</i>	<i>ha // km dróg / budynek</i>
<i>1</i>	<i>10</i>	<i>3,0704</i>	<i>0,0156 // 0,0184</i>	<i>0,0353 // 0,0392</i>
<i>2</i>	<i>18</i>	<i>3,6621</i>	<i>0,0173 // 0,0193</i>	<i>0,0194 // 0,0215</i>

Wyraźną dysproporcję można dostrzec badając wskaźnik długości drogi przypadającej na nieruchomość (w tym przypadku liczba nieruchomości w obiektach testowych odpowiada liczbie budynków mieszkalnych), gdzie wartość współczynnika dla obiektu 2 (215 mb drogi) wynosi 54,8% wartości obiektu 1 (392 mb drogi).

3. Podsumowanie i wnioski

Modelowanie danych przestrzennych pozwala na przetwarzanie informacji przestrzennej o charakterze wielokryterialnym, a analizy umożliwiają badanie relacji przestrzennych przy wykorzystaniu wektorowego sposobu zapisu. Zastosowanie metod geomatycznych usprawnia proces przetwarzania danych i umożliwia otrzymanie wyników badań na dowolnym obszarze.

Przeprowadzone analizy wykazały, że presja inwestycyjna jest powodem zmian funkcji badanych terenów podmiejskich z rolniczej na mieszkaniową. Skutkiem zmian jest powstawanie zabudowy odbiegającej od kulturowej tożsamości regionu. Na badanym obszarze zauważono zmiany suburbanizacyjne, w tym powstawanie terenów mieszkaniowych w obrębie dawnych użytków rolnych, stanowiących zaplecze rolnicze Krakowa.

Sieć uzbrojenia terenu jest realizowana kompleksowo tylko w przypadku zabudowy developerskiej. W tradycyjnym systemie zabudowy trasy sieci są prowadzone w dowolny sposób lub nie są realizowane.

Osiedle mieszkaniowe zrealizowane przez dewelopera nie posiada powiązania z istniejącą siecią osadniczą, nie posiada także przestrzeni publicznej (integrującej). Można zatem zauważyć, że funkcja tej strefy podmiejskiej została ograniczona jedynie do roli „sypialni miasta”. Biorąc pod uwagę fakt, że napływowi mieszkańcy terenów podmiejskich będą związani z miastem, obszary podmiejskie będą stanowiły monokulturę funkcjonalną [Dylewski 2006].

Tereny zabudowy developerskiej charakteryzuje jednolitość form działek gruntowych oraz stylu architektonicznego powstającej zabudowy. Taka jednolitość formy i kształtu jest nie możliwa do zrealizowania w przypadku różnych, indywidualnych inwestorów.

Literatura

- [1] Angiel M.: Wieś tradycyjna w krajobrazie Pogórzy Karpackich. [w:] Polskie krajobrazy wiejskie dawne i współczesne. Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego nr 12. Komisja Krajobrazu Kulturowego PTG, Sosnowiec 2009.
- [2] Bartkowski T.: Transurbacje miast Wielkopolski i niektóre zagadnienia przestrzenno-planistyczne ich rozwoju oraz zastosowanie do nich niektórych metod fizjografii urbanistycznej. Wydawnictwo Naukowe UAM, Seria Geografia 22, Poznań 1981.
- [3] Czochański J.: Dezintegracja przestrzenna w rozwoju obszaru metropolii trójmiejskiej. [w:] M. Kistowski, B. Korwel-Lejkowska (red.), Waloryzacja środowiska przyrodniczego w planowaniu przestrzennym. Problemy Ekologii Krajobrazu XIX, Warszawa-Gdańsk 2007, s. 195–208.
- [4] Domański R.: Gospodarka przestrzenna. Podstawy teoretyczne. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.
- [5] Dylewski R.: Problemy rozprzestrzeniania się miast w świetle doświadczeń krajów UE i USA. [w:] S. Kozłowski (red.), Żywiolowe rozprzestrzenianie się miast. Narastający problem aglomeracji miejskich w Polsce. KUL, PAN Komitet Człowiek i Środowisko, Białystok–Lublin–Warszawa 2006, s. 27–38.
- [6] Fogel P.: Obszary problemowe rolnictwa w świetle planowania miejscowego. Studia i Raporty IUNG PIB 2010, Zeszyt 19, s.19-26.
- [7] Głaz M.: Przekształcenia agrarne strefy podmiejskiej jako efekt oddziaływania miasta Wrocławia. [w:] J. Słodczyk, R. Klimek (red.), Przemiany przestrzeni miast i stref podmiejskich. Uniwersytet Opolski, Opole 2006, s. 153–166.
- [8] Gotlib D., Iwaniak A., Olszewski R.: GIS. Obszary zastosowań. Wyd. PWN, Warszawa 2007.
- [9] Kamiński Z.: Degradacja wartości kulturowych wsi na obrzeżach miejsko-wiejskich. [w:] Z. Kamiński (red.), Urbanizacja wsi w obrzeżach miejsko-wiejskich. Materiały konferencyjne, Katowice 1995, s. 29–40.
- [10] Kmieć A., Kmieć T.: Kierunki zmian presji inwestycyjnej na tereny rolnicze województwa śląskiego. 2014.

- [11] Kuraś B.: Wykorzystanie GIS jako kompleksowego narzędzia waloryzacji środowiska przyrodniczego pod kątem planowania przestrzennego i zagospodarowania terenu. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, AP, Kraków 2007, Vol. 17b, s.425-435.
- [12] Kwaśniak P.: Plan miejscowy w systemie zagospodarowania przestrzennego. Wyd. LexisNexis, Warszawa 2009.
- [13] Leszczyńska M.: System wspomaganie decyzji optymalizujących rozwój marginalnych obszarów wiejskich. *Acta Sci. Pol., Geodesia et Descriptio Terrarum* 9(4) 2010, s. 37-48.
- [14] Matysiak J.: Człowiek a ład przestrzeni. W: T.J. Chmielewski (red.), *Nowa jakość krajobrazu. Ekologia–Kultura–Technika*, Komitet PAN Człowiek i Środowisko, Zeszyty Naukowe 36. Warszawa–Lublin 2004, s. 59–69.
- [15] Parysek J.: Procesy suburbanizacyjne w aglomeracji poznańskiej. W: T. Kaczmarek, A. Mizgajski (red.), *Powiat poznański – jakość przestrzeni i jakość życia*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań 2008, s. 71–90.
- [16] Poniży L.: Presja urbanizacyjna i jej wpływ na zmiany przestrzennej struktury użytkowania ziemi na wybranych obszarach podmiejskich Poznania. *Problemy Ekologii Krajobrazu*, 2008, T. XXII. 335–342.
- [17] Prus B.: Kierunki zmian przeznaczenia gruntów rolnych i leśnych w Polsce. *Acta Scientiarum Polonorum. Geod. Descr. Terr.* 11(2), 2012, s. 27-40.
- [18] Sokołowski D.: Zróżnicowanie zbioru małych miast i większych osiedli wiejskich w Polsce w ujęciu koncepcji kontinuum wiejsko-miejskiego. Wyd. UMK, Toruń 1999, s. 31.
- [19] Springer F.: *Wanna z kolumnadą*. Wyd. Czarna. Warszawa 2013.
- [20] Szulczewska B.: Koncepcja rozwoju zrównoważonego jako podstawa strategii regionalnej – uwagi metodyczne. [w]: B. Szulczewska (red.), *Przyrodnicze aspekty zrównoważonego rozwoju*. Człowiek i Środowisko 24/2, IGPiK, Warszawa 2000, s. 137–153.
- [21] Szymańska D.: *Geografia osadnictwa*. Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2009.
- [22] Ustawa o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym z dnia 27 marca 2003 r. [Dz.U. 2003 nr 80 poz. 717].
- [23] Ustawa Prawo Geodezyjne i Kartograficzne z dnia 17 maja 1989 r. [Dz.U. 1989 nr 30 poz. 163].
- [24] Rozporządzenie Ministra Administracji i Cyfryzacji z dnia 29 listopada 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie ewidencji gruntów i budynków [Dz.U. 2013 poz. 1551].
- [25] Wańkiewicz W.: Planowanie przestrzeni o wysokich walorach krajobrazowych, problemy ekonomiczne. *Krajobraz a turystyka. Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego* Nr 14. Sosnowiec 2010. s. 352-359.

USING OF GEOMATICS METHODS FOR EVALUATING OF INVEST PRESSURE DEGREE FOR KRAKOW SUBURBAN ZONES

Summary

This article presents the possibility of applying the geomatic methods to comprehensive assessment of the investment pressure phenomena in the Krakow suburban area. The suburban zone is the area of choice for developers offering homes for people working in Krakow. Areas chosen by the developers are subject to a particularly rapid suburbanization process. The areas used for agricultural change their character to the housing zones. The agricultural buildings are part of the estate developers, which are the cause of disharmony in rural landscapes often leading to spatial conflicts. Raised the issue is in the scope of identifying of problem areas based on planning documents created in the local planning process. The problem area is understood as an "area of particular phenomena of spatial or spatial conflicts" [Act 2003]. The study was made selected coefficients are used to measure the zoning state, including measures of concentration set points in the plane. For this purpose, the basic geoprocessing techniques were used. The analysis was developed in the QGIS and spatial databases.

Keywords: space planning, peri-urban, functional monoculture, development density, coefficient of concentration of buildings

Przesłano do redakcji: 10.03.2016 r.

Przyjęto do druku: 1.06.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.129

Janusz RAK¹

ZASADY OKREŚLANIA PRZYNALEŻNOŚCI DO INFRASTRUKTURY KRYTYCZNEJ

Bezpieczeństwo i ochrona systemu są ściśle związane z różnego rodzaju zagrożeniami, które w sposób dynamiczny ewoluują. To z kolei powoduje konieczność antycypacji i kreowania nowych metod przeciwdziałania tego rodzaju zagrożeniom. W pracy poddano analizie metodologię określania przynależności do infrastruktury krytycznej. Wykaz sektorów określa ustawa o zarządzaniu kryzysowym. Krótko omówiono dwie awarie infrastruktury krytycznej. Podano kryteria kwalifikacji do infrastruktury krytycznej. Zaproponowano nowe sposoby finansowania ryzyka katastroficznego. Odniesiono się do elementów ochrony infrastruktury krytycznej. Na przykładzie systemu zbiorowego zaopatrzenia w wodę szczegółowo przedstawiono kryteria identyfikacyjne. Podsumowaniem rozważań naukowych jest określenie strategii zrównoważonego systemu wodociągowego.

Słowa kluczowe: infrastruktura krytyczna, system wodociągowy, zagrożenia, ochrona

1. Wstęp

Panuje pogląd, że etymologia słowa infrastruktura wywodzi się z łacińskiego terminu „infra structura”, co oznacza „podstawę określonego układu lub konstrukcji” [3]. Infrastruktura charakteryzuje: niezbędność – coś, bez czego nie można się obejść, coś nieodzownego, niezbędnego; podstawa – coś na czym to stoi, wspiera się, fundament czegoś. Paradoksalnie można stwierdzić, że istotą ochrony infrastruktury jest ona sama, a nie zachodzące dzięki niej procesy. Wykaz sektorów infrastruktury krytycznej przedstawia się następująco: energetyka (energia elektryczna, ropa i gaz ziemny), technologie informacyjno – komunikacyjne, zaopatrzenia w żywność i wodę, służba zdrowia, finanse, transport i przemysł chemiczny [9].

W odniesieniu do zbiorowego zaopatrzenia w wodę przez wodociąg infrastruktura krytyczna to systemy, oraz wchodzące w ich skład powiązane ze sobą funkcjonalnie obiekty budowlane, urządzenia, sieci instalacyjne kluczowe dla

¹ Janusz R. Rak, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17/865-14-49, rakjan@prz.edu.pl

bezpieczeństwa zaopatrzenia w wodę aglomeracji miejskiej i jej mieszkańców [7].

Wg Ustawy o zarządzaniu kryzysowym z 26 kwietnia 2007 roku infrastruktura krytyczna obejmuje następujące systemy: zaopatrzenia w energię i paliwa, łączności i sieci teleinformatyczne, finansowe, zaopatrzenie w żywność i wodę, ochrony zdrowia, transportowe i komunikacyjne, ratownicze, zapewnienia ciągłości działania administracji publicznej oraz produkcji, składowania i przechowywania oraz stosowania substancji chemicznych i promieniotwórczych, w tym rurociągi [9].

W Unii Europejskiej obowiązuje Dyrektywa Rady z 2008 roku, która definiuje infrastrukturę krytyczną jako „składnik, system lub część infrastruktury zlokalizowanej na terytorium państw członkowskich, które mają podstawowe znaczenie dla utrzymania niezbędnych funkcji społecznych, zdrowia, bezpieczeństwa, ochrony dobrobytu materialnego lub społecznego ludności oraz których zakłócenie lub zniszczenie miałyby istotny wpływ na dane państwo członkowskie w wyniku utracenia tych funkcji” [2].

2. Sposoby finansowania ryzyka katastroficznego

Istnieją dwa podstawowe sposoby finansowania ryzyka związanego ze zdarzeniami niepożądanymi [10].

Prospektywne finansowanie ryzyka zachodzi wówczas, gdy przed wystąpieniem negatywnych skutków ryzyka przedsiębiorstwo przygotowuje środki na ich sfinansowanie. Stosuje się mechanizm gromadzenia rezerw.

Retrospektywne finansowanie ryzyka występuje wówczas, gdy środki finansowe przeznaczone na pokrycie niekorzystnych skutków ryzyka przedsiębiorstwo pozyskuje dopiero wtedy, kiedy ryzyko się zmaterializuje. Środki mogą przykładowo pochodzić z wcześniej określonego źródła (np. odszkodowanie od ubezpieczyciela). Tradycyjne instrumenty finansowania ryzyka dzieli się na:

- instrumenty retencji ryzyka, które wymagają tworzenia rezerw finansowych na pokrycie negatywnych skutków ryzyka;
- instrumenty transferu ryzyka, które polegają na finansowaniu niepożądanych skutków przez podmiot trzeci.

Współczesne metody zarządzania ryzykiem w przedsiębiorstwach wykonywały instrumenty alternatywnego finansowania ryzyka, które wywodzą się z rynku reasekuracji. Instrumenty alternatywne opierają się na równoczesnym stosowaniu retencji i transferu ryzyka. Efektywność finansowania niepożądanych skutków ryzyka zakłada, że transfer ryzyka uruchamia się po wykorzystaniu rezerw utworzonych w ramach retencji ryzyka [10].

3. Spektakularne awarie infrastruktury krytycznej

W sierpniu 2003 roku na pograniczu USA i Kanady na skutek przeciążeń w systemie elektroenergetycznym nastąpiło wyłączenie około 100 elektrowni. Ponad 60 mln ludzi przez 20 godzin zostało pozbawionych dostawy energii elektrycznej. Blackout objął największe aglomeracje tego regionu: Nowy Jork, Toronto, Detroit czy Ottawę, powodując zawieszenia na lotniskach tych miast loty samolotów, stanął transport kolejowy, stanęło metro, wystąpiły ograniczenia w dostawie wody, a brak sygnalizacji świetlnej spowodował chaos w ruchu ulicznym. Z kolei w Polsce w nocy z 7 na 8 kwietnia w oddalonym o 100 kilometrów od Szczecina Krojniku pod wpływem ciężaru mokrego śniegu zawalił się słup energetyczny. Spowodowało to efekt domina w postaci zniszczenia kolejnych słupów. O godzinie 3³⁰ pogrążyła się w ciemności lewobrzeżna część Szczecina. Poranek został już kilkaset tysięcy ludzi bez prądu. Z nielicznych otwartych sklepów, które nie posiadały kas fiskalnych masowo wykupywano pieczywo i wodę mineralną. W dużej części mieszkań nie było wody i pojawiły się problemy z odprowadzaniem ścieków (Szczecin posiada liczną i rozbudowaną sieć przepompowni kanalizacyjnych), przestały działać też sieci telefonii komórkowej. W celach prewencyjnych na ulicach miasta pojawiły się wspólne patrole policji i żandarmerii wojskowej.

Jakkolwiek najbardziej spektakularne awarie infrastruktury krytycznej dotyczyły systemów zaopatrzenia w energię elektryczną, to jednak efekt domina obejmował także inne systemy zaliczane do tej grupy [7].

4. Elementy ochrony infrastruktury krytycznej

Cechą ochrony infrastruktury krytycznej powinno być zapewnienie jej ciągłości działania, szczególnie w stanach zagrożenia jej bezpieczeństwa. Jest wszechobecna oraz niezbędna, co uświadamiamy sobie dopiero, gdy zabraknie prądu, wody albo gdy nie można uzyskać dostępu w połączeniach np. telefonii komórkowej. Rodzaje ochrony [4]:

- ochrona fizyczna – ma za zadanie minimalizować ryzyko zakłócenia funkcjonowania infrastruktury przez osoby, które znalazły się na jej terenie w sposób nieuprawniony. Ma na celu zapewnienie bezpieczeństwa dla uprawnionych pracowników, ochronę mienia poprzez zapobieganie wykroczeniom lub przestępstwom;
- ochrona techniczna – ma za zadanie minimalizować ryzyka zakłócenia eksploatacji obiektów, urządzeń i instalacji. Działania techniczne mają zapewnić ciągłość funkcjonowania infrastruktury krytycznej w zgodności z obowiązującymi przepisami i normami;
- ochrona teleinformatyczna – ma za zadanie minimalizować ryzyko zakłócenia związanego z wykorzystaniem do użytkowania infrastruktury systemów i sieci

teleinformatycznych. Ochrona obejmuje również przedsięwzięcie przed cyberatakami, cyberprzestępcami, a także cyberterroryzmem. Procedury z nią związane obejmują także przeciwdziałania tego rodzaju zdarzeniom niepożądanym. Działania ochronne ze swej natury mają charakter prewencyjny i dotyczą zagrożeń, które można antycypować. Ochrona infrastruktury krytycznej jest warunkiem koniecznym ale nie wystrzegającym zapewnieni jej bezpieczeństwa.

5. Kryteria kwalifikacji do infrastruktury krytycznej

Rządowe Centrum Bezpieczeństwa nie ujawnia szczegółów identyfikacji przynależności do infrastruktury krytycznej. Podawane są tylko ogólne procedury w tym zakresie, które podzielone są na dwie grupy [5,6]:

- kryteria systemowe – w sposób ilościowy określają parametry obiektu, urządzenia, instalacji lub usługi, których spełnienie może skutkować zaliczeniem do infrastruktury krytycznej. Kryteria te są odrębne dla każdego z systemów zaliczanych do infrastruktury krytycznej;
- kryteria przekrojowe – dotyczą parametrów odnoszących się do skutków zniszczenia lub zaprzestania funkcjonowania obiektu, urządzenia, instalacji bądź usługi. Kryteria te obejmują: ofiary w ludziach, skutki finansowe, konieczność ewakuacji, utratę usługi, czas odbudowy, efekt międzynarodowy oraz unikatowość.

Końcowa identyfikacja przynależności do infrastruktury krytycznej odbywa się w trzech etapach [4]:

- pierwsza selekcja polega na zastosowaniu kryteriów systemowych właściwych dla danego systemu infrastruktury krytycznej w odniesieniu do obiektów, urządzeń, instalacji lub usług;
- drugi etap, to sprawdzenie czy obiekt, urządzenie, instalacja lub usługa pełni kluczową rolę dla bezpieczeństwa państwa (regionu), aglomeracji miejskiej i obywateli oraz czy zapewnia sprawne funkcjonowanie organów administracji publicznej i podmiotów gospodarczych;
- trzeci etap ma na celu ocenę potencjalnych skutków zaprzestania funkcjonowania infrastruktury krytycznej lub jej zniszczenia. Wyłonione w pierwszych dwóch etapach elementy infrastruktury krytycznej aby być rozpatrywane w trzecim etapie muszą spełniać co najmniej dwa kryteria przekrojowe.

Można pokusić się o określenie własnych przemyśleń związanych z wystąpieniem określonych zagrożeń:

- w odniesieniu do ludności:
 - liczba zająć śmiertelnych;
 - liczba osób hospitalizowanych;
 - liczba osób objętych powodzią;
 - liczba osób objętych suszą;
 - liczba osób ewakuowanych;

- liczba osób, która utraciła podstawowe usługi;
- w odniesieniu do gospodarki:
 - koszty strat wystąpienia danego scenariusza zdarzeń;
 - zakłócenia na poziomie regionalnym, krajowym lub globalnym;
- w odniesieniu do środowiska:
 - długotrwałe zakłócenia;
 - nieodwracalne zmiany;
- w odniesieniu do stabilności państwa:
 - trudności w wypełnianiu konstytucyjnych obowiązków państwa.

Wymienione zagrożenia należy rozpatrywać w aspekcie scenariuszy bezpośrednich, uwzględniających efekt domina oraz rozłożonych w perspektywie długoterminowej [8].

System zarządzania bezpieczeństwem to organizacje i działania przyjęte przez zarządcę infrastruktury wodociągowej dla zapewnienia bezpieczeństwa.

Wspólne wymagania bezpieczeństwa (CST), to minimalne poziomy bezpieczeństwa, które powinny być osiągnięte przez SZZW wyrażone w kryteriach akceptacji ryzyka.

Wspólne metody oceny bezpieczeństwa (CSM), to metody oceny bezpieczeństwa ustalone, opisujące sposoby oceny poziomu bezpieczeństwa i spełniania wymagań bezpieczeństwa.

Wspólne wskaźniki bezpieczeństwa (CSI), to estymatory statystyczne odnoszące się do zdarzeń niepożądanych, ich skutków i bezpieczeństwa infrastruktury technicznej, a także zarządzania bezpieczeństwem.

Bezpieczeństwo czynne (aktywne) związane jest z cechami systemu, dzięki którym zmniejsza się ryzyko wystąpienia zdarzenia niepożądanego. Bezpieczeństwo bierne (pasywne) to pojęcie gdy już do zdarzenia niepożądanego dojdzie. To zespół cech, których celem jest maksymalne zmniejszenie skutków zaistniałego zdarzenia niepożądanego.

6. Strategia zrównoważonego wodociągu

Kreowanie polityki zaopatrzenia w wodę wymaga opracowania strategii. Autorska koncepcja składa się z 9 etapów:

A. Identyfikacja

W pierwszym kroku należy zidentyfikować zjawiska, procesy i zasoby istotne dla funkcjonowania SZZW [7]. Identyfikacja polega na stopniowej dekompozycji związanej z obiektami rozważań, określenie domen rozważań, a kończy szczegółową identyfikacją. Dane statystyki historyczne o wybranych zjawiskach mogą posłużyć do przeprowadzenia analizy trendu. W ten sposób uzyska się bazę do opracowania stanów aktualnych i określenia przyczyn stanów zawodnościowych i związanych z utratą bezpieczeństwa odbiorców wody. Ostatnim kro-

kiem tego etapu jest zastosowanie hierarchiczne zjawisk, zasobów i procesów, z podziałem na konstruktywne i destruktywne [1].

B. Prognoza

Przeprowadzenie prognoz procesów o istotnym wpływie na efektywność w sferze eksploatacji i inwestycji związanych z funkcjonowaniem SZZW.

C. Diagnoza strategiczna

Ma na celu osiągnięcie sukcesu długofalowego w samym SZZW z uwzględnieniem procesów zachodzących w jego otoczeniu a związanych z działaniami sił konkurencyjnych.

D. Opracowanie scenariuszy

Mają na celu określenie skutków w myśl zasady „co będzie, jeżeli ...?”. Tutaj należy wykorzystać dane z prognozy procesów.

E. Ocena efektywności i ryzyka

Dotyczy konkretnych i destrukcyjnych skutków dal wytypowanych scenariuszy.

F. Wybór wariantów

Dla strategii zrównoważonego rozwoju SZZW wybór wariantów inwestycyjnych i możliwości ich finansowania.

G. Założenia techniczne, organizacyjne i finansowe

Dla wybranych wariantów.

H. Projekty działań

Dotyczą działań operacyjnych wraz ze szczegółową analizą kosztów, korzyści i ryzyka, wraz z analizą krótko i długo terminową efektów ekonomicznych

I. Wybór końcowy

Prezentacja wariantów strategii przed gremium decyzyjnym wraz z wyborem i akceptacją projektu strategii w postaci raportu końcowego.

7. Podsumowanie

- Badania konsumentckie postrzegania natury ryzyka w dalszym ciągu nie rozstrzygają czy obowiązuje model multiplikatywny (czynniki pomnożone) czy model addytywny (czynniki dodawane), czy konsekwencje (straty) i prawdopodobieństwo (częstość) ich wystąpienia są ze sobą powiązane, czy są to komponenty niezależne od siebie. Wątpliwe jest także, który komponent jest ważniejszy dla konsumenta, czy oba są tak samo ważne?
- Bezpieczeństwo i ochrona systemu są ściśle związane z różnego rodzaju zagrożeniami, które w sposób dynamiczny ewoluują. To z kolei powoduje konieczność antycypacji i kreowania nowych metod przeciwdziałania tego rodzaju zagrożeniom. Analizując zagrożenia należy rozpatrywać alternatywne sposoby ochrony, a scenariusze powinny obejmować także zagrożenia terrorystyczne, a nawet militarne, Przynależność do infrastruktury krytycznej powin-

na wiązać się z pewnego rodzaju „przywilejami”. Mogło by to polegać na szybkich ścieżkach otrzymywania odszkodowań za straty poniesione w sytuacjach awaryjnych, czy możliwości tworzenia zachęt do utrzymywania zwiększonych własnych zasobów finansowych służących do odtwarzania infrastruktury krytycznej albo uzyskania wsparcia ekip remontowych z innych sektorów gospodarki, a nawet wojska.

- Metody dedukcyjne analizy ryzyka polegają na założeniu określenia zdarzenia końcowego, a szukane są zdarzenia mogące doprowadzić do zdarzenia końcowego. Metody indukcyjne analizy ryzyka polegają na założeniu danego rodzaju awarii, a analizuje się i identyfikuje zdarzenia, które mogą być spowodowane tą awarią.
- Ryzyko może dotyczyć zdarzeń utraty zdrowia lub życia ludzi, w stratach finansowych związanych z brakiem produkcji wody, stratach związanych z brakiem możliwości użytkowania wody, w stratach w obszarze zasobów wody.

Literatura

- [1] Damodaran A.; Ryzyko strategiczne. Podstawy zarządzania ryzykiem, Wyd. Akademickie i Profesjonalne, Warszawa 2009.
- [2] Dyrektywa Rady 2008/114/WE z 8 grudnia 2008 roku w sprawie rozpoznania i wyznaczania europejskiej infrastruktury krytycznej oraz oceny potrzeb w zakresie poprawy jej ochrony, Dz.U.UE.L.08.345.75.
- [3] Kopaliński W.; Słownik wyrazów obcych i zwrotów obcojęzycznych, Wyd. Wiedza Powszechna, Warszawa 1983.
- [4] Narodowy Program Ochrony Infrastruktury Krytycznej, Wydawnictwo Rządowego Centrum Bezpieczeństwa, Warszawa 2013.
- [5] Narodowy Program Ochrony Infrastruktury Krytycznej. Załącznik 1, Charakterystyka systemów infrastruktury krytycznej, Wydawnictwo Rządowego Centrum Bezpieczeństwa, Warszawa 2013.
- [6] Narodowy Program Ochrony Infrastruktury Krytycznej. Załącznik 2, Standardy służące zapewnieniu sprawnego funkcjonowania infrastruktury krytycznej – dobre praktyki i rekomendacje, Wydawnictwo Rządowego Centrum Bezpieczeństwa, Warszawa 2013.
- [7] Rak R.J.; Problematyka ryzyka w wodociągach, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2014.
- [8] Ustawa z dnia 18 kwietnia 2002 roku o stanie kłęski żywiołowej. Dz.U. z 2002 r. nr 62, poz. 558 ze zm.
- [9] Ustawa z dnia 26 kwietnia 2007 roku o zarządzaniu kryzysowym. Dz.U. z 2007 r., nr 89, poz. 590 ze zm.
- [10] Wieczorek-Kosmala M.; Nietradycyjne instrumenty finansowania ryzyka w przedsiębiorstwie. Ekonomia, finanse. Współczesne wyzwania i kierunki rozwoju, Wyd. Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Katowice 2010.

RULES FOR DETERMINING THE BELONGING TO CRITICAL INFRASTRUCTURE

S u m m a r y

Safety and security systems are closely related to various types of threats that are evolving in a dynamic way. This in turn makes it necessary to anticipate and create new methods to counter such threats. In the article the methodology for determining the belonging to the critical infrastructure was analyzed. The list of sectors is determined by the regulation of crisis management. Two failures of critical infrastructure were briefly discussed. Qualification criteria for critical infrastructure were given. New ways of financing catastrophe risk were proposed. Reference was made to the elements of critical infrastructure protection. On the example of the collective water supply system, identification criteria was presented in detail. A summary of the scientific consideration is to identify strategies for sustainable water supply system.

Keywords: critical infrastructure of the water supply system, threats, protection

Przesłano do redakcji: 10.03.2016 r.

Przyjęto do druku: 1.06.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.130

Piotr REZKA¹
Wojciech BALCERZAK²
Justyna KWAŚNY³

SZTUCZNE SUBSTANCJE SŁODZĄCE – WYSTĘPOWANIE W ŚRODOWISKU

W pracy przedstawiono zagadnienie występowania sztucznych substancji słodzących w ściekach oraz ich obecności w środowisku wodnym. Ze względu na zastosowanie w produkcji żywności i napojów o zmniejszonej wartości kalorycznej, związki te pojawiają się w ściekach w coraz większych ilościach. Najczęściej stosowanymi substytutami cukru jest acesulfam K, aspartam, cyklaminy sodu, sacharyna i sukraloza. Każda z tych substancji jest kilkadziesiąt razy bardziej słodka niż standardowy cukier (sacharoza), jednakże praktycznie nie podnoszą one wartości kalorycznej produktu. Dokonano przeglądu literatury, skupiając się na zawartościach rozpatrywanych substancji w ściekach surowych i oczyszczonych. Wykazano, że skuteczność eliminacji tych związków ze ścieków jest niewystarczająca i na skutek tego dochodzi do zanieczyszczenia środowiska wodnego. Przedstawiono w tabeli potwierdzone doniesienia dotyczące obecności tych związków w rzekach, jeziorach i wodach podziemnych. W przypadku gdy w wodzie ujmowanej przez stacje uzdatniania wody obecne są wyżej wymienione związki, w szczególności acesulfam i sukraloza, istnieje ryzyko przedostania się ich do wody przeznaczonej do spożycia, co znalazło potwierdzenie w literaturze. Mimo dostępnych wyników badań nie wykazujących wpływu na ekosystem i zdrowie człowieka, konieczne wydaje się przeprowadzenie badań nad wpływem długotrwałego narażenia organizmów wodnych i organizmu człowieka na działanie sztucznych substytutów cukru.

Słowa kluczowe: jakość wody, ścieki, wody powierzchniowe, wody podziemne, woda do picia

1. Wprowadzenie

Kwestia obecności związków organicznych w ściekach i środowisku wodnym stała się jednym z głównych tematów poruszanych w publikacjach nauko-

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Piotr Rezka, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31–155 Kraków, rezkapiotr@gmail.com

² Wojciech Balcerzak, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31–155 Kraków, wb@vistula.wis.pk.edu.pl

³ Justyna Kwaśny, Politechnika Krakowska, ul. Warszawska 24, 31–155 Kraków, kwasny.justyna@gmail.com

wych na całym świecie. Największe kontrowersje budzą doniesienia o występowaniu farmaceutyków i składników produktów do pielęgnacji ciała w środowisku wodnym i glebach; mniejszą uwagę zwracają natomiast publikacje dotyczące substancji słodzących. Jest to najprawdopodobniej spowodowane nastawieniem ludzi do danej grupy związków. Obecnie żywność i napoje zawierające substytuty cukru są w pełni świadomie wybierane przez konsumentów. Częste doniesienia o szkodliwym wpływie cukru (sacharozy) na organizm i utrzymanie smukłej sylwetki powodują wzrost zainteresowania artykułami o niższej wartości kalorycznej i niższej zawartości cukru. Z tego właśnie względu można zaobserwować rosnący wybór produktów w wersji „light” z substytutami cukru, w zdecydowanej większości sztucznymi. Zastosowanie np. acesulfamu K, który jest 200-krotnie bardziej słodki od sacharozy, pozwala z jednej strony na obniżenie kosztów produkcji, z drugiej natomiast na znaczne obniżenie kaloryczności produktu, przez co dany produkt staje się bardziej atrakcyjny dla osób walczących z nadwagą lub dbających o linię.

Należy jednak także pamiętać, że syntetyczne substancje słodzące (AS – artificial sweeteners) również mogą mieć negatywny wpływ na organizm człowieka. Najbardziej krytykowanym substytutem cukru jest niewątpliwie aspartam, budzący kontrowersje od kilkadziesiąt lat. Obecnie jest on uważany za bezpieczny dla organizmu, jednakże pogląd ten jest często podważany ze względu na wyniki badań sugerujące, że aspartam jest neurotoksyną i może wpływać na rozwój nowotworów mózgu. Coraz popularniejszy obecnie substytut, jakim jest sukraloza pośrednio wpływa negatywnie na nabłonek jelita (negatywne działanie wykazują metabolity sukralozy). Mimo wątpliwości co do szkodliwości lub jej braku na organizm człowieka, większość substancji słodzących jest uznawana za bezpieczne, dlatego można spodziewać się ich obecności w artykułach spożywczych i ich konsumpcji. W Tablicy 1 zestawiono podstawowe informacje dotyczące rozpatrywanych w pracy syntetycznych substancji słodzących.

2. Występowanie substancji słodzących

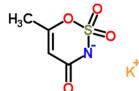
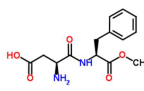

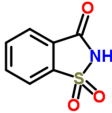
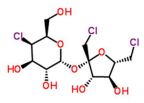
2.1. Ścieki miejskie

Powszechne przeświadczenie o braku przeciwwskazań do spożywania sztucznych substytutów cukru przekłada się wprost na większe zużycie w produkcji żywności i napojów. Coraz częściej spotykaną praktyką jest dodawanie substancji słodzących do preparatów farmaceutycznych w celu poprawy nieprzyjemnego smaku produktu.

Oznacza to, że głównym źródłem AS w ściekach doprowadzanych do miejskich oczyszczalni ścieków są ścieki bytowo-gospodarcze. Analizy ścieków surowych wykonane pod kątem obecności AS wykazują stężenia rzędu do kilkadziesiąt lub kilkuset mikrogramów w litrze ścieku: ACE 0,187–75 µg/l, ASP do 2,26 µg/l, CYC 0,3–250 µg/l, SAC 0,5–135 µg/l, SUC 0,1–4,72 µg/l [17]; ACE

Tablica 1. Charakterystyka rozpatrywanych substancji słodzących, na podstawie [11,21–25]

Table 1. Characteristics of considered artificial sweeteners, based on [11,21–25]

Nazwa	Wzór sumaryczny	Wzór strukturalny	Numer CAS
Acesulfam K (ACE)	$C_4H_4KNO_4S$		55589–62–3
Aspartam (ASP)	$C_{14}H_{18}N_2O_5$		22839–47–0
Cyklaminian sodu (CYC)	$C_6H_{12}NSO_3Na$		139–05–9
Sacharyna (SAC)	$C_7H_5NO_3S$		81–07–2
Sukraloza (SUC)	$C_{12}H_{19}Cl_3O_8$		56038–13–2

do 111 $\mu\text{g/l}$ (średnio 42 $\mu\text{g/l}$) [9]; ACE 49–149 $\mu\text{g/l}$, ASP do 0,07 $\mu\text{g/l}$, CYC do 3,7 $\mu\text{g/l}$, SAC 7,4–155 $\mu\text{g/l}$, SUC 12–60 $\mu\text{g/l}$ [2]. Zauważalna jest różnica w stężeniach aspartamu i cyklaminianu w różnych miastach, co potwierdza, że nie można z góry założyć profilu stężeń substytutów cukru obecnych w ściekach.

Specyfika ścieków z gospodarstw domowych i ich zmienny skład utrudnia prowadzenie procesów oczyszczania ścieków w sposób efektywny z punktu widzenia eliminacji AS, co znajduje potwierdzenie w wynikach analiz ścieków oczyszczonych. Zakres stężeń AS obecnych w ściekach odprowadzanych do rzek jest bardzo zróżnicowany: ACE 30,7–32,7 $\mu\text{g/l}$, CYC 17,2–20 $\mu\text{g/l}$, SAC 6,4–9,1 $\mu\text{g/l}$, SUC 15,4–18,1 $\mu\text{g/l}$ [11]; ACE 9,3–61,2 $\mu\text{g/l}$, ASP do 11,5 $\mu\text{g/l}$, CYC do 19,2 $\mu\text{g/l}$, SAC do 16,2 $\mu\text{g/l}$ i SUC 0,68–7,6 $\mu\text{g/l}$ [3]; ACE do 54 $\mu\text{g/l}$, CYC do 16,6 $\mu\text{g/l}$, SAC do 55,1 $\mu\text{g/l}$ [19]; SAC 5 $\mu\text{g/l}$, SUC 0,8–1,8 $\mu\text{g/l}$ [5]; SUC średnio 27 $\mu\text{g/l}$ [10]; SUC 0,4–119 $\mu\text{g/l}$ [16]; ACE 3,6 $\mu\text{g/l}$, SUC 1,25 $\mu\text{g/l}$ [1]. Przytoczone wyniki potwierdzają, że substancje słodzące nie są degradowane i eliminowane w procesach oczyszczania ścieków w sposób efektywny, czego skutkiem jest przenikanie tych związków do środowiska.

2.2. Wody naturalne

Nieefektywne oczyszczanie ścieków jest głównym powodem obecności AS w środowisku wodnym. W przypadku nieefektywnego oczyszczenia ścieków, substytuty cukru mogą być odprowadzane do rzek – odbiorników ścieków oczyszczonych. Stężenia AS występujących w wodach powierzchniowych i podziemnych wraz ze źródłami literaturowymi umieszczone zostały w Tabeli 2.

Tabela 2. Stężenia w µg/l (min–max lub średnia) wybranych AS

Table 2. Concentrations in µg/l (min–max or mean) of selected AS

Nazwa	Rzeki, jeziora	Wody podziemne
Acesulfam K (ACE)	0,12–1,62 ^[2] 0,036–7,34 ^[3] 0,4–53,7 ^[11] 0,03–9,6 ^[12] 0,02–0,38 ^[14] 0,005–0,35 ^[17] 0,05–2,01 ^[19]	0,005–0,095 ^[17] 0,026–33,6 ^[18] 0,05–2,87 ^[19] 0,012–1,53 ^[20]
Aspartam (ASP)	0,01–0,03 ^[2]	0,005–0,013 ^[3]
Cyklaminian sodu (CYC)	0,02–0,08 ^[2] 0,036–1,96 ^[3] 0,8–15,7 ^[11] 0,016–0,12 ^[12] 0,005–0,27 ^[14] 0,028–1,4 ^[17] 0,05–0,245 ^[19]	0,007–0,021 ^[3] 0,005–0,087 ^[17] 0,023–0,98 ^[18] 0,05–1,2 ^[19]
Sacharyna (SAC)	0,023–0,31 ^[3] 0,2–19,7 ^[11] 0,025–0,49 ^[12] 0,02–0,26 ^[14] 0,04–0,81 ^[17]	0,005–0,015 ^[3] 0,01–0,21 ^[17] 0,035–2 ^[18]
Sukraloza (SUC)	0,04–3,6 ^[2] 0,044–0,95 ^[3] 0,07–3,47 ^[4] 0,8–1,8 ^[5] 0,12–10 ^[10] 0,4–5,3 ^[11] 0,2–1,0 ^[12] 0,01–0,22 ^[14] 0,001–1,9 ^[16]	0,8–2,4 ^[5] 5–24 ^[18] 0,065–0,54 ^[20]

2.3. Woda przeznaczona do spożycia

Woda z rzeki lub woda podziemna ujmowana przez stacje uzdatniania wody może zawierać substancje słodzące. W takiej sytuacji oczekiwane jest skuteczne oczyszczanie wody z zanieczyszczeń organicznych, by woda przeznaczona

na do spożycia nie zawierała substancji, których konsumenci mogą sobie nie życzyć. Popularność produktów zawierających AS nie oznacza, że każdy odbiorca wody do picia ma zamiar wprowadzać je do swojego organizmu. Jest to szczególnie ważne w świetle najnowszych badań, które wykazują wpływ AS na rozwijanie się nietolerancji glukozy poprzez zmianę mikroflory w jelitach [15].

Analizy przeprowadzone w Szwajcarii wykazały obecność ACE w wodzie przeznaczonej do picia w ilości do 69 ng/l [3]. W Chinach wykryto już kilka substytutów cukru: ACE 0,58–0,68 µg/l, CYC 0,03–0,04 µg/l, SAC 0,07–0,1 µg/l oraz SUC 0,09–0,12 µg/l [6]. Natomiast w Stanach Zjednoczonych analizy wykazały obecność sukralozy w bardzo wysokich, jak na uzdatnioną wodę stężeniach w przedziale 0,05–2,4 µg/l [7]. Powyższe wyniki dowodzą, że substancje słodzące nie są całkowicie usuwane w procesach uzdatniania wody i mogą, w szczególności acesulfam i sukraloza, docierać do odbiorców wody przeznaczonej do picia.

3. Substancje słodzące jako wskaźnik zanieczyszczenia

Nieefektywna eliminacja substancji słodzących ze ścieków nie oznacza, że nie można wykorzystać faktu powszechnego występowania tych związków w środowisku wodnym. Substancje o charakterze antropogenicznym, czyli pochodzenia ludzkiego i nie występujące naturalnie w przyrodzie można potraktować jako swego rodzaju wskaźnik zasięgu i rozmiaru zanieczyszczenia środowiska przez ludzi. Szwajcarscy badacze potraktowali acesulfam jako wskaźnik populacji w badanym regionie, w celu określenia rozmiaru analizowanego przez nich potencjalnego zanieczyszczenia antropogenicznego [8]. Sacharyna, jako substytut cukru będący w użyciu już około 50 lat, może posłużyć jako wskaźnik ewentualnego skażenia środowiska przez odcieki ze starych składowisk odpadów [13].

4. Wnioski

Dokonany w artykule przegląd literatury i wyniki analiz ukazują skalę problemu, jakim jest występowanie syntetycznych substytutów cukru w środowisku wodnym. Mimo niskich, w porównaniu do spożywanych ilości substancji słodzących wraz z pożywieniem, stężeń tych związków, należy krytycznie podchodzić do kwestii ich niedostatecznej degradacji i eliminacji przede wszystkim w procesach oczyszczania ścieków. Efektywne oczyszczenie ścieków z AS pozwoliłoby uniknąć zanieczyszczeniu ogółu środowiska naturalnego. Duża mobilność AS i rozpuszczalność w wodzie sprzyjają zanieczyszczeniu nie tylko wód powierzchniowych, ale także wód podziemnych i akumulowaniu się w roślinach.

Jednakże najbardziej krytycznie należy podchodzić do obecności AS w wodzie do picia. Zwolennicy sztucznych substancji słodzących mogą nie mieć nic przeciwko ich obecności, jednakże innego zdania są ich przeciwnicy. Z tego

względu należy poszukiwać efektywnych metod oczyszczania wody z opisywanych substancji. Niewątpliwie potrzebne są szerokie, kompleksowe i wiarygodne badania dotyczące długotrwałej ekspozycji organizmów wodnych i organizmu człowieka na substytuty cukru, aby jednoznacznie stwierdzić szkodliwość lub brak szkodliwości tych związków.

Literatura

- [1] Alidina, M., Hoppe-Jones, C., Yoon, M., Hamadeh, A.F., Li, D., Drewes, J.E., The occurrence of emerging trace organic chemicals in wastewater effluents in Saudi Arabia, *Science of the Total Environment*, nr 478, 2014, s. 152–162.
- [2] Arbelaez, P., Borrull, F., Pocurull, E., Marce, R.M., Determination of high-intensity sweeteners in river water and wastewater by solid-phase extraction and liquid chromatography-tandem mass spectrometry, *Journal of Chromatography A*, nr 1393, 2015, s. 106–114.
- [3] Berset, J.-D., Ochsenbein, N., Stability considerations of aspartame in the direct analysis of artificial sweeteners in water samples using high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (HPLC-MS/MS), *Chemosphere*, nr 88, 2012, s. 563–569.
- [4] Dong, B., Kahl, A., Cheng, L., Vo, H., Ruehl, S., Zhang, T., Snyder, S., Saez, A.E., Quanrud, D., Arnold, R.G., Fate of trace organics in a wastewater effluent dependent stream, *Science of the Total Environment*, nr 518–519, 2015, s. 479–490.
- [5] Ferrer, I., Thurman, M., Analysis of sucralose and other sweeteners in water and beverage samples by liquid chromatography/time-of-flight mass spectrometry, *Journal of Chromatography A*, nr 1217, 2010, s. 4127–4134.
- [6] Gan, Z., Sun, H., Feng, B., Wang, R., Zhang, Y., Occurrence of seven artificial sweeteners in the aquatic environment and precipitation of Tianjin, China, *Water Research*, nr 47, 2013, s. 4928–4937.
- [7] Mawhinney, D.B., Young, R.B., Vanderford, B.J., Borch, T., Snyder, S.A., Artificial sweetener sucralose in U.S. drinking water systems, *Environmental Science Technology*, nr 45, 2011, s. 8716–8722.
- [8] Muller, C.E., Gerecke, A.C., Alder, A.C., Scheringer, M., Hungerbuehler, K., Identification of perfluoroalkyl acid sources in Swiss surface waters with the help of the artificial sweetener acesulfame, *Environmental Pollution*, nr 159, 2011, s. 1419–1426.
- [9] Nodler, K., Hillebrand, O., Idzik, K., Strathmann, M., Schipperski, F., Zirlewagen, J., Licha, T., A comparative study with selected β -blockers and the persistent anthropogenic wastewater indicators carbamazepine and acesulfame, *Water Research*, nr 47, 2013, s. 6650–6659.
- [10] Oppenheimer, J., Eaton, A., Badruzzaman, M., Haghani, A.W., Jacangelo, J.G., Occurrence and suitability of sucralose as an indicator compound of wastewater loading to surface waters in urbanized regions, *Water Research*, nr 45, 2011, s. 4019–4027.
- [11] Ordonez, E.Y., Quintana, J.B., Rodil, R., Cela, R., Determination of artificial sweeteners in water samples by solid-phase extraction and liquid chromatography-tandem mass spectrometry, *Journal of Chromatography A*, nr 1256, 2012, s. 197–205.

- [12] Perkola, N., Sainio, P., Quantification of four artificial sweeteners in Finnish surface waters with isotope–dilution mass spectrometry, *Environmental Pollution*, nr 184, 2014, s. 391–396.
- [13] Roy, J.W., Van Stempvoort, D.R., Bickerton, G., Artificial sweeteners as potential tracers of municipal landfill leachate, *Environmental Pollution*, nr 184, 2014, s. 89–93.
- [14] Sang, Z., Jiang, Y., Tsoi, Y.–K., Leung, K.S.–Y., Evaluating the environmental impact of artificial sweeteners: A study of their distributions, photodegradation and toxicities, *Water Research*, nr 52, 2014, s. 260–274.
- [15] Suez, J., Korem, T., Zeevi, D., Zilberman–Schapira, G., Thaiss, C.A., Maza, O., Israeli, D., Zmora, N., Gilad, S., Weinberger, A., Kuperman, Y., Harmelin, A., Kolodkin–Gal, I., Shapiro, H., Halpern, Z., Segal, E., Elinav, E., Artificial sweeteners induce glucose intolerance by altering the gut microbiota, *Nature*, nr 514, 2014, s. 181–186.
- [16] Tollefsen, K.E., Nizzetto, L., Huggett, D.B., Presence, fate and effects of the intense sweetener sucralose in the aquatic environment, *Science of the Total Environment*, nr 438, 2012, s. 510–516.
- [17] Tran, N.H., Hu, J., Ong, S.L., Simultaneous determination of PPCPs, EDCs and artificial sweeteners in environmental water samples using a single–step SPE coupled with HPLC–MS/MS and isotope dilution, *Talanta*, nr 113, 2013, s. 82–92.
- [18] Van Stempvoort, D.R., Roy, J.W., Brown, S.J., Bickerton, G., Artificial sweeteners as potential tracers in groundwater in urban environments, *Journal of Hydrology*, nr 401, 2011, s. 126–133.
- [19] Wolf, L., Zwiener, C., Zemann, M., Tracking artificial sweeteners and pharmaceuticals introduced into urban groundwater by leaking sewer networks, *Science of the Total Environment*, nr 430, 2012, s. 8–19.
- [20] Wu, M., Qian, Y., Boyd, J.M., Hrudey, S.E., Le, C.X., Li, X.–F., Direct large volume injection ultra–high performance liquid chromatography–tandem mass spectrometry determination of artificial sweeteners sucralose and acesulfame in well water, *Journal of Chromatography A*, nr 1359, 2014, s. 156–161.
- [21] www.chemspider.com/Chemical-Structure.55940.html (Acesulfam K) - dostęp 31.05.2015.
- [22] www.chemspider.com/Chemical-Structure.118630.html (Aspartam) - dostęp 31.05.2015.
- [23] www.chemspider.com/Chemical-Structure.8421.html (Cyklaminian sodu) - dostęp 31.05.2015.
- [24] www.chemspider.com/Chemical-Structure.4959.html (Sacharyna) - dostęp 31.05.2015.
- [25] www.chemspider.com/Chemical-Structure.64561.html (Sukraloza) - dostęp 31.05.2015.

ARTIFICIAL SWEETENERS – OCCURRENCE IN THE ENVIRONMENT

Summary

The paper presents the problem of the occurrence of artificial sweeteners in wastewater and their presence in the aquatic environment. Due to the use in the manufacture of reduced–calorie food and beverages, these compounds are present in the effluent in increasing numbers. Most popular artificial sugar substitutes are acesulfame K, aspartame, sodium cyclamate, saccharin and

sucralose. Each of these substances is tens of times more sweet than conventional sugar (sucrose), but they do not increase the calorific value of the product. A review of the literature, focusing on the concentrations of described substances in raw sewage and treated wastewater was made. It has been shown that the effectiveness of the sweeteners elimination from wastewater is insufficient, resulting in contamination of the aquatic environment. Confirmed reports of the presence of these compounds in rivers, lakes and groundwater are shown in table. If artificial sweeteners, particularly acesulfame and sucralose, are present in raw water grasped by water treatment plants, there is a risk of those compounds being released along with water intended for human consumption, which has been confirmed in the literature. Although the available studies do not show any negative impact on the ecosystem and human health, it seems necessary to carry out studies on the effects of long-term exposure of human and aquatic organisms to artificial sugar substitutes.

Keywords: water quality, wastewater, surface water, groundwater, drinking water

Przesłano do redakcji: 11.12.2015 r.

Przyjęto do druku: 1.03.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.131

Tomasz SIWOWSKI¹
Mateusz RAJCHEL²

KSZTAŁTOWANIE MOSTOWYCH DŹWIGARÓW HYBRYDOWYCH TYPU „KOMPOZYT FRP – BETON”

Pomimo wielu przewag w stosunku do konwencjonalnych materiałów budowlanych, współczesny rozwój zastosowań kompozytów FRP w budownictwie mostowym jest ograniczony ze względu na wysoki koszt początkowy oraz zbyt małą sztywność elementów konstrukcyjnych. W celu redukcji tych ograniczeń od blisko 20 lat w wielu krajach testuje się rozwiązania mieszane (hybrydowe), łączące kompozyty FRP z konwencjonalnymi materiałami budowlanymi, w tym głównie z betonem. Kształtowanie konstrukcji hybrydowej, bazujące na właściwościach poszczególnych materiałów składowych, ma na celu zwiększenie sztywności i redukcję kosztów, bez utraty nośności, lekkości i łatwości budowy mostów z takich dźwigarów. W artykule przedstawiono ewolucję w kształtowaniu hybrydowych dźwigarów mostowych typu „kompozyt FRP – beton” na przestrzeni ponad 20 lat. Podano także podstawowe zasady kształtowania dźwigarów hybrydowych, wynikające z przeprowadzonej analizy, a także wskazano kierunki dalszych badań, niezbędnych w celu upowszechnienia tych innowacyjnych konstrukcji mostowych.

Słowa kluczowe: dźwigar hybrydowy, kompozyt FRP, płyta betonowa, kształtowanie, most drogowy

1. Wprowadzenie

Jednym z głównych problemów budownictwa mostowego jest znacząca redukcja trwałości konstrukcji mostowych spowodowana korozją stali i betonu. Zjawisko to jest potęgowane przez stosowanie soli do zwalczania śliskości dróg, jak to ma miejsce w Polsce i w krajach o podobnym klimacie. W konsekwencji prowadzi to zazwyczaj do konieczności przedwczesnego generalnego remontu i/lub wymiany (przebudowy) całego mostu. Jednym ze współczesnych rozwiązań tego problemu jest zastosowanie do budowy mostów kompozytów konstrukcyjnych FRP (*fibre reinforced polymers*). Kompozyty FRP dzięki swoim dosko-

¹ Autor do korespondencji: Tomasz Siwowski, Politechnika Rzeszowska, Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, (17) 86 51 596, siwowski@prz.edu.pl

² Mateusz Rajchel, Politechnika Rzeszowska, Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, (17) 86 51 596, mrajchel@prz.edu.pl

nałym właściwościom, jak duża wytrzymałość, wysoka trwałość i odporność na korozję oraz mały ciężar (lekkość), stają się współcześnie pełnoprawnym, obok betonu i stali, materiałem konstrukcyjnym, brany pod uwagę przy projektowaniu i budowie mostów [1].

Jednakże pomimo wielu przewag w stosunku do konwencjonalnych materiałów budowlanych, współczesny rozwój zastosowań kompozytów FRP w budownictwie mostowym jest ograniczony do dwóch obszarów: napraw i wzmocnień konstrukcji istniejących oraz wymiany żelbetowych płyt pomostowych. Głównym powodem tak ograniczonego zastosowania jest wysoki koszt początkowy kompozytów, zbyt mała sztywność elementów konstrukcyjnych, wykonywanych głównie z kompozytów na bazie włókien szklanych (GFRP – *glass fibre reinforced polymers*), a także nagła postać zniszczenia kompozytu, niedopuszczalna w konstrukcjach budowlanych. Podczas gdy problem wysokiej ceny początkowej może zostać wkrótce rozwiązany za pomocą masowej i zautomatyzowanej produkcji przemysłowej elementów kompozytowych, tak problem braku sztywności i bezpiecznej postaci zniszczenia może być rozwiązany jedynie przez innowacyjne rozwiązania projektowe [2].

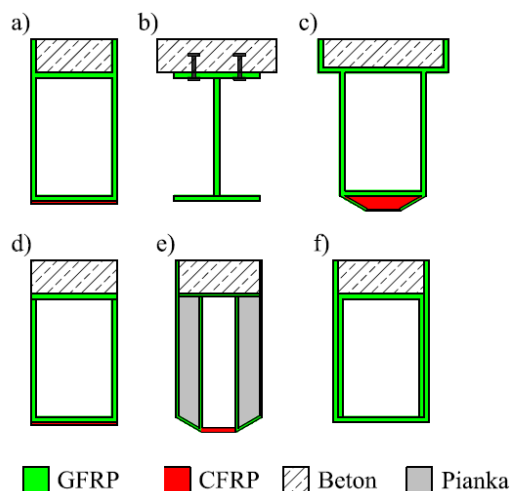
W celu redukcji wymienionych ograniczeń, od blisko 20 lat w wielu krajach testuje się rozwiązania mieszane (hybrydowe), łączące w jednej konstrukcji kompozyty FRP z konwencjonalnymi materiałami budowlanymi, w tym głównie z betonem. Konstrukcja dźwigara hybrydowego składa się z belki kompozytovej o przekroju dwuteowym, skrzynkowym (jedno- lub wielokomorowym) lub okrągłym oraz z płyty betonowej, która pełni rolę pomostu obiektu mostowego. Sztywne zespolenie obu tych elementów ma na celu zapewnienie ich współpracy przy przenoszeniu obciążeń. Głównym celem tworzenia konstrukcji hybrydowych jest takie połączenie różnych materiałów, aby każdy z nich był użyty w sposób wykorzystujący w optymalnym stopniu jego najlepsze właściwości. Dlatego w dźwigarach hybrydowych różne materiały konstrukcyjne są stosowane do przeniesienia rozciągania, ściskania i ścinania, generowanego w obciążonej konstrukcji.

Optymalizacja konstrukcji hybrydowej bazująca na właściwościach poszczególnych materiałów składowych, ma głównie na celu uzyskanie wymaganej nośności i sztywności oraz bezpiecznej postaci zniszczenia przy jednoczesnej redukcji zużycia droższych materiałów. Oczekuje się także, że wykorzystanie nowych, zaawansowanych technologicznie materiałów kompozytowych w budownictwie mostowym, doprowadzi do szybszej budowy i mniejszych zakłóceń ruchu drogowego dzięki lekkości i łatwości budowy mostów z tego materiału. Dzięki wysokiej trwałości kompozytów i związanym z tym ograniczeniem niezbędnych działań utrzymaniowych, mniejszy będzie także koszt kompozytowych obiektów mostowych, liczony w cyklu życia (LCC). Wreszcie ograniczone wymiary takich dźwigarów, dzięki wysokiej wytrzymałości kompozytu, wpływają korzystnie na estetykę mostu.

Wstępne prace badawcze oraz pierwsze, prototypowe aplikacje wykazały, że połączenie kompozytów FRP z betonem jest bardzo efektywnym rozwiązaniem konstrukcyjnym dla drogowych obiektów mostowych [3], [4]. W artykule przedstawiono ewolucję w kształtowaniu mostowych dźwigarów hybrydowych typu „kompozyty FRP – beton” na przestrzeni ponad 20 lat oraz ich wybrane zastosowania w przęsłach obiektów mostowych. Na podstawie analizy stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych sformułowano podstawowe zasady kształtowania dźwigarów hybrydowych z przeznaczeniem do budowy mostów drogowych. W podsumowaniu podano kierunki dalszych badań własnych, niezbędnych w celu upowszechnienia tych innowacyjnych, zaawansowanych technologicznie oraz spełniających zasady zrównoważonego rozwoju konstrukcji mostowych.

2. Ewolucja w kształtowaniu dźwigarów hybrydowych

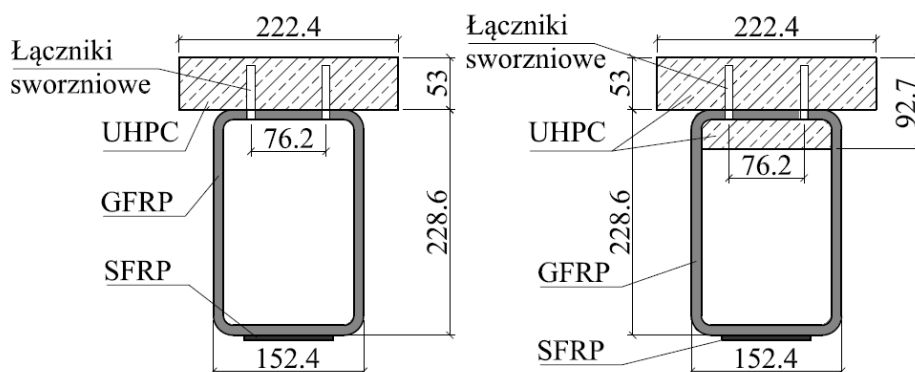
Pierwsze dźwigary hybrydowe typu „kompozyt FRP – beton” były wykonywane na bazie stosunkowo niewielkich kształtowników z kompozytów szklanych (GFRP) o przekroju skrzynkowym, które w strefie górnej (ściskanej) łączono z płytą betonową, a w strefie dolnej (rozciąganej) wzmocniano dodatkowo laminatem z kompozytu węglowego CFRP (*carbon fibre reinforced polymers*) (rys.1). Kształtowniki były wykonywane metodą pultruzji, dlatego wymiary ich przekrojów poprzecznych nie były duże.



Rys. 1. Kształt i budowa pierwszych dźwigarów hybrydowych typu „kompozyt FRP – beton”

Fig. 1. Shape and structure of first hybrid girders made of FRP composites and concrete

Pierwszy taki dźwigar hybrydowy (rys.1a) zaprojektowano i poddano badaniom w 1992 r. w USA. Dla uzyskania współpracy kompozytu i betonu użyto sworzni stalowych. Podczas badań pod obciążeniem statycznym przy maksymalnym obciążeniu jako pierwszy zerwaniu ulegał laminat CFRP, a następnie przy rosnącym obciążeniu nastąpiło zmiżdżenie betonu w strefie ściskanej [5]. Taka forma pracy i zniszczenia dźwigara została scharakteryzowana jako swoista „pseudo–plastyczność”, pozwalająca na wczesne „ostrzeżenie” przed nagłym zniszczeniem dźwigara, charakterystycznym dla konstrukcji w pełni kompozytowej. Jest to jedna z charakterystycznych cech dźwigarów hybrydowych, potwierdzona także w kolejnych badaniach [6], [7]. Bardzo podobny dźwigar był przedmiotem badań i późniejszego wdrożenia w Australii [8]. Belka o przekroju skrzynkowym, wykonana z kompozytu GFRP, została wzmocniona w strefie ściskanej betonem, a w strefie rozciąganej laminatem CFRP (rys.1d). Celem obu wzmocnień było uzyskanie dużej sztywności dźwigara. Dźwigary o podobnym kształcie i konstrukcji były przedmiotem kolejnych badań opisanych w pracach [9], [10], [11], [12] (rys.1 c,e,f).



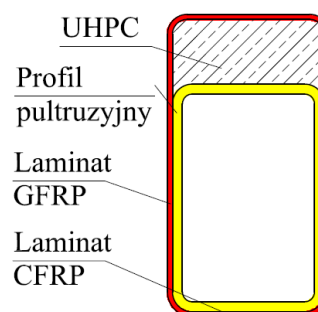
Rys. 2. Przekrój poprzeczny dźwigara hybrydowego wg [13]

Fig. 2. Cross-section of the hybrid girder according to [13]

W Kanadzie w 2007 r. opracowano dźwigar mostowy, bazujący na kompozytowym kształtowniku o zamkniętym przekroju skrzynkowym, złożony z kilku zaawansowanych technologicznie materiałów [13]. Podstawą dźwigara jest kształtownik skrzynkowy GFRP (rys.2). W jego górnej części zastosowano płytę wykonaną z ultrawytrzymałego betonu, zbrojonego włóknami stalowymi UHPSFRC (*ultra-high-performance steel-fibre reinforced concrete*). Płyta betonowa nadaje dźwigarowi wysoką sztywność i jednocześnie zabezpiecza ściskany pas belki kompozytowej przed wyobczeniem. Beton połączono z kompozytem za pomocą kleju epoksydowego oraz dodatkowo za pomocą sworzni kompozytowych o średnicy 9,5 mm. W dolnej, rozciąganej części dźwigara zastosowano

przyklejane od zewnątrz laminaty wykonane alternatywnie z kompozytu z włóknami stalowymi (SFRP- *steel fibre reinforced polimer*) lub z kompozytu węglowego CFRP. Na końcach dźwigara, w strefie podporowej, belka kompozytowa jest wypełniona betonem w celu wzmocnienia przekroju na ścinanie. W kolejnych modyfikacjach, dla zwiększenia nośności dźwigara zmieniono sposób połączenia betonu i kompozytu [14]. Górną powierzchnię belki GFRP dodatkowo uszorstniono pisakiem, wypełniającym klej epoksydowy oraz wprowadzono warstwę betonu do wewnątrz skrzynki, uzyskując w ten sposób możliwość zastosowania dłuższych sworzni kompozytowych (rys.2). Ta modyfikacja przyniosła oczekiwane rezultaty, zwiększając nośność dźwigara hybrydowego o kilkanaście procent.

Celem kolejnych prac badawczych nad kształtowaniem dźwigarów hybrydowych było wyeliminowanie głównych ograniczeń poprzednich rozwiązań [15]. W tym celu przekrój dźwigara, składający się z kształtownika GFRP, płyty z betonu oraz laminatu CFRP przyklejonego do spodu belki, owinięto w całości dodatkową matą kompozytową GFRP (rys.3). Warstwa zewnętrznego kompozytu GFRP ma podwójną rolę. Główną jej rolą jest zespolenie kształtownika GFRP i betonu, zapewnienie współpracy tych elementów oraz zabezpieczenie dźwigara przed przedczesnym rozwarstwieniem. Drugą rolą tego kompozytu, który ma układ włókien pod kątem 45° do osi podłużnej dźwigara, jest zwiększenie nośności na ścinanie kształtownika GFRP, który ma włókna jedynie w kierunku podłużnym (pultruzja).



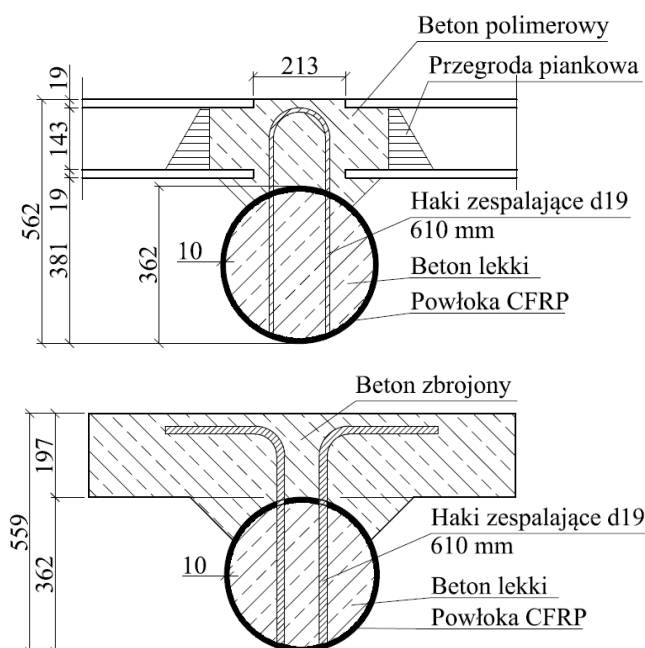
Rys. 3. Przekrój poprzeczny dźwigara wg [15]

Fig. 3. Cross-section of the girder according to [15]

Od początku XXI w. rozpoczęto badania i wdrażanie w mostownictwie dźwigarów hybrydowych, składających się z elementów kompozytowych o przekroju zamkniętym (rur okrągłych i prostokątnych), wypełnionych w całości betonem zwykłym lub lekkim (tzw. przekrój CFFT – *concrete filled FRP tube*). Elementy kompozytowe GFRP lub CFRP mogą być wykonywane nie tylko metodą pultruzji, lecz także metodą nawijania (*filament winding*). Dźwigary

hybrydowe typu CFFT charakteryzują się doskonałym wykorzystaniem specyficznych właściwości każdego z użytych materiałów. Podczas gdy beton przenosi doskonale ścisnienie oraz zabezpiecza ścianki rury kompozytowej przed niestatecznością miejscową, kompozyt ściśle zamykając beton zwiększa jego wytrzymałość i plastyczność, przenosi rozciąganie, i jednocześnie zabezpiecza beton przed agresywnym środowiskiem zewnętrznym.

Po raz pierwszy przekrój typu CFFT został wdrożony do budowy mostu w USA w 2002 r. [16]. Rura o średnicy wewnętrznej 340 mm i grubości ścianki 9,5 mm została wypełniona betonem lekkim. Na długości dźwigara znajdowały się elementy usztywniające (żebra), które zapewniały przeniesienie sił ścinających pomiędzy cienką powłoką kompozytową GFRP, a wypełniającym wewnętrzną przestrzeń betonem. W obiektach mostowych dźwigar CFFT był połączony z żelbetową lub kompozytową płytą pomostową za pomocą łączników, wykonanych z prętów zbrojeniowych, zatopionych w betonie (rys.4).

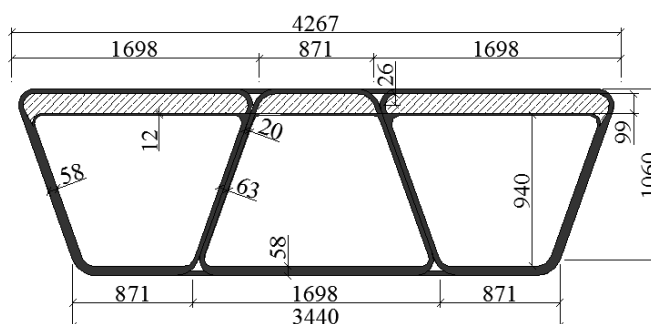


Rys. 4. Hybrydowe przekroje rurowe z płytą kompozytową (górze) i żelbetową (dół)

Fig. 4. CFFT cross-section with the FRP composite (upper) and concrete (bottom) deck slab

Kolejna forma mostowych dźwigarów hybrydowych składa się z trzech beltek kompozytowych GFRP o kształcie trapezowym, wykonanych metodą nawijania i sklejonych razem (rys.5). W celu obniżenia sił ścinających pomiędzy belkami trapezowymi, pochylenie ich środków ustalono jako 3/8. Na belkach jest

ułożona cienka płyta betonowa o grubości ok. 100 mm (max. 10% wysokości dźwigara), a następnie cały układ jest owinięty zewnętrznym laminatem GFRP [17]. W celu zapewnienia współpracy betonu i kompozytu zastosowano łączniki z kształtowników GFRP, przyklejanych poprzecznie do belek. Po ułożeniu wszystkich trzech elementów (belki kompozytowej, betonu, tkanina) całość połączono w dźwigar hybrydowy za pomocą infuzji VARTM (*Vacuum Assisted Resin Transfer Molding*) z wykorzystaniem żywicy poliestrowej. Beton zapewniał odpowiednią sztywność dźwigara, zabezpieczał górne płaszczyzny belek przed wyboczeniem oraz redukował lokalne oddziaływanie koła pojazdu na kompozyt.

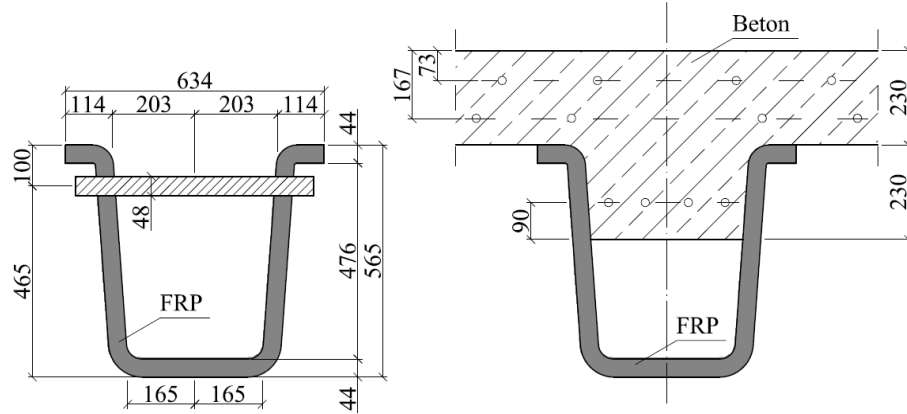


Rys. 5. Przekrój poprzeczny dźwigara wg [17]

Fig. 5. Cross-section of the girder according to [17]

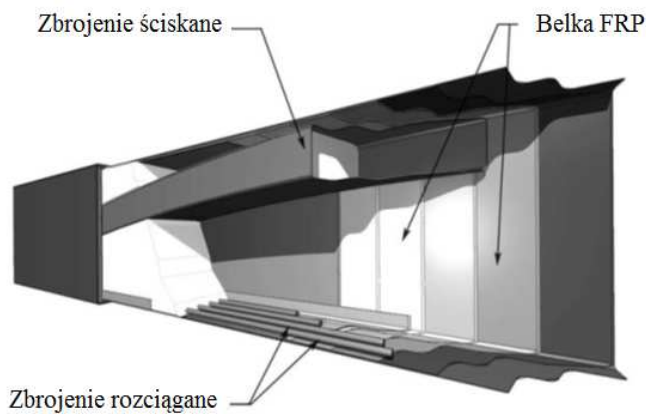
Bardzo popularny w USA jest dźwigar hybrydowy, składający się z belki kompozytowej o przekroju U oraz płyty betonowej, zespolonej z belką za pomocą specjalnych łączników prętowych (rys.6). Belka kompozytowa GFRP jest wykonywana metodą laminowania ręcznego (*hand lay-up*). Belka do wysokości osi obojętnej jest wypełniana styropianem, który stanowi deskowanie tracone dla betonu płyty, wypełniającego górną (ściskaną) część belki. Belka kompozytowa jest połączona z betonem za pomocą poziomych łączników prętowych z rur stalowych o średnicy 48 mm, zapewniających pełne zespolenie i współpracę obu elementów dźwigara hybrydowego [18].

Dźwigar pod rynkową nazwą HCB (*Hybrid Composite Beam*) jest najbardziej złożonym przykładem połączenia różnych materiałów konstrukcyjnych w jednym dźwigarze hybrydowym w celu optymalnego wykorzystania ich cech materiałowych [19]. Dźwigar składa się z trzech głównych elementów: kompozytowej formy skrzynkowej z GFRP wypełnionej pianką o dużej gęstości, wewnętrznego łuku betonowego oraz stalowych prętów lub splotów (rys.7). Całość jest połączona wzajemnie w jednym procesie infuzji systemem VARTM. Do wykonania łuku wewnętrznego stosuje się beton samozagęszczalny. Łuk betonowy przenosi siły ściskające, a dolne zbrojenie stalowe przenosi rozciąganie wzdłuż pasa dolnego dźwigara hybrydowego.



Rys. 6. Przekrój poprzeczny dźwigara U wg [18]

Fig. 6. Cross-section of the U girder according to [18]

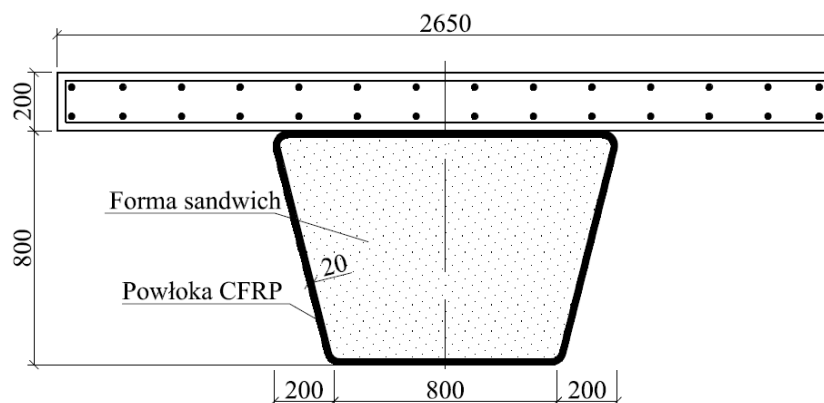


Rys. 7. Budowa dźwigara HBC wg [19]

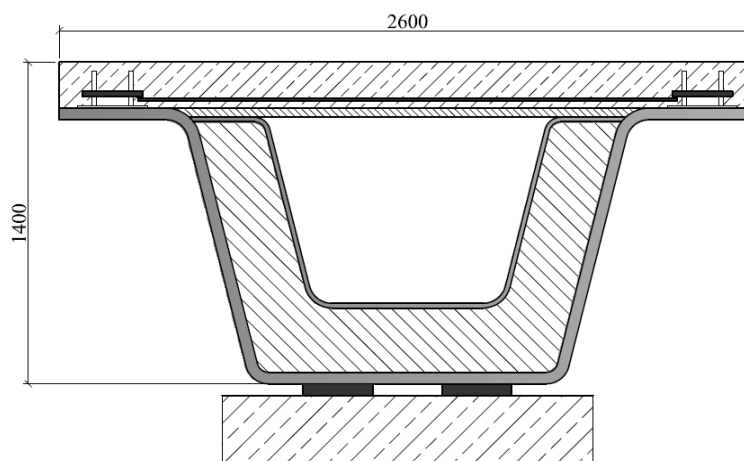
Fig. 7. Structure of the HBC girder according to [19]

Pierwszym europejskim przykładem prac naukowo-badawczych, dedykowanych rozwojowi mostów kompozytowych, jest skrzynkowy dźwigar hybrydowy o przekroju zamkniętym, opracowany w 2008 r. w Hiszpanii [20]. Dźwigar składa się z kompozytu wykonanego z tzw. prepregów CFRP, ułożonych na lekkim rdzeniu z pianki poliuretanowej (rys.8). Rdzeń, oprócz funkcji formy dla ukształtowania przekroju kompozytu, zapewnia także stateczność miejscową środników belki pod obciążeniem. Po ułożeniu prepregów na rdzeniu całość dźwigara jest poddawana procesowi infuzji VARTM. Dla przeniesienia sił ścinających przekroje podporowe belki zostały usztywnione wklejonymi przepo-

nami z kompozytu CFRP. Zespolenie belki kompozytowej z płytą betonową wykonano za pomocą kształtowników GFRP o przekroju I 100 x 80 x 8 mm, przyklejonych poprzecznie do górnej powierzchni belki. Płyta pomostu o grubości 20 cm jest wykonana z betonu zwykłego, zbrojonego prętami stalowymi o średnicy 16 mm.



Rys. 8. Skrzynkowy dźwigar hybrydowy opracowany przez firmę Acciona wg [20]
Fig. 8. Box hybrid girder developed by Acciona according to [20]



Rys. 9. Przekrój poprzeczny dźwigara wg [21]
Fig. 9. Cross-section of the girder according to [21]

Ponieważ koszt wykonania przedstawionego powyżej dźwigara okazał się dość wysoki, w kolejnym hiszpańskim projekcie badawczym zmieniono konstrukcję i metodę wytwarzania dźwigarów kompozytowych. Nową propozycją

jest belka trapezowa, otwarta górami, wykonana z kompozytu mieszanego CFRP/GFRP na bazie żywicy epoksydowej w procesie infuzji VARTM (rys.9). Trapez zamykany jest od góry kompozytowa płytą warstwową (typu sandwich), przyklejaną do pasów górnych belki, która stanowi deskowanie tracone dla żelbetonowej płyty pomostu, zespolonej z belką kompozytowa łącznikami sworzniowymi rozmieszczonymi wzdłuż pasów górnych belki [21]. Dla zwiększenia sztywności skrętnego dźwigara i zabezpieczenia łożysk przed wyboczeniem, na długości dźwigara wklejono wewnątrz sześć przepon. Do zespolenia belki kompozytowej i płyty betonowej użyto sworzni wykonanych z kompozytu GFRP. Także zbrojenie podłużne i poprzeczne betonowej płyty pomostu wykonane zostało z prętów kompozytowych GFRP. Taki dźwigar został wdrożony na kilku obiektach mostowych w Hiszpanii.

3. Podstawowe zasady kształtowania mostowych dźwigarów hybrydowych

Przedstawiony przegląd obejmuje większość dźwigarów hybrydowych typu „kompozyt FRP – beton”, jakie w ciągu ostatnich 20 lat zostały opracowane, zbadane i wdrożone w mostach drogowych na świecie. Wyciągając wnioski z tego przeglądu należy zauważyć w pierwszej kolejności stosunkowo dużą różnorodność form dźwigarów. Belki kompozytowe, będące głównym składnikiem dźwigarów hybrydowych, mają przekrój prostokątny zamknięty lub otwarty, okrągły, typu U, a także trapezowy, zamknięty lub otwarty górami. Te pierwsze były najczęściej stosowane do małych mostów płytowych, z kolei te ostatnie – do stosunkowo dużych (jak na kompozyty) mostów belkowych. Belki prostokątne o małym przekroju były wykonywane metodą pultruzji, jednakże wraz ze zwiększaniem ich wymiarów stosowano do ich produkcji metodę układania ręcznego, następnie zautomatyzowaną metodę nawijania, a ostatnio metodę infuzji VARTM. Większość przedstawionych dźwigarów wykonano z kompozytu na bazie włókien szklanych (GFRP) ze względu na ich zdecydowanie niższą cenę w stosunku do kompozytów z włókien węglowych (CFRP). Dla zwiększenia sztywności dźwigara, a także dla uzyskania specyficznej „pseudo-plastyczności” początkowo kompozyt węglowy CFRP stosowano w postaci taśm wzmacniających, przyklejanych do rozciąganych pasów belki. W najnowszych rozwiązaniach ten sam efekt uzyskiwany jest przez zastosowanie w pasach dolnych kompozytu hybrydowego GFRP/CFRP, który powstaje w jednym procesie infuzji wraz z pozostałymi elementami dźwigara.

Beton, stosowany dla zwiększenia sztywności i obniżenia kosztu dźwigarów, pełni zazwyczaj rolę pasa ściskanego, a jednocześnie płyty pomostu obiektu mostowego. Jednakże w dwóch przypadkach – dźwigarów typu CFFT i HCB – beton wykorzystano także wewnątrz konstrukcji kompozytowej dźwigara, dla przeniesienia kierunkowych sił wewnętrznych i zapewnienia lokalnej stateczności kompozytu. Stosuje się głównie beton zwykły, lecz są także przykłady z be-

tonem lekkim, a w przypadku dźwigarów CFFT – z betonem samozagęszczalnym. Płyty betonowe zbroi się siatkami prętów stalowych lub prętów kompozytowych GFRP. Dominującą formą zespolenia płyty betonowej i belki kompozytowej w dźwigarach hybrydowych są sworznie stalowe, osadzone w różny sposób w kompozycie pasów górnych. W tym zakresie widoczne jest stałe poszukiwanie efektywnych i niezawodnych rozwiązań. Wśród nich można wymienić poziome łączniki rurowe w belkach U, sworznie kompozytowe, kształtowniki kompozytowe klejone do pasów belki czy nawet bezpośrednie klejenie betonu do kompozytu, bez stosowania łączników mechanicznych.

Współcześnie dźwigary hybrydowe są stosowane do mostów drogowych w zakresie rozpiętości 10 – 20 m. Dla krótszych przęseł – do 15 m - stosuje się zazwyczaj konstrukcję płytową z kształtowników prostokątnych, klejonych wzajemnie i przykrywanych wspólną płytą betonową, zespoloną z belkami. Wysokość konstrukcyjna takiego przęsła płytowego wynosi ok. 0,6 m (smukłość 1/25). Dla większych rozpiętości stosuje się przęsła belkowe, wykonane najczęściej z belek typu U o wysokości konstrukcyjnej około 1,0 m (smukłość 1/20). Najdłuższe przęsła ponad 20 m wykonuje się z dźwigarów skrzynkowych (trapezowych), które wraz z płytą betonową mają wysokość rzędu 1,20 m. W przypadku bardzo małej dostępnej wysokości konstrukcyjnej (poniżej 0,5 m) formą dźwigara hybrydowego, który może być zastosowany w całym wymienionym zakresie rozpiętości, jest dźwigar rurowy CFFT.

Liczba dźwigarów oraz ich rozstaw poprzeczny w typowej szerokości przęsła belkowego mostu drogowego jest uzależniony od rodzaju dźwigarów. W przypadku krótszych mostów (do 15 m) stosowano stosunkowo dużą liczbę dźwigarów w małym rozstawie poprzecznym (0,7 - 0,9 m). W większych mostach, gdzie stosowano dźwigary trapezowe lub typu U, ich liczba wynosiła 3 lub 4, a rozstaw poprzeczny ok. 2,5 m. Żelbetowa płyta pomostu, zespolona z dźwigarami, pełni w takich przęsłach jeszcze jedną ważną funkcję – jest stężeniem poprzecznym dźwigarów. W opisanych rozwiązaniach konstrukcyjnych, z wyjątkiem betonowych lub kompozytowych poprzecznic podporowych, nie stosowano żadnych dodatkowych stężeń poprzecznych na długości przęsła.

4. Podsumowanie

Mosty hybrydowe, w których w sposób celowy połączono zalety kompozytów FRP oraz betonu, należą współcześnie do najszybciej rozwijających się typów konstrukcji mostowych. Powodem tego jest skuteczne połączenie powszechnie już znanych zalet kompozytów FRP jak trwałość, wytrzymałość, lekkość, z zaletami betonu, tj. sztywność, niski koszt oraz „pseudo-plastyczny” sposób zniszczenia przy ściskaniu. Inteligentne połączenie tych zalet w projektach mostów hybrydowych już wkrótce może spowodować, że ten rodzaj drogowych przęseł mostowych zdobędzie dużą popularność w ciągu dróg publicznych krajów wysoko rozwiniętych. Jednakże do pełnego przekonania admini-

stracji publicznej o zasadności stosowania tego typu konstrukcji jest konieczna kontynuacja badań naukowych nad poszczególnymi rodzajami dźwigarów hybrydowych oraz zachowaniem się mostów z nich wykonanych podczas eksploatacji. W przyszłych badaniach powinny zostać podjęte i dokładniej wyjaśnione m.in.: następujące problemy:

- nośność, trwałość i mechanizm zniszczenia zespolenia pomiędzy kompozytem a betonem (mechaniczne, klejowe);
- zachowanie dźwigarów hybrydowych w czasie (zmęczenie, pełzanie, oddziaływanie środowiska);
- zachowanie dźwigarów hybrydowych pod obciążeniem/oddziaływaniem wyjątkowym (uderzenie, pożar);
- skuteczne i efektywne metody NDT i SHM dla mostów hybrydowych;
- wytyczne i normy projektowe.

Praca powstała w ramach projektu pn.: „*COMBRIDGE – Innowacyjny most drogowy z kompozytów FRP*”. Projekt jest realizowany w ramach przedsięwzięcia pilotażowego pn.: *Wsparcie badań naukowych i prac rozwojowych w skali demonstracyjnej DEMONSTRATOR+* pt.: (umowa nr UOD-DEM-1-041-/001) oraz jest współfinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Literatura

- [1] Hollaway L.C., Head P.R.: *Advanced polymer composites and polymers in the civil infrastructure*. Elsevier, Oxford, 2001.
- [2] Zoghi M. (ed.): *The International Handbook of FRP Composites in Civil Engineering*. CRC Press, Taylor & Francis Group LLC, Boca Raton 2014.
- [3] Cheng L., Karbhari V.M.: *New bridge systems using FRP composites and concrete: a state-of-the-art review*. *Progress in Structural Engineering and Materials*, Vol.8, No. 4, 2006, pp. 143–154.
- [4] Yang L.: *Research status of FRP-concrete composite beam/bridge deck systems*. *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 587-589, 2014, pp. 1424-1429.
- [5] Triantafillou T.C., Meier U.: *Innovative design of FRP combined with concrete*. *Proceedings of the First International Conference on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures (ACMBS)*, Sherbrook, Quebec, Canada, 1992, pp.491-499.
- [6] Deskovic N., Meier U., Triantafillou T.: *Innovative design of FRP combined with concrete: long-term behaviour*. *Journal of Structural Engineering*, Vol.121, No.7, 1995, pp. 1079–1089.
- [7] Deskovic N., Triantafillou T., Meier U.: *Innovative design of FRP combined with concrete: short-term behaviour*. *Journal of Structural Engineering*, Vol.121, No.7, 1995, pp. 1069–1078.
- [8] Van Erp G.M. *Design and analysis of fibre composite beams for civil engineering applications*. *Proceedings of the 1st ACUN International Composites Conference, Composites: Innovations and Structural Applications*. Sydney, Australia, 1999, pp.229-238.

- [9] Canning L., Hollaway L., Thorne A. M.: Manufacture, testing and numerical analysis of an innovative polymer composite/concrete structural unit. *Proceedings of the ICE - Structures and Buildings*, Vol.134, No.3, 1999, pp. 231–241.
- [10] Fam A., Skutezky T.: Composite T-beams using reduced-scale rectangular FRP tubes and concrete slabs. *Journal of Composites for Construction*, Vol.10, No.2, 2006, pp.172–181.
- [11] Hulatt J., Hollaway L., Thorne A.: Short term testing of hybrid T beam made of new prepreg material. *Journal of Composites for Construction*, Vol.7, No.2, 2003, pp.35–144.
- [12] Ribeiro M.C.S., Tavares C.M.L., Ferreira A.J.M., Marques A.T.: Static flexural performance of GFRP-polymer concrete hybrid beams. *Proceedings of the International Conference on FRP Composites in Civil Engineering*. J. G. Teng, Editor, Elsevier Science Ltd., New York, 2001, pp. 1355-1362.
- [13] Elmahdy A., El-Hacha R., Shrive N.: Flexural behaviour of hybrid composite girders in bridge construction. *Proceedings of the Fourth International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE2008)*, Zurich, Switzerland, 2008.
- [14] El-Hacha R., Chen D.: Behaviour of hybrid FRP-UHPC beams subjected to static flexural loading. *Composites Part B: Engineering*, Vol.43, No.2, 2012, pp.582–593.
- [15] Chakraborty A., Khennane A., Kayali O., Morozov E.: Performance of outside filament-wound hybrid FRP-concrete beams. *Composites Part B: Engineering*, Vol.42, No.4, 2011, pp. 907–915.
- [16] Zhao L., Karbhari V.M.: Investigation of stress states and failure mechanisms of a cellular FRP composite bridge deck system. *Proceedings of the 16th Annual Technical Conference, American Society for Composites, Blacksburgh, Virginia, 2001*, paper No.201, p. 12.
- [17] Kitane Y., Aref A., Lee, G.: Static and fatigue testing of hybrid fiber-reinforced polymer-concrete bridge superstructure. *Journal of Composites for Construction*, Vol.8, No.2, 2004, pp. 182–190.
- [18] Ziehl P., Engelhardt M., Fowler T., Ulloa F., Medlock R., Schell E.: Design and field evaluation of hybrid FRP/reinforced concrete superstructure system. *Journal of Bridge Engineering*, Vol.14, No.5, 2009, pp.309–318.
- [19] Hillman J.R.: Investigation of a hybrid-composite beam system. Final Report for High-Speed Rail IDEA Project 23. Transportation Research Board, August 2003.
- [20] Gutiérrez E., Primi S., Mieres J.M., Calvo I.: Structural testing of a vehicular carbon fiber bridge: quasi-static and short-term behaviour. *Journal of Bridge Engineering*, Vol. 13, No. 3, 2008, pp. 271-281.
- [21] Vicaria J.D.J, Diaz D.F., Paulotto C., Bansal A.: An application of the FRP girder bridge technology to cope with logistic difficulties. 37th IABSE Symposium Report, Madrid, 2014 pp.2200-2206.

SHAPING OF HYBRID BRIDGE GIRDERS MADE OF FRP COMPOSITE AND CONCRETE

Summary

Despite many advantages in comparison to conventional building materials, the contemporary development of FRP composites in bridge engineering is limited because of the high initial

cost and the reported lack of stiffness. In order to reduce these limitations, since more than 20 years the hybrid (mixed) solutions, connecting FRP composites with conventional materials (mainly concrete), have been developed. The optimization of hybrid structure based on properties of particular component materials, aims the economic efficiency, without losing lightness and easiness of FRP composite bridge construction. The evolution in shaping of hybrid bridge girders for more than 20 years have been presented in the paper. The basic rules of hybrid girder shaping and the further research, needed for development of these innovative, advanced and sustainable bridge solutions, have been also described.

Keywords: hybrid bridge girder, GFRP composite, concrete deck slab, road bridge, shaping

Przesłano do redakcji: 3.12.2015 r.

Przyjęto do druku: 1.03.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.132

Magdalena SZPYTMA¹
Adam RYBKA²

ECOLOGICAL IDEAS IN POLISH ARCHITECTURE - ENVIRONMENTAL IMPACT

Solutions in the field of ecological architecture appear more and more often in Poland. There are two approaches to eco-design: high-tech and low-tech. High-tech focuses on the use of the latest technological solutions. These means are often used in newly designed commercial buildings, such as the first Polish office building which uses passive technology, built in Katowice, in Euro-Centrum Science and Technology Park. It is intended especially for companies focusing on energy observance issues. Low-tech is usually used in small-scale buildings (for example a cottage in Jartypory village), and is focused on the use of inexpensive, traditional technologies and the daily conscious management of natural resources. Thinking about the impact on the environment and principles of sustainable development is also present in urban planning. In Siewierz, near Katowice, Poland's first eco-village is being built, with full infrastructure, high-quality residential buildings, shops, offices and hotels. The range of applied solutions will allow residents for the economical exploitation of these buildings.

Keywords: sustainable architecture, housing, office building, town

1. Introduction

Issues of ecology in architecture, as well as within the wider construction sector, are part of a broad trend of sustainable development. „In the period of the environmental threat and energy crises, sustainable development has become a basic strategy of actions in spatial planning. Architecture and building engineering are the largest economic sector in terms of economy and the flow of raw materials. The majority of capital, both financial and natural is invested in structures. The role of architecture and construction in the creation of sustainable de-

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Magdalena Szpytma, Rzeszów University of Technology, Faculty of Civil and Environmental Engineering and Architecture, Department of Town Planning and Architecture, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, tel. 177432142, mszpytma@prz.edu.pl

² Adam Rybka, Rzeszów University of Technology, Faculty of Civil and Environmental Engineering and Architecture, Department of Town Planning and Architecture, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, tel. 178651624, akbyr@prz.edu.pl

velopment is important"[1]. A big impact of construction and architectural sector on the environment is indicated by Anna Bać in the article „Idea of sustainability and its chosen manifestations". Due to the territorial expansion of cities, industrial development and infrastructure, construction and architectural sector ranks at 42% of the whole energy consumption and 35% of greenhouse gas emissions [2]. The concept of sustainable development was defined for the first time in 1988. In the Brundtland Report as „a development that is able to meet the needs of the present without compromising the ability of future generations to satisfy their needs"[3],[4]. The report concluded issues of social, economic, cultural and environmental problems, as well as identified potential solutions. Hence the concept of the so-called 3 pillars of sustainability, which is a balanced, sustainable development in the field of society, economy and ecology. Ecological ideas are one of the pillars of sustainable development. A. Baranowski in his groundbreaking book "Sustainable design in architecture," points to the convergence of ecological design ideas with the concept of sustainable development. He indicates the formation of a new paradigm of architecture, based on the ideas of environmental and contextualism, where the priority is to develop the environmentally friendly spaces [5]. On the other hand Marchwiński J. and Zielonko-Jung K. pay attention to the directions of ecological research in architecture, which according to Brian Edwards should derive patterns of cultures other than Western consumer culture. The principles of this search should be based on demands: sufficiency, appropriate management, social responsibility and 'spirituality' of the project [3], [6].

There are two different ways of achieving the objectives and demands of ecological architecture. At one extreme are the directions embedded in tradition, based on a close relationship with nature, the local climate and culture. Other group includes solutions based on technological solutions, which undergoing the process of continuous improvement. The below mentioned examples show that ecology may be diverse and adaptable to the scale of a building. These examples prove that pro-ecological ideas are applicable in Polish conditions.

2. Mini eco scale - housing

In 2000, in the village of Jartypory (the central-east Poland) a cottage was built in the low-tech style that was limited to minimizing construction and operation costs without applying, still quite expensive, advanced technology. Also, the building traditions of this indigent region were employed.

The house is small (just over 100 m²), compact in form, with one, modest sanitation assembly. The use of thermal energy is limited by proper floor plan design – the rooms are open to the south, east and west and the house is sheltered from wind by a slope on its north side. This was an easy way to reduce heat loss and profit by passive solar heating. A buffer was used as well to prevent from extensive air exchange. The building is composed of simple materials,

not requiring great energy expenditure in the production process. (This is the element of pro-ecological thinking on a larger scale.) The house is made of lime-plaster bricks, gypsum and insulated with cellulose wool made up of waste-paper. It is established on a waste-land, but almost the whole parcel is biologically active (the green roof tops it all).

Rainwater is reused for household purposes, and drinking water is purified by a constructed wetland, a low-tech solution, which works like a natural one. Wastewater is treated within the parcel. Energy consumption necessary for artificial lightning is reduced to minimum by providing daylight access. Energy consumption needed for air-conditioning is decreased by applying natural ventilation. One of the few high-tech components is a catalytic converter on a modern wood boiler [7].

Eco-friendliness of the project is not confined to architecture. It could be noticed in the attitude and way of life of the investors, who decided to do part of their job at home, which resulted in reduction of exhaust emission and macro improvement of air quality. It seems that this deep awareness and civil responsibility of the investors is the main cause of the project's success. They were willing to limit their own needs and submit to nature. This project shows that one of the most important issues is being aware of one's real necessities.

3. Medium eco scale – office building

In order to include big, public buildings in the trend of sustainable development, more advanced technologies must be used [8]. A good and current example is an office building constructed within Euro-Centrum Science and Technology Park in Katowice – a completely passive building of 6335 m² space.

The construction began in August 2011 as part of the project “Creating Euro-Centrum Science and Technology Park – the development and application of new technologies in the field of energy and its renewable resources observance”. Activity of the Park focuses on the matters of energy observance in buildings and the development of energy-saving technologies. The Park was established in 2007 and consists mainly of modern business and research infrastructure. It combines business and scientific activities in a comprehensive way. Owing to laboratory background, financial support and instant access to knowledge and results of the newest trade research, it presents as an ideal location for technological companies. What provides an excellent scientific background and a platform for information exchange is co-operation with research and development centres such as AGH University of Science and Technology, the University of Silesia, Silesian University of Technology, Czestochowa University of Technology, the Institute for Chemical Processing of Coal in Zabrze and the Institute of Electron Technology in Warsaw. The new building will serve the expansion of the Park's technical infrastructure and creation of first Silesian laboratories for developing energy-saving technologies and renewable energy resources. (Fig. 1).



Rys. 1. Pasywny budynek biurowy - Euro-Centrum Park Przemysłowy w Katowicach, wg [9]

Fig. 1. Passive office building - Euro-Centrum Science and Technology Park in Katowice, acc to [9]

The building was designed by an architectural firm Projekt Grupa Sławomir Kostur. It is intended for technological companies engaged in research, development and innovation work, especially in the field of renewable energy resources. Due to the ecological and energy-saving solutions, this office block will meet all requirements of a passive building. The proposed technologies will allow to save up to 2/3 of standard energy consumption. The brain of the building will be BMS, Building Management System, responsible for appliances operation. By means of sensors, it will control the temperature and decide about additional heating or cooling. It will be integrated with roller shutters. After working hours, all elements of ventilation will be shut in order to save heat accumulated inside the building. A heat pump will be responsible for heating the building. With help of geothermal wells, heat obtained from the ground will be used for heating the water, which will operate CCTC, Concrete Core Tempering system. CCTC system uses the rule of heat accumulation. In summer, partitions are absorbing the heat excess, and in winter, they insulate. Inside ceilings, which are 30 cm thick, there will be pipes with the heating or cooling water flowing through. CCTC system will be supported by a mechanical ventilation heat recovery. The heat recovery ventilation, installed on the roof, will be able to regain up to 75% of thermal energy from the air pumped out in winter. In summer, hot air from the outside will be refrigerated by chilled water in an air handling unit. The roller shutters, equipped with insolation sensors and own management system, will close or open according to the weather conditions. Solar collectors, installed on the roof, will be used to transform solar radiation into heat, which can be transmitted by gas or liquid. Electricity will be also obtained by means of

solar cells. All used technologies will allow to reduce the demand on energy necessary for heating the space from 120 kWh/m²/year to 15 kWh/m²/year.

Within the same project another building of over 738 m² space is being revitalised. It will become the premises of the Centre for Testing Solar Systems and Modern Heating Technologies Training Centre. The use of all the latest technologies, which allow for the economical energy management, will enable the development of new techniques. Specialised laboratories will permit the tests of collectors and solar systems (the so-called artificial sunlight or solar simulator), as well as devices resistance to thermal shock and water. Specialised trainings will be organised for the fitters of solar collectors, heat pumps, ventilation systems and solid fuel boilers [10].

The principles of sustainable development are crucial to the Park. (The function of the Park is inseparably bound with the idea.) And as the real elements of the project, that is the buildings, originate from these principles, they become the showcase of the idea and part of the philosophy based on the practical implementation of conducted research. Obviously, this serves the purpose of establishing the project's brand under the banners of ecology. However, the idea itself is so noble that even marketing does not diminish its value.

4. Maxi eco scale – new urban district

The problem of investments effect on the environment and sustainable development rules appears also in town-planning. Near Katowice, in Siewierz, the first Polish ecological district is being built from the scratch. The area of the investment covers 120 ha in the vicinity of the Przeczycko-Siewierski Reservoir. Due to the very good road connection with the Silesian conurbation, this location has a great potential to become an ideal place to live for people who appreciate being in touch with nature and professionally active at the same time.

The site topography and its landscape qualities are valuable features. The project of the town rests on the principles of sustainable development, combining the respects towards environment, public needs and economic efficiency. It was designed by an international team of town-planners, presided by Maciej Mycielski. Two-week workshops were organised with experts, local community, the representatives of local authorities and an investor, during which the form of the future investment was discussed [11].

The basic idea of the project was to respect existing landscape and preserve its value. The concept of eco-town refers to the guidelines of a garden city, characterised by low buildings and vast green belts intended for recreation. The plan of the town was tailored to fit the site topography. The hilly lay of land and a slope towards a lake affect parcel's landscape attractiveness. Additional asset is a long shoreline overgrown with verdure (Fig. 2).



Rys. 2. Ekologiczna dzielnica Siewierza - plan, wg [12]

Fig. 2. Ecological district of Siewierz - plan, acc to [12]

The area was divided into a few accommodation units, diversified in the respect of character and building scale, and located around town squares. Apart from housing function: detached, semi-detached, terraced and apartment houses, there will be a business zone, too, with certified office blocks, service space, a hotel and a conference centre. As usual, a market place will fulfil the cultural function. The market place will be the “source” of a park with the system of ponds and pools, located in a centrally situated valley. The naturally shaped shoreline, expanded upon a pier, a little marina, an amphitheatre and a beach will make a great space for resident’s recreation.

In co-operation with experts on environmental protection, modern technologies and sustainable town-planning, detailed solutions were elaborated, which ensure economical energy management within the town and particular buildings. The implementation of modern solutions is planned, which will guarantee high energetic efficiency, low carbon dioxide emission and rational water resources management. In order to attain assumed result, the construction of a combined heat and power plant is slated; it will use natural gas to produce heat and electricity, and, consequently, it will provide cheaper energy and central heating for the office complex and apartment houses. Modern methods of obtaining thermal energy, such as heat pumps, will allow for reduction of CO₂ emission and savings during the exploitation. The high acreage of green belts will be watered by means of recycled rainwater.

Each accommodation unit will be self-sufficient thanks to own production of electricity and heat as well as partial wastewater treatment. Solar cells, wind turbines and engine-generators running on biofuel will be the source of electric current. Solar collectors and fireplace units will be used to obtain hot water. Rainwater cisterns, plant filters and pumping stations will allow for rational water resources management. Sales department will be established, where all information will be provided by an expert on ecology and sustainable development. Every client will be given an eco-training on how to decorate and use an apartment so that it is completely eco-friendly [11][12].

The given example applies to long-term actions designed for at least several years. The fact of creating an accommodation project, which is not just adapting to the existing eco-friendly trends, but which crux are the principles of sustainable development, is meaningful. It is a brand new quality and it opens new possibilities for better solutions. Also, the emphasis put on the education of residents is significant. Undoubtedly, this will be the key element of the project's success in terms of ecology. If the investment is successful, it will be an extraordinary achievement, which, and this is most likely, will be the point of reference for other town-planning projects based on similar guidelines.

5. Conclusions

Ensuring environmental protection in accordance with the principles of sustainable development is stipulated in the Polish Constitution. Until recently, the short-sightedly perceived economic matters have been outbalancing the long-term evaluation of effects buildings have on the environment. Nowadays, this subject is being considered with proper attention and ecological questions are more often raised not only by the architects, but also by the investors. Marchwicki J. and Zielonko-Jung K indicates the essence of local factor in sustainable design. "Eco-friendly architecture should not be considered through the prism of physiognomic characteristics of the buildings (...), but more in terms of the objectives and the associated demands that are imposed on it. The diversity of ways of their implementation, which is the resultant of social, cultural, economic, environmental and many others factors, makes eco-friendly architecture seen as breaking the anonymity of Western culture in building construction"[3]. The presented examples show that within Polish architecture quite bold and frequent solutions (on a very diversified scale) are founded on the ideas of environmental protection. They show that ecology may be profitable, diverse and adaptable to the scale of a building. Today, the town-planning scale seems to be attainable. In the future, it could change the effect we have on the environment globally, although, it all begins with the change of a way of thinking, and only full awareness of being responsible for the environment, for the sake of future generations, can be the key factor of change.

Bibliography

- [1] Kamionka. L.: Standardy architektury zrównoważonej jako istoty czynnik miasta oszczędnego na przykładzie wybranych programów certyfikacyjnych, *Czasopismo Techniczne*, 6-A 2010, Z. 14, R. 107, pp. 27.
- [2] Bać A.: Idea zrównoważenia i jej wybrane przejawy, *Architectus*, 2014, 2(38), pp. 4.
- [3] Marchwicki J., Zielonko-Jung K.: Współczesna architektura proekologiczna, *Wydawnictwo Naukowe PWN*, Warszawa 2012, pp. 2, 13.
- [4] Jones D.L.: *Architecture and Environment. Bioclimatic Building Design*, Laurence King, London 1998.
- [5] Baranowski A.: *Projektowanie zrównoważone w architekturze*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 1998 pp.67-68.
- [6] Edwards B.: *Sustainable Architecture*, *Architectural Design*, vol. 71, 04.2001.
- [7] Śmiechowski D.: Architektura proekologiczna z zastosowaniem podejścia niskotechnologicznego (low-tech), *Architektura* 4(187)/2010.
- [8] *Intelligent Building Technology and Multimedia Management IBTMM*, Kraków, 2015, <http://ibtmm.pl/>, {accessed 17.02.2016 r.}.
- [9] <http://www.ligocka103.pl/grupa/parku-naukowo-technologiczny>, {access 19.02.2016}.
- [10] <http://euro-centrum.com.pl/park-naukowo-technologiczny>, {access 16.02.2016}.
- [11] <http://www.siewierzjeziorna.pl/>, {access 15.02.2016 r.}.
- [12] Czyżewski P.: http://koalicjaklimatyczna.org/lang/pl/page/materialy_konferencyjne/id/8/file/37/option/save, {access 28.02.2016 r.}.

IDEE EKOLOGICZNE W POLSKIEJ ARCHITEKTURZE – WPŁYW ŚRODOWISKOWY

Streszczenie

Proekologiczne rozwiązania architektoniczne stają się w Polsce coraz bardziej powszechne. Wyodrębnić dwa podejścia do tematu projektowania ekologicznego - high-tech i low-tech. High-tech skupia się na wykorzystywaniu najnowszych rozwiązań technologicznych - tego typu rozwiązania stosowane są często w nowoprojektowanych budynkach komercyjnych. Dobrze pokazuje to przykład biurowego budynku pasywnego w Katowickim Parku Przemysłowym - Euro-Centrum. Rozwiązania low-tech - stosowane są najczęściej w budynkach o małej skali (przykład domu w miejscowości Jartypory), skupiają się na wykorzystaniu niedrogich, tradycyjnych technologii i codziennego świadomego gospodarowania zasobami naturalnymi. Troska o środowisko naturalne jest również widoczna w projektach urbanistycznych. W Katowicach powstaje pierwsza w Polsce ekologiczna dzielnica mieszkaniowa, wyposażona w pełną infrastrukturę usługową oraz proekologiczne rozwiązania budynków.

Słowa kluczowe: architektura zrównoważona, budownictwo mieszkalne, budynki biurowe, miasta

Przesłano do redakcji: 5.03.2016 r.

Przyjęto do druku: 1.06.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.133

Marek URBANIK¹

ASSESSMENT OF DIVERSITY OF POLISH VOIVODSHIPS BY LEVEL OF GAS PIPELINE INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT USING MULTIDIMENSIONAL COMPARATIVE ANALYSIS

In the paper differentiation of gas pipeline infrastructure development in the Polish voivodships was presented. To illustrate this diversity the method of cluster analysis is used, obtained on the basis of statistical data collected by the Central Statistical Office (CSO). In order to conduct a preliminary review procedure for classification of individual provinces in relation to the assessment of the development of gas pipeline infrastructure linear classification was used, involved determining synthetic measure, which is the average of the variable components, through which voivodships were ordered. In order to estimate the distance between the clusters the variance analysis was used with the implementation of the Ward method. The analysis was performed on the basis of the following indicators: average increase in length of the gas network (an average for the total voivodship 164.2 km), growth of the gas network in comparison to the first year of observation (123%), number of gas connections per 1 km of gas pipe ($18.87 \text{ no}\cdot\text{km}^{-1}$), the length of the network per unit area ($5.37 \text{ m}\cdot\text{ha}^{-1}$), intensity of network loading ($84.15 \text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$), inhabitants having access to the gas system in % of total population (51.33%). In the analysis five clusters were grouped. Critical value was determined and segregation of individual clusters was made, taking into account the dominant parameters.

Keywords: cluster analysis, indicators of equipment in gas networks, multidimensional comparative analysis

1. Introduction

Environmental policy is one of the most important priorities of the European Union, natural gas is the most environmentally friendly fossil fuel, which gives it more and more important place in EU fuel policy [1, 2, 10]. The EU has launched a number of systems of financial assistance in order to implement projects promoting the use of natural gas. The main stimulus of such actions is the ecology and an economic factor has also the considerable influence [5-7, 14].

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Marek Urbanik, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17 865 14408, d314@stud.prz.edu.pl

Due to the importance of the discussed problems an important issue seems to be the analysis of the diversity of Polish voivodships in the context of the level of development of gas pipeline infrastructure in the Polish voivodships in the years 2005-2014.

In order to know this diversity the Cluster Analysis method was proposed.

The analysis applies to the following elements of infrastructure: length of the gas network, the number of connections of gas pipelines leading to residential buildings, the number of connections per 1 km of the gas network, the intensity of the workload, indicators of the equipment degree of settlement units in gas networks, comparison of the development of gas pipeline infrastructure in individual provinces.

The primary source of data for this work was the Central Statistical Office [4].

2. Ranking of voivodships in terms of level of gas pipeline infrastructure development

The method of multidimensional analysis can be a helpful tool in ranking and assessment of the level of gas pipeline infrastructure development. In order to perform a procedure for the classification of individual Polish provinces in terms of the gas infrastructure development linear classification determining synthetic measure, which is the average of the variable components, was used. Then Polish voivodships were ordered and before the analysis the unitarisation of variables with different titers was made.

Profiles of selected three provinces having the best (a) and the worst place (b) in classification of voivodships as a result of unitarisation are shown in Figure 1, where: *a* - the average increase in length of the gas network, *b* - growth of the gas network in comparison to the first year of observation [%], *c* - number of gas connections per 1 km of gas pipe, [$\text{no}\cdot\text{km}^{-1}$], *d* - the length of the network per unit area [$\text{m}\cdot\text{ha}^{-1}$], *e* - intensity of network loading [$\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$], *f* - inhabitants having access to the gas system in % of total population [%].

For every voivodships the minimum and maximum synthetic indicator had an considerable influence. In case of Masovian Province- paramter *c* and in case of Pomeranian - parametr *b* caused that those Provinces took the highest place in rankings, in contrast to parameters *a*, *d* and *f*, which caused that Podlasie took the last worst place in the level of the development of gas infrastructure.

The analysis of the level of diversification of gas infrastructure in all voivodships was performed using tools of Multidimensional Comparative Analysis (MCA). In this method similar observations are grouped in the so-called clusters.

While creating groups, it should be remembered, that they should considerably vary between themselves. Clusters created in this way are then organized in clear structures, based on the analysis of the similarities in given area.

These similarities may be suitable indicators specific for this group, similarity or the distance, the result is a method of presenting the objects, their properties showing both shared and distinct characteristics [11].

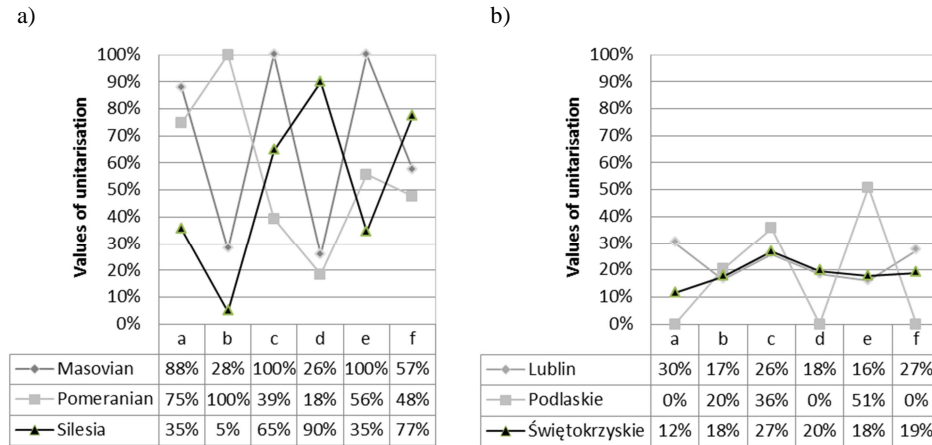


Fig. 1. Profiles of individual provinces as a result of unitarisation

Rys. 1. Profile poszczególnych województw powstałe w wyniku unitaryzacji

In order to estimate the distance between the clusters can be used analysis of variance. This approach is illustrated in the method of Ward, which is to minimize the sum of squared deviations of any two clusters that can be formed at any stage [13]. Although this procedure results in the formation of aggregates of very short distance, due to its effectiveness is often used, the degree of development of infrastructure using comparative analysis methods were used in works [3, 12, 15].

To determine the assessment of the diversity of gas network uses development Euclidean distance matrix was used according to the formula [9]:

$$d(x_i, x_k) = \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{ij} - x_{kj})^2} \tag{1}$$

where x_{ij} - value of j^{th} variable for i^{th} object, x_{kj} - value of j^{th} variable for k^{th} object and $d(x_i, x_k)$ - the distance between the i^{th} and k^{th} object.

Then the method of clusters agglomeration was applied, involving the determination of a hierarchical tree called dendrogram, which was made using the Z. Hellwig method [8]. It allows to estimate the distance between points belonging to two different subsets.

In Table 1 the hierarchy of individual clusters including individual voivodeships was presented: Lower Silesian (O_1), Kuyavian Pomeranian (O_2), Lublin (O_3), Lubusz (O_4), Łódź (O_5), Lesser Poland (O_6), Masovian (O_7), Opole (O_8), Subcarpathian (O_9), Podlaskie (O_10), Pomeranian (O_11), Silesia (O_12), Świętokrzyskie (O_13), Warmian Masovian (O_14), Greater Poland (O_15), West Pomeranian (O_16).

Table 1. The course of clusters agglomeration

Tabela 1. Przebieg aglomeracji skupień

Euclidean distance	The course of clusters agglomeration															
0.14	O ₂	O ₅														
0.17	O ₈	O ₁₄														
0.20	O ₃	O ₁₃														
0.32	O ₆	O ₁₂														
0.33	O ₄	O ₁₆														
0.46	O ₈	O ₁₄	O ₁₀													
0.50	O ₁	O ₄	O ₁₆													
0.50	O ₆	O ₁₂	O ₉													
0.57	O ₃	O ₁₃	O ₈	O ₁₄	O ₁₀											
0.70	O ₁₁	O ₁₅														
0.73	O ₁	O ₄	O ₁₆	O ₂	O ₅											
1.12	O ₇	O ₁₁	O ₁₅													
1.42	O ₁	O ₄	O ₁₆	O ₂	O ₅	O ₃	O ₁₃	O ₈	O ₁₄	O ₁₀						
2.16	O ₁	O ₄	O ₁₆	O ₂	O ₅	O ₃	O ₁₃	O ₈	O ₁₄	O ₁₀	O ₇	O ₁₁	O ₁₅			
3.29	O ₁	O ₄	O ₁₆	O ₂	O ₅	O ₃	O ₁₃	O ₈	O ₁₄	O ₁₀	O ₇	O ₁₁	O ₁₅	O ₆	O ₁₂	O ₉

To determine the individual clusters and corresponding to them voivodships the critical value $W_k = 0.77$ was used, which allowed to achieve the following five clusters:

- 1st cluster: Subcarpathian, Silesia, Lesser Poland,
- 2nd cluster: Greater Poland, Pomeranian,
- 3rd cluster: Masovian,
- 4th cluster: Podlaskie, Warmian Masovian, Opole, Świętokrzyskie, Lublin,
- 5th cluster: Łódź, Kuyavian Pomeranian, West Pomeranian, Lubusz, Lower Silesian.

The next step was to analyse the individual clusters, which can be performed by calculating the ratio of the arithmetic average of each cluster X_i to average group X , as shown graphically in Figure 2. Calculated ratio X_i/X higher than one indicates a domination of a specific parameter in a given cluster [9].

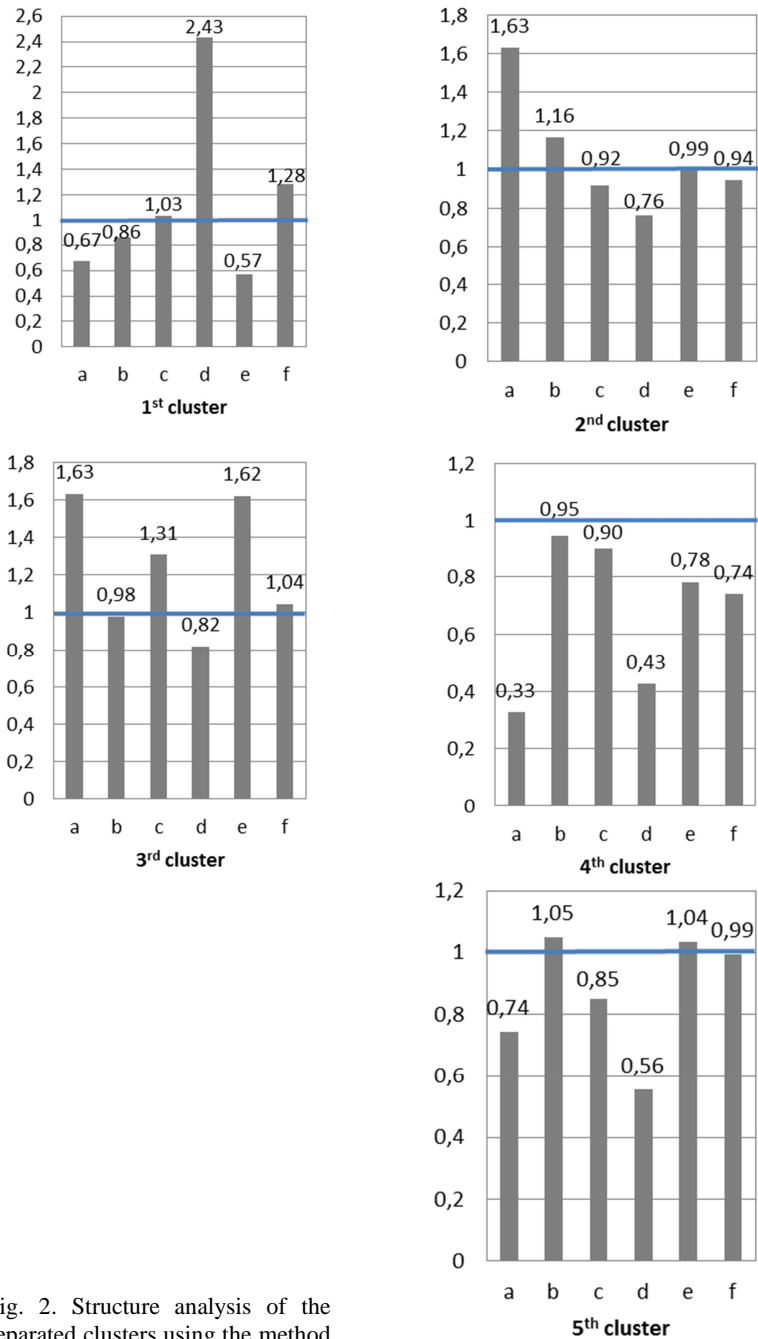


Fig. 2. Structure analysis of the separated clusters using the method of arithmetic averages

Rys. 2. Analiza struktury wydzielonych skupień za pomocą metody średnich arytmetycznych

The dominant role in the process of grouping played a characteristic that describes the average increase in length of the gas supply network (cluster: 2nd and 3rd), growth of the gas network in comparison to the first year of observation (cluster: 2nd and 5th), number of gas connections per 1 km of gas pipe (cluster: 1st and 3rd). The length of the network per unit area played an important role only in the process of grouping the first cluster, while the intensity of network loading in creating clusters 3rd and 5th, characteristics describing inhabitants having access to the gas system dominated in clusters 1st and 3rd.

3. Conclusion

The proposed analysis of the differentiation in the development of gas pipeline infrastructure using the tools of multidimensional comparative analysis allowed to show the diversity of characteristics indicating which region is characterized by a high level of gas pipeline infrastructure development.

The structure of separated clusters, taking into account the characteristics of dominant is as follows:

- about creation of 1st cluster high length of the network per unit area ($13.07 \text{ m}\cdot\text{ha}^{-1}$) decided, with, at the same time, a very low rate, among all clusters, concerning intensity of network loading $48 \text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$,
- high growth of the gas network decide about forming 2nd cluster of about 143%,
- the most differentiating province is the single element cluster (3rd cluster), which is the most developed in terms of economic, resulting in the development of gas infrastructure, which affects the highest, in comparison to other of voivodships, index of the average increase in length of the gas network, number of gas connections per 1 km of gas pipe ($24.6 \text{ no}\cdot\text{km}^{-1}$) and the highest intensity of network loading amounting $136.33 \text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$, which undoubtedly is associated with a high population density,
- individual indicators are at the average level in the 4th cluster, except for the rate of growth of the gas network, which is close to one, the average value for the voivodships in this concentration is 116%,
- key indicators describing the development of gas infrastructure of voivodships forming the 5th cluster are: growth of the gas network (129%), intensity of network loading ($87.18 \text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$), inhabitants having access to the gas system (51%).

Comparison criterion may be any of the parameters characterizing the development of infrastructure.

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] Dilaver O., Dilaver Z., Hunt L.C.: What drives natural gas consumption in Europe? Analysis and projections. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, (19)2014, 125-36.
- [3] Franco A., Fantozzi F. Analysis and clustering of natural gas consumption data for thermal energy use forecasting, *Journal of Physics Conference Series*, 655, 2015, 012020, DOI: 10.1088/1742-6596/655/1/012020.
- [4] Główny Urząd Statystyczny, Ochrona środowiska, *Roczniki statystyczne za lata 2005-2014*.
- [5] Gorczyca M. Statystyczne wskaźniki energetyczne 27 krajów wchodzących w skład Unii Europejskiej (UE), *Energetyka*, Nr 5/2013.
- [6] Gorczyca, M. Stan rozwoju gazownictwa - statystyczne spektrum, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, Nr 5/2010.
- [7] Huang Z., Yu H., Peng Z., Zhao M., 2015. Methods and tools for community energy planning: A review. *Renew. and Sust. Energy Reviews*, (42)2015, 1335-1348.
- [8] Hellwig Z.: *Zarys ekonometrii*, PWE, Warszawa 1973.
- [9] Marek T.: *Analiza skupień w badaniach empirycznych*. PWN, Warszawa 1989.
- [10] Ozturk I., Al-Mulali U.: Natural gas consumption and economic growth nexus: Panel data analysis for GCC countries, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, (51)2015, pp. 998-1003.
- [11] Panek T., *Statystyczne metody wielowymiarowej analizy porównawczej*. SGH, Warszawa 2009.
- [12] Pietrucha-Urbanik K, Tchórzewska-Cieślak B. Water Supply System operation regarding consumer safety using Kohonen neural network; in: *Safety, Reliability and Risk Analysis: Beyond the Horizon – Steenbergen et al. (Eds)*, Taylor & Francis Group, London 2014: 1115-1120.
- [13] Ward J. H.: Hierarchical grouping to optimize an objective function, *Journal of the American Statistical Association*, 58(3)1963, pp. 236-244.
- [14] Urbanik M., Tchórzewska-Cieślak B.: Ecological aspects of the natural gas use, *Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury JCEEA*, t. XXXII, z. 62 (1/15), s. 409-417. DOI: 10.7862/rb.2015.29.
- [15] Urbanik M., Tchórzewska-Cieślak B.: Podstawy analizy niezawodności funkcjonowania instalacji wykorzystujących gaz ziemny, *Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury JCEEA*, t. XXXII, z. 62 (1/15), s. 419-431. DOI: 10.7862/rb.2015.30.

OCENA ZRÓŻNICOWANIA WOJEWÓDZTW POLSKI ZE WZGLĘDU NA POZIOM ROZWOJU INFRASTRUKTURY GAZOCIĄGOWEJ Z ZASTOSOWANIEM WIELOWYMIAROWEJ ANALIZY PORÓWNAWCZEJ

Streszczenie

W pracy przedstawiono zróżnicowanie poziomu infrastruktury gazociągowej w województwach polski. Dla zobrazowania tego zróżnicowania zastosowano metodę Analizy Skupień, sporządzoną na podstawie analizy danych statystycznych zebranych przez Główny Urząd Statystyczny (GUS). W celu przeprowadzenia wstępnej procedury klasyfikacji poszczególnych województw względem oceny rozwoju infrastruktury gazociągowej zastosowano klasyfikację liniową polegającą na wyznaczeniu miernika syntetycznego, będącego średnią wartości zmiennych składowych, według którego uporządkowano województwa. W celu oszacowania odległości między skupieniami wykorzystano analizę wariancji, z zastosowaniem metody Warda. Analizę przeprowadzono na podstawie następujących wskaźników: średni wzrost długości sieci gazociągowej (średnio dla wszystkich województw 164.2 km), wzrost sieci gazociągowej w porównaniu do pierwszego roku obserwacji (123%), liczba przyłączy na 1 km gazociągu ($18.87 \text{ no}\cdot\text{km}^{-1}$), długość sieci przypadająca na jednostkę powierzchni ($5.37 \text{ m}\cdot\text{ha}^{-1}$), intensywność obciążenia sieci gazociągowej ($84.15 \text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$), mieszkańcy mający dostęp do systemu gazociągowego w % ludności ogółem (51.33%). W wyniku analizy wyodrębniono pięć skupień. Wyznaczono wartość krytyczną i dokonano segregacji poszczególnych skupień z uwzględnieniem dominujących parametrów.

Słowa kluczowe: analiza skupień, wskaźniki wyposażenia w sieciach gazowych, wielowymiarowa analiza porównawcza

Przesłano do redakcji: 29.01.2016 r.

Przyjęto do druku: 1.06.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.134

Marek URBANIK¹

CONSEQUENCES OF FAILURE OF GAS NETWORK INFRASTRUCTURE

Ecology today is becoming increasingly important. Increasing air pollution and greenhouse gas emissions make the search for such fuels which will not have such a negative effect on the environment as the fuel use currently - mainly coal. At present it seems that the substitute fuel can be gaseous fuels (propane-butane, methane). Their combustion is less harmful to the environment and their transport is relatively not very complicated. As it turns out, the use of gas is increasing in industry, automotive, heating systems (power plants that operate in the so-called co-generation). The increase in demand carries continuous development of gas infrastructure, which in turn may increase probability of failure. As a conclusion of this article, taking into account all the construction disasters induced by the gas, the number of such failures is relatively small. It should be remembered, that the disaster caused by gas explosion may cause very large material and human losses. Not without significance is the impact of gas leakage, eg. of the pipeline on the environment. An example is the methane which is a greenhouse gas, less persistent in the air, but much more active than CO₂. The article presents selected disasters associated with natural gas or propane-butane and the impact of these gases on the environment because these fuels are most commonly used in most sectors of the economy.

Keywords: natural gas, gas explosion, gas combustion, the failure of the gas network

1. Introduction

Currently, natural gas is a source of energy, which is used more intensively. This fuel is increasingly used in many areas of the economy, e.g. automotive, energy, households. Therefore the need for a power source is growing and, in turn, it causes the necessity to expand the network of gas pipelines.

Another factor determining the increased interest in fuel gas is ecology. The increasing pollution and greenhouse effect deepening stimulates the slow but systematic shift away from petroleum based on fuels and coal. In comparison with these fuels, gas seems to be a good alternative. Combustion gas is practical-

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Marek Urbanik, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17 8651408, marekurbanik@vp.pl

ly without solid particles and less harmful compounds. On the other hand failures of gas distribution system can cause damage of property and loss of life. Leaking gas negatively affects the local environment and the long uncontrolled leakage of gas appear over large areas [3]. The current trend is observed in the gas supply is steady decline in incidents involving deaths and injuries in the last twenty years [10, 12]. But still large part of the network was built almost seventy years ago, such situation can cause numerous accidents, as gas explosion or result in human losses or injuries [11]. As to decrease the number of failure many action and programme were implemented, but still there is great urgency of continuous efforts in this field.

Increasing length of gas pipelines increases the probability of their failure. In turn, the gas pipeline failure generally causes more or less of gas leakage, which results in various consequences - as described in this work.

2. The consequences of the gas leak

The consequences of gas leakage depends mainly on the place of leakage (open or closed space) and the amount of "escaping" gas per unit time. Also it is not without significance the size of the mouth (the gap) through which the gas escapes. One of the most common consequences of an uncontrolled leakage of gas is its ignition and then explosion, but certain conditions must be met before it happens. The main factor necessary for the occurrence of escaping gas ignition is its concentration, which in case of methane ranges from 4.9% to 15.4% [13]. The outbreak of the greatest strength occurs when the concentration of methane is approx. 9% [5, 14]. Above or below the level of the explosive force decreases, since the smaller the gas concentration, it simply not enough to cause the gas ignition and when more gas is explosive force is reduced by small amount of oxygen, which is necessary to ignite the gas. Second factor after the gas concentration is the source of ignition. In this case the autoignition temperature is important, which for the methane is 535⁰C [13]. If we heat the gas to this temperature, it will ignite without a direct source of fire. In case of pipelines such temperature practically does not occur. Gas escaping from a leaky pipeline ignites mainly from the source of fire beginning from sparks (e.g. a spark in electrical devices or a spark caused by hitting of metal on metal) and ending with the open source of fire or flame.

The combustion of natural gas as other gases may occur in a controlled and uncontrolled way:

- controlled combustion (i.e. diffusional) involves diffusion of the oxidant gas,
- uncontrolled combustion (i.e. kinetic) depends on the rate of reaction of the oxidant and the combustible body, the faster the reaction the more violent combustion.

Of course, the combustion kinetics is associated with a greater loss [13]. The consequences of a gas explosion may be different, they depend on the com-

explosions occur mostly when gas flows into enclosed spaces, where it quickly reaches explosive levels. Although pipelines with medium and low pressure do not pass directly through the buildings, it happens that escaping gas is one of causes of explosion in the buildings where sometimes there is no gas installation. Scheme of such activity is following: through damaged pipeline gas penetrates into the surrounding of gas pipe. Often (especially in large urban areas) next to the gas pipelines are sewer lines, water supply systems, electrical and ICT systems. Gas escapes from the pipeline in the simplest way and goes to the channels, which are pipes of above mentioned infrastructure delivering media to the buildings. From these channels gas usually goes to the cellars of buildings, where its concentration slowly but steadily increases. It should be remembered that the amount of gas flowing into the building in time unit depends on the speed of a gas leak, distance from pipeline to the building and from the way which gas enters building (cross section of channels and their number). Potentially, from the damaged pipeline more gas may enter the building in the winter because in the frozen ground there are slots through which gas slowly but regularly flows into the building. The cellars are relatively infrequently used rooms so the incoming gas is not immediately identified. In addition, vigilance is reduced in buildings where the gas is not restored. When the gas concentration reaches an appropriate level, just a minor source of ignition can cause the explosion (eg. a spark in the light switch) [9].

Examples of selected disasters associated with the explosion of gas in buildings to which gas got from the depressurized pipeline:

- February 1, 1976 - Gdańsk Siedlce, a gas explosion in a two-storey building, which had no gas installation. The cause of the explosion was that gas got through leaky pipeline from other building. The source of ignition was the inclusion of lighting in the basement of one resident. As a result of the incident 17 people were killed and 11 injured [15],
- February 22, 1982 - Łódź, a gas explosion in one storey building, which destroyed the entire ground floor, saving load-bearing walls. The cause of failure was the passage of gas from a corroded pipeline, which was located outside the building. Gas got into the basement through the heat pipe. The incident killed two people, while 10 were injured [15],
- Russia (near the Urals), a gas leak from a damaged pipeline, which was located next to the railway line. Gas escaping from a pipeline for a long time contributed to the creation of the zones next to the track where the gas concentration reached the explosive value. The explosion happened when two trains (carrying approx. 1200 passengers) passed near the damaged pipeline. The cause of the explosion were sparks coming from under the wheels of trains. The crash killed approx. 645 people and twice as many were injured. The cause of a leakage was damage of the gas pipeline made by the excavator in 1985. Over the years a leak in the pipeline became bigger and led to a substantial gas leak causing explosion [4],

- February 15, 1979 - Warsaw, one of the biggest disasters in Poland triggered by the explosion of natural gas, the explosion happened in the Rotunda PKO. It is worth to mention that the building of the Rotunda was not connected to the gas network. The reason for getting the gas to the building and consequently the explosion was unsealing the underground pipeline that runs near the Rotunda from which the gas got into the building through telecommunication channels and there after reaching the explosive concentration exploded. The incident killed 49 people, while 135 were injured. The building was destroyed in 70% [6].

From the above examples, it can be seen that the depressurized pipeline could cause a gas explosion inside the building. As indicated earlier, gas under certain conditions, may cause explosion or burn with flame. The burning flame of gas does not occur as rapidly as an explosion, causing some minor effects but also severe. Gas flame burns when the environment to which gas escapes does not allow to achieve concentrations of explosive, it usually happens in open spaces. During flame burning a shock wave does not occur, but is accompanied by a phenomenon also dangerous. The point is that the gas coming out of the technical equipment, e.g. gas pipeline tends to move to relatively long distances in the form of cloud.

When such a "migrating" cloud of gas encounters the source of fire, e.g. a spark from the chimney, it starts to burn. In this way a fire caused by a gas leak may spread long distances and cover large areas that are difficult to control. An example of such a disaster associated with the gas flame burning can be a fire that took place on 14 November 2013 in Jankowo Przygodzki. According to the source [15] the cause of the explosion was faults made during the construction of a new gas pipeline next to the existing one. According to the experts during the construction of the new pipeline the excavated earth was improperly stored. The excavated earth was stored too close to the "old" gas pipeline, also heaped escarpment was too high, resulting that the pipeline slipped into the pit prepared for the new pipeline. Landslide caused unsealing the pipeline. The second fault, which led to a leakage of the gas pipeline was a defective weld made at joining two parts of the pipeline [15]. As a result, the large amount of gas leaked into the atmosphere, which at first exploded and then started a fire. Some sources say that the spread of fire was caused by a gas cloud which moved from the site of leakage to the buildings. After reaching a sufficient concentration a cloud was ignited by, for example, a spark from the chimney and caused a fire [8]. The fire destroyed 10 houses and 2 outbuildings, 2 people were killed (men working on the construction of a new gas pipeline), while 13 people were injured.

How destructive force can be gas explosion shows an example of catastrophe, that occurred in San Juanico on 19 November 1984. In this case, the type of gas which exploded was LPG, a mixture of propane (80%) and butane (20%). According to experts, the investigation established a probable disaster scenario, the crash was initiated by a rupture of pipeline by which LPG flew.

Due to the fact that the gas is heavier than air, the "cloud" of gas began to spin on the ground and then was ignited by flare in the form of the so called candle firing the gas excess. The burning warmed the gas tanks of LPG, which under the influence of high temperature were damaged. 15 out of 48 tanks were destroyed, their weight was 20 tons. Those tanks as a result of the explosion were transferred to the distance from 100 to 1000 meters, which contributed to the damage outside the plant.

The four spherical tanks with a capacity of 1500 m³ (containing LPG in the liquid state) as a result of the explosion turned into fireballs with a diameter of 200-300 meters, which burned for approx. 20 seconds. Burning drops of liquid gas from the burning tanks moved for long distances, thus creating a fiery rain. The force of the blast, created as a result of temperature increase, caused that from the burning tanks besides burning gas also the fragments of tanks, weighing from 10 to 40 tones, were thrown out and have been found even at a distance of approx. 900 meters from the blast site. The explosion killed 550 people and injured more than 2000. This catastrophe is now considered as one of the biggest and most tragic disasters caused by gas explosion [4].

3. Environmental pollution

Leaking gas from depressurized pipeline or other device for gas transport or storing not only causes an explosion and fire but also environmental pollution or ecological disasters. Natural gas contains almost 98% of methane, which is a greenhouse gas approx. 23 times more effective than CO₂.

However, it should be noted, that the impact of methane (which leaked from the pipeline) on the greenhouse effect is negligible, the reason for this is relative small amounts of methane in the air.

On the other side, escaping natural gas in considerable amounts can cause serious pollution of the local environment. Excessive amounts of methane in the air can cause nausea, headache or respiratory irritation. By displacing oxygen from the air by methane, the excessive concentration of the gas can lead to suffocation.

An example of an environmental disaster associated with natural gas is uncontrolled gas leak which took place at the end of 2015 in California. In this case, the gas leaked from a bed in Porter Ranch. Within one day, into the atmosphere got nearly two million cubic meters of methane. Elevated concentrations of methane in the air has caused the deterioration of the health of the local population. People complained about headaches, dizziness and problems with the respiratory system. As a result of leakage of such a large amount of gas the local authorities declared a state of emergency and the evacuation of the population. Escaping gas also had a devastating impact on the environment.

As estimated by experts, escaping methane only in one day caused such negative effects as emission of approx. 7 million cars [7]. It is worth to mention about the consequences of the gas leak from a gas pipeline located under water.

Unfortunately, the current state of the consequences of the impact of methane on the underwater world is not fully known. However, it was found that natural gas in excessive concentration in water is toxic for living organisms. The large fish sensitivity to methane is observed, the gas paralyses their nervous system. In places where gas leakage occurs, the extinction of aquatic organisms is observed.

4. Disasters caused by gas explosion in numbers

Building catastrophe is not intentional, violent destruction of the object or its part [16]. The statistics of construction disasters in different years was developed on the base of the literature [15, 17].

In the years 2004-2014 the most construction disasters caused by gas explosion occurred in 2008 (of about 1 113 disaster), while the smallest number of disasters were recorded in 2005 - only 132 (Figure 2).

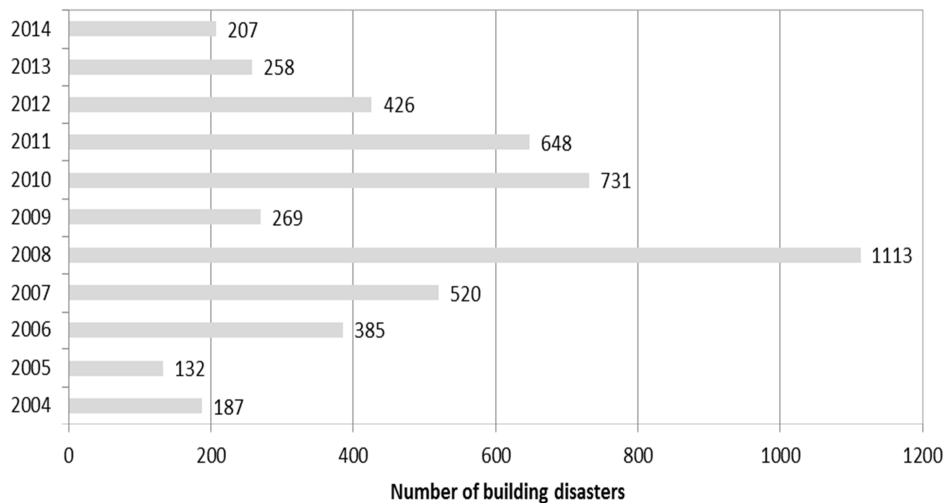


Fig. 2. The total number of building disasters in the years 2004-2014, developed on the basis of [15, 17]

Rys. 2. Liczba wszystkich katastrof budowlanych spowodowane wybuchem gazu w latach 2004-2014, opracowano na podstawie [15, 17]

In case of the construction disasters caused by gas the highest number was recorded in 2013 - 30, while the smallest number of catastrophes involving gas was in 2004, only 8 (Figure 3).

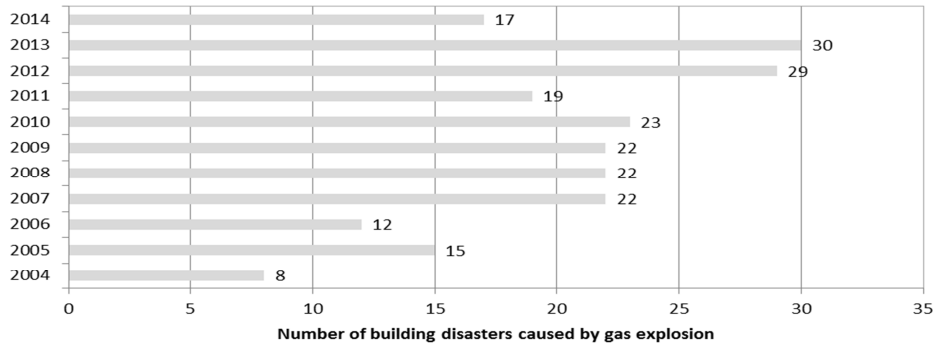


Fig. 3. The total number of building disasters caused by gas explosion in the years 2004-2014, developed on the basis of [15, 17]

Rys. 3. Liczba wszystkich katastrof budowlanych spowodowanych wybuchem gazu w latach 2004-2014, opracowano na podstawie [15, 17]

Taking into account the gas as a factor causing the disaster construction the gas type should be taken into account (Figure 4). Considering only the construction disasters in which the gas was the cause of the disaster it clearly states that natural gas caused less disasters than in the case of propane-butane. The explosion of propane-butane caused many catastrophes in 2012 up to 22, while natural gas caused the most catastrophes in 2013, only 13.

Almost every catastrophe is associated with injures or the death of people. The comparison between the number of people who lost their lives or were injured in all the catastrophes and in the catastrophes caused by gas is shown in Figures 5-6.

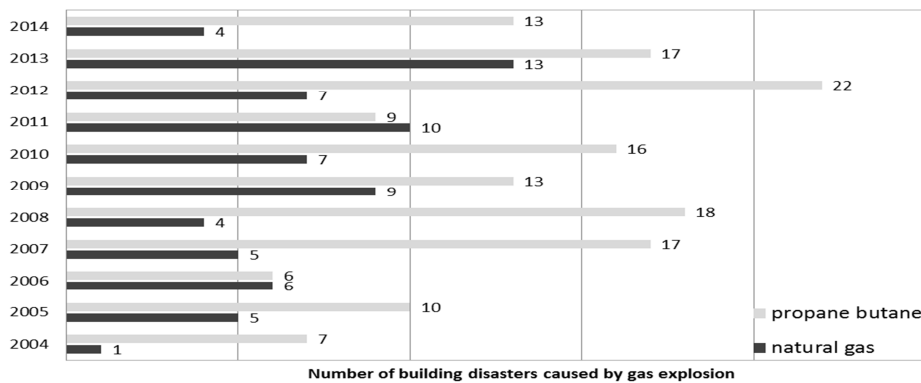


Fig. 4. The total number of building disasters caused by gas explosion with division into natural gas and propane-butane in the years 2004-2014, developed on the basis of [15, 17]

Rys. 4. Liczba wszystkich katastrof budowlanych spowodowanych wybuchem gazu z podziałem na gaz ziemny i propan-butan w latach 2004-2014, opracowano na podstawie [15, 17]

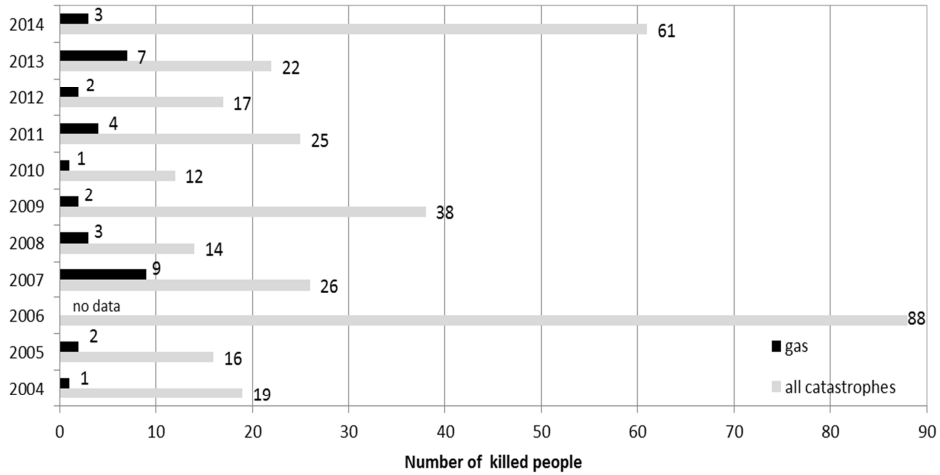


Fig. 5. The number of people killed in all the catastrophes and in the catastrophes caused by gas in the years 2004-2014, developed on the basis of [15, 17]

Rys. 5. Liczba osób zabitych we wszystkich katastrofach i tych wywołanych gazem w latach 2004-2014, opracowano na podstawie [15, 17]

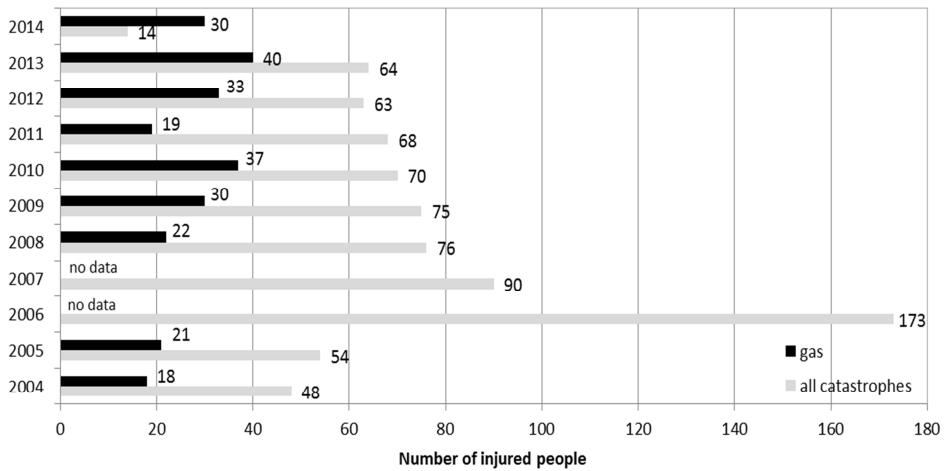


Fig. 6. The number of people injured in all catastrophes and in the catastrophes caused by gas in the years 2004-2014, developed on the basis of [15, 17]

Rys. 6. Liczba osób rannych we wszystkich katastrofach i tych wywołanych gazem w latach 2004-2014, opracowano na podstawie [15, 17]

Analysing Figures 5 and 6 it can easily be seen that the number of people injured in the catastrophes caused by gas is relatively small compared with other catastrophes. However, the catastrophes related to gas are more spectacular and more frequently publicized by the media than the others.

5. Conclusion

In general, disasters, also those associated with gas, are caused by not one but several consecutive events. The gas failure can be caused by fault at design or installation, which connected with the improper use can lead to a gas leak. Occasionally, it happens that uncontrolled gas leak is caused intentionally by humans, e.g. by suicide or gas theft. The above analysis shows that much less construction disasters are caused by natural gas than by liquid gas (propane-butane). It may be related to the properties of gas. Natural gas is lighter than air and in the case of leakage rises upwards and enters the ventilation systems. It should also be remembered that the methane gas to households is delivered through a network of pipelines. In the case of propane-butane gas is heavier than air and ventilation system instead gathers on the substrate. Propane-butane in contrast to methane into the household is supplied in cylinders. These cylinders often are connected by people not having proper qualifications and hence more disasters are caused by this type of gas. In order to minimize the failure probability of gas distribution system various activities should be taken. These activities can be divided into active, that are intended to prevent crashes (or reduce the risk of their occurrence) and passive, which task is to minimize the failure consequences when it happens. Another example of safety measures, which should be used as to protect before the failure is the use of new materials to build devices of gas distribution system and better protection them against corrosion. Therefore as to protect and minimize the consequences of failure of gas network infrastructure active development of new procedures from the design stage through to gas infrastructure operation should be implemented.

Literature

- [1] Bjerketvedt D., Bakke J.R., Wingerden K.: Gas explosion handbook, ver. 1.2, Bergen, 1993.
- [2] Chyży T.: Wybuch gazu w budynkach mieszkalnych. Wybuch wentylowany - Biuletyn WAT, vol. LXIII, Nr 3/2014, s. 159-173.
- [3] Hasan F., Iqbal J.: Consequential rupture of gas pipeline, Engineering Failure Analysis, Vol. 13, 2006, pp. 127-135.
- [4] <http://archiwum.ciop.pl/18388.html> - Serwis nt. przeciwdziałania poważnym awariom przemysłowym [dostęp 10.01.2016 r.].
- [5] <http://cza.republika.pl/zagrozenie%20metanowe.htm> [dostęp 10.01.2016 r.].
- [6] <http://www.polskieradio.pl/39/156/Artykul/782575,Wybuch-w-Rotundzie-PKO-najwieksza-katastrofa-w-powojennej-historii-Warszawy> [dostęp 10.01.2016 r.].
- [7] <http://www.tvp.info/23494104/katastrofa-ekologiczna-w-kalifornii-wyciek-metanu-porownywalny-z-emisja-spalin-kilku-milionow-samochodow> - Reuters, IAR, TVP Info, Los Angeles Daily News [dostęp 15.01.2016 r.].
- [8] http://wyborcza.pl/1,76842,14962145,Dlaczego_w_Janikowie_wybuchl_gaz__To_nie_byl_pierwszy.html - Dlaczego w Janikowie wybuchł gaz? To nie był pierwszy taki wypadek - Glubiak G., Żytnicki P., Lehman A. [dostęp 10.01.2016 r.].

- [9] Majid Z.A., Mohsin R., Yaacob Z., Hassan Z.: Failure analysis of natural gas pipes, *Engineering Failure Analysis*, Vol. 17, 4/2010, pp. 818-837. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2009.10.016.
- [10] Mannan S.: *Lees' Loss Prevention in the Process Industries, Hazard Identification, Assessment and Control*, Third Edition, Elsevier Butterworth-Heinemann, Burlington 2005.
- [11] Montiel H., Vilchez J.A., Arnaldos J., Casal J.: Historical analysis of accidents in the transportation of natural gas, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 51, 1-3/1996, pp. 77-92. DOI: 10.1016/S0304-3894(96)01819-5.
- [12] Ramirez-Camacho J.G., Pastor E., Casal J., Amaya-Gomez R., Munoz-Giraldo F.: Analysis of domino effect in pipelines, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 298, 2015, pp. 210-220. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2015.05.033.
- [13] Sawicki T.: Wybuchy przestrzenne, *Bezpieczeństwo pracy*, Nr 11/2005, s. 22-25.
- [14] Shalaby H.M., Riad W.T., Alhazza A.A., Behbehani M.H.: Failure analysis of fuel supply pipeline, *Engineering Failure Analysis*, Vol. 13, 5/2006, pp. 789-796. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2005.02.004.
- [15] Szer J.: Katastrofy budowlane spowodowane wybuchem gazu - XXVII Konferencja Naukowo-Techniczna-Awarie Budowlane 2015, s. 121-130.
- [16] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane art. 73 ust.1 (Dz.U. 1994 nr 89, poz. 414).
- [17] www.gunb.gov.pl [dostęp 8.01.2016 r.].

SKUTKI AWARII INFRASTRUKTURY GAZOWEJ

Streszczenie

Ekologia w dzisiejszych czasach nabiera coraz większego znaczenia. Rosnące zanieczyszczenie powietrza i emisja gazów cieplarnianych zmusza do poszukiwań takich paliw, które nie będą miały tak negatywnego skutku na środowisko jak paliwa obecnie stosowane – głównie węgiel i paliwa ropopochodne. Obecny trend pokazuje, że paliwem zastępczym mogą być paliwa gazowe (propan-butan, metan). W wyniku spalania emitują mniej szkodliwych związków do środowiska a ich transport nie jest stosunkowo zbyt skomplikowany. Jak się okazuje, paliwa gazowe zajmują coraz większe zastosowanie w przemyśle, motoryzacji, ogrzewnictwie (elektrociepłownie, które pracują w tzw. kogeneracji). Wzrost zapotrzebowania niesie za sobą ciągły rozwój infrastruktury gazowej, co z kolei może zwiększyć prawdopodobieństwo awarii. Jak wynika z niniejszego artykułu, biorąc pod uwagę wszystkie katastrofy budowlane udział tych wywołanych gazem jest stosunkowo mały. Należy jednak pamiętać, że katastrofa spowodowana wybuchem gazu może nieść za sobą bardzo duże straty materialne i ludzkie. Nie bez znaczenia jest wpływ wyciekającego gazu np. z gazociągu na środowisko. Przykładem jest metan, który jest gazem cieplarnianym, co prawda krócej utrzymującym się w powietrzu ale dużo bardziej aktywnym niż CO₂. W artykule przedstawiono wybrane katastrofy związane z gazem ziemnym lub propanem-butanem oraz wpływ tych gazów na środowisko, ponieważ paliwa te są najczęściej stosowane w większości dziedzin gospodarki.

Słowa kluczowe: gaz ziemny, wybuch gazu, spalanie gazu, awaria sieci gazowej

Przesłano do redakcji: 29.11.2015 r.

Przyjęto do druku: 1.06.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.135

Paweł WAJSS¹
Mariusz FILIPOWICZ²
Wiktor WESOŁOWSKI³

KONCENTRACJA BEZPOŚREDNIEGO PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO W UKŁADACH NADAŻNYCH Z WYKORZYSTANIEM NIEOBRAZUJĄCYCH ELEMENTÓW OPTYCZNYCH

Niniejszy artykuł stanowi wprowadzenie w dziedzinę nieobrazujących układów optycznych wykorzystywanych w układach nadażnych za pozornym ruchem Słońca; dokonuje przeglądu aktualnego stanu wiedzy i techniki z tej dziedziny oraz przedstawia konkretny przypadek wykorzystania soczewki Fresnela w układzie nadażnym o kształcie sferycznym. W pierwszej części opisano zagadnienie jakim jest refrakcja (załamanie) promieniowania słonecznego występujące w układach optycznych stosowanych m.in. w energetyce, w dalszej części dokonano analizy dostępnych dziś, w rozwiązaniach komercyjnych, nieobrazujących układów optycznych wykorzystujących soczewki Fresnela, w trzeciej, ostatniej, części przedstawiono metodologię wyznaczenia geometrii takiej soczewki dla układu optycznego o kształcie sferycznym, w celu jego zastosowania w urządzeniu nadażnym za pozornym ruchem Słońca przy jednoczesnej minimalizacji zjawiska aberacji sferycznej. W przeprowadzonych badaniach przyjęta została stała wysokość pierścienia (karbu) w zmienna dla dwóch zakresów zależnych od liczby pierścienia p . W pracy wykorzystano zjawisko załamania światła słonecznego występującego na granicy dwóch ośrodków o różnej gęstości (prawo Snell'a) przy czym na modelowanej soczewce występują dwa punkty załamania zarówno na zewnętrznej jak i na wewnętrznej (karbowanej) powierzchni. Przedstawione wyniki analizy zamodelowanego układu optycznego, w środowisku RayTracing, świadczą o poprawności wykonania programu obliczeniowego oraz o odpowiednim odwzorowaniu wyznaczonych parametrów w projekcie zrealizowanym w środowisku graficznym. Jak założono w projekcie położenie ogniska przypadło w środku (hemi)sfery czyli $f=R$.

Słowa kluczowe: Fresnel, soczewka, systemy energetyczne, technologie słoneczne

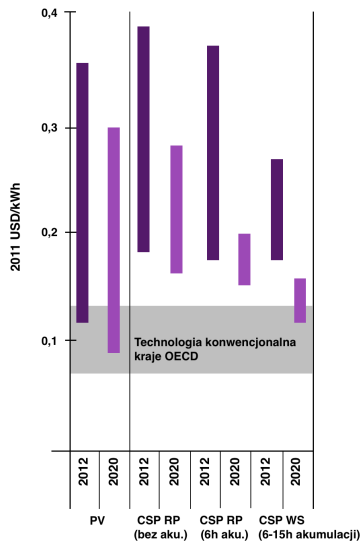
¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Paweł Wajss, Wydział Energetyki i Paliw AGH w Krakowie, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Krakow, tel. 12 617 34 28, wajss@agh.edu.pl

² Mariusz Filipowicz, WEiP AGH w Krakowie, , tel. 12 617 51 92, filipow@agh.edu.pl

³ Wiktor Wesołowski, WEiP, AGH w Krakowie, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Krakow

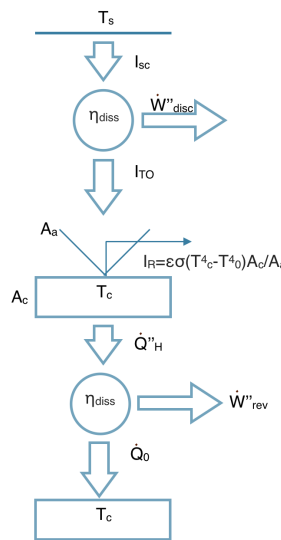
1. Koncentracja

Głównym wyznacznikiem w dziedzinie projektowania nowoczesnych rozwiązań energetycznych, również z branży odnawialnych źródeł energii powinien być czynnik ekonomiczny, tak aby rozwiązania te stały się rynkowo konkurencyjne. Już dziś w wybranych, najczęściej trudnodostępnych lub ubogich w infrastrukturę przesyłową regionach rozwiązania takie są konkurencyjne cenowo, niemniej w większości przypadków nadal występuje rozbieżność kosztowa między technologiami konwencjonalnymi a słonecznymi (w rozumieniu fotowoltaiki), co przedstawia Rys. 1 na korzyść tych drugich. Sprawność dostępnych obecnie na rynku paneli fotowoltaicznych dla $AM=1,5$ wynosi odpowiednio 15-19% dla krzemu monokrystalicznego (sc-Si) oraz 14-18% dla krzemu polikrystalicznego (pc-Si) dla warunków: temperatura 25°C oraz nasłonecznienie 1000 W/m^2 . Najwyższa, otrzymana laboratoryjnie, sprawność dla tego typu ogniw wyniosła 24,7% [1]. Technologie fotowoltaiczne drugiej generacji, do której zaliczamy m.in. ogniwa wytworzone w oparciu o krzem amorficzny (a-Si) cechują się jeszcze niższą sprawnością w granicach 5-8%. W celu zwiększenia sprawności układków opracowano wielowarstwowe ogniwa, w których każda z warstw „aktywizuje się” dla różnej długości fali, podwyższając sprawność konwersji do nawet 43,5%. Aktualnie osiągalna sprawność tego typu ogniw w rozwiązaniach komercyjnych wynosi 25-30% [1].



Rys. 1. LCOE (z ang. *Levelized cost of energy*) dla technologii słonecznych w skali przemysłowej, na podstawie [1]

Fig. 1. LCOE of solar systems, based on [1]



Rys. 2. Bilans egzergii dla układów słonecznych, na podstawie [2]

Fig. 2. Exergy balance of solar systems, based on [2]

Niestety ogniwo takie staje się przez to droższe, stąd duże nadzieje pokłada się w układach optycznych dokonujących koncentracji promieniowania słonecznego, a przez to zagęszczających strumień energii na mniejszej powierzchni. Korzyść z wykorzystania układu koncentracji promieniowania słonecznego wynika również z samego fizycznego rozpatrzenia zjawiska jakim jest konwersja promieniowania słonecznego na inną formę energii, rys. 2. Maksymalna możliwa praca jaką może wykonać układ (W_{rev}) przy dostarczeniu mu określonej energii (Ik) – egzergia – jest tym wyższa im wyższa jest temperatura absorbera (T_c) a straty układu są tym mniejsze im mniejsza jest jego powierzchnia (A_c). Wynika stąd, że wykorzystanie zjawiska koncentracji promieniowania słonecznego jest bardziej niż zasadne. Wyróżniamy dwie główne metody koncentrowania promieniowania słonecznego: układy optyczne z wykorzystaniem zjawiska refleksji (odbicia) oraz refrakcji (załamania). Znaczący rozwój tych pierwszych odbył się w przeciągu drugiej połowy XX w, doprowadzając do powstania licznych instalacji dużej skali, tzw. helioelektrowni, gdzie zjawisko odbicia następuje na heliostatach lub na trackerach o jednej osi obrotu (najczęściej w kształcie rynny), w której liniowy absorber umieszczony w ognisku odpowiedzialny jest za odprowadzenie ciepła do układu generacji energii elektrycznej. Systemy te są bardzo wrażliwe na precyzyjne ustawienie układu nadążnego, gdyż każda nieoptymalna pozycja skutkuje minięciem celu jakim jest absorber, a przez to znaczący spadek wydajności systemu. Dlatego dla mniejszych układów koncentrowania bezpośredniego promieniowania słonecznego prym ostatnich lat niosą systemy wyposażone w refrakcyjny układ optyczny, w którym wrażliwość na położenie Słońca nie jest tak wysoka. Do technologii tej zaliczamy soczewki Fresnela.

Wyróżniamy aktualnie dwa główne typy takich soczewek:

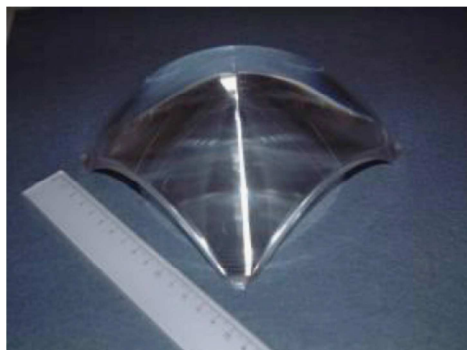
- SoG (z ang. Silicon on Glass) gdzie szkło, przeważnie kwarcowe, stanowi warstwę nośną dla silikonu optycznego uformowanego w mikropierścieniowe soczewki Fresnela. Pierścienie powstają w procesie polimeryzacji silikonu bezpośrednio na szkłe z wykorzystaniem formy o odpowiednim kształcie. Do zalet takiego rozwiązania zaliczyć można wysoką odporność na promieniowanie UV, nagłe zmiany temperatury oraz bardzo dobre przyleganie soczewki do powierzchni szkła a także większą odporność mechaniczną niż soczewki PMMA.
- Wykonane z wykorzystaniem polimetakrylanu metylu (PMMA). Soczewki takie charakteryzują się podobnymi właściwościami optycznymi jak szkło. Warto jedynie zwrócić uwagę na wyraźny spadek transmisji dla długości fal większych niż 1000 nm. Do zalet tego materiału można zaliczyć ich niską wagę oraz niewielki koszt produkcji z wykorzystaniem różnych form wtryskowych lub obróbki mechanicznej, co umożliwia wykorzystanie tego materiału w produkcji masowej. Materiał ten charakteryzuje się wysokim współczynnikiem transmisji dla światła widzialnego; posiada współczynnik załamania światła wynoszący 1,49 co jest wartością bardzo zbliżoną do szkła.

2. Nieobrazujące układy optyczne

Historia wykorzystania soczewek Fresnela w celach energetycznych sięga roku 1951, w którym to czasie Miller, Mcleod oraz Sherwood opracowali pierwszą na świecie plastikową precyzyjną soczewkę. Od tego momentu rozpoczął się dynamiczny rozwój tej technologii m.in. w dziedzinie systemów energetycznych. Obecnie soczewki Fresnela wykorzystywane są w wielu miejscach i procesach. Aktualnie na świecie dominującą pozycję co do liczby zajmują soczewki płaskie. Jedną z podstawowych cech takich soczewek jest płaska powierzchnia jednej ze ścian, przez co nie zachodzi na niej zjawisko załamania oraz (w praktyce znikomo) odbicia promieniowania słonecznego. Powierzchnią „roboczą”, która w odpowiedni sposób załamawyla promieniowanie słoneczne była powierzchnia - wyposażona w pierścienie (karby) o odpowiednim kształcie. W energetyce, gdzie funkcją celu jest maksymalizacja uzysku energetycznego, a jakość obrazu z układu optycznego nie ma znaczenia, badania zostały skierowane ku opracowaniu nowej technologii koncentracji. W roku 1965 odkryto, że zakrzywienie pierwszej powierzchni tak aby i ona stanowiła powierzchnię roboczą w procesie załamania światła zwiększa możliwy do uzyskania stopień koncentracji promieniowania słonecznego oraz umożliwia skrócenie ogniskowej układu. Aktualnie systemy takie dzieli się pod kątem stopnia koncentracji (C) i tak, dla $C \leq 10$ stopień koncentracji uznaje się jako niski; dla $10 < C \leq 100$ średni oraz dla $C > 100$ wysoki. Główną metodą wyznaczającą kształt takiej soczewki jest metoda opracowana przez Welforda i Winstona już w roku 1978 - „edge-ray principle”. Metoda ta uzależnia kształt soczewki od przebiegu przezeń promieni granicznych, przy czym warunkiem jest aby wszystkie promienie ze źródła trafiły we wcześniej zdefiniowany punkt lub powierzchnię (w naszym przypadku absorber). Jeżeli promienie graniczne trafiają w cel przyjąć można, że wszystkie promienie pośrednie, znajdujące się pomiędzy promieniami granicznymi również trafiają. Jeżeli by tak nie było to oznaczałoby to, że jeden z promieni pośrednich stał się nowym promieniem granicznym a wtedy koniecznym byłaby korekta kształtu układu optycznego.

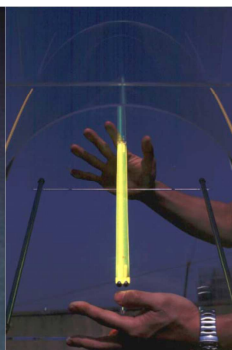
3. Aktualny stan wiedzy i techniki

W ostatnich latach powstały liczne prace badawcze pod kątem optymalizacji budowy wypukłych soczewek Fresnela o kształcie kopuły (z ang. dome shaped) oraz liniowych (z ang. linear convex shaped). Były również próby komercjalizacji tych technologii ale na chwilę obecną bez większych sukcesów. Przykłady nieobrazujących układów optycznych przedstawione są na rysunkach 3 i 4.



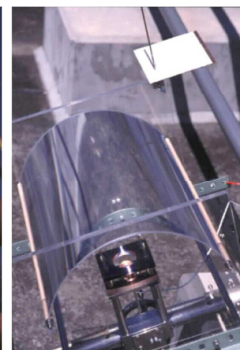
Rys. 3. Soczewka Fresnela o kształcie kopuły, $C=500$, na podstawie [3]

Fig. 3. Dome shaped Fresnel lens, $C=500$, based on [3]



Rys. 4. Liniowo wypukła soczewka Fresnela, na podstawie [4]

Fig.4. Linear convex shaped Fresnel Lens, based on [4]



W Katedrze Zrównoważonego Rozwoju Energetycznego Wydziału Energetyki i Paliw odbywają się prace badawcze nad wdrożeniem układu nadążnego o kształcie sferycznym. Aktualnie trwają prace nad układem hydraulicznym oraz optycznym. Z racji, iż soczewka o kształcie sferycznym obarczona jest aberracją sferyczną, tj. ogniska równoległej wiązki światła rozkładają się na osi optycznej a nie w jednym punkcie, kształt układu optycznego powinien być skorygowany poprzez odpowiednie (asferyczne) krzywizny pierścieni znajdujących się na drugiej, wewnętrznej płaszczyźnie urządzenia nadążnego.

4. Hemisferyczna soczewka Fresnela

Zakładając, że zewnętrzna jak i wewnętrzna powierzchnia soczewki Fresnela ma krzywiznę sferyczną o promieniu zewnętrznym $R=212$ mm i grubości ścianki $t=8$ mm, oraz przy założeniu, że promienie winny skupiać się w geometrycznym środku układu ($f=R$) koniecznym jest odpowiednie ukształtowanie pierścieni (karbów) w materiale w celu osiągnięcia zamierzonego efektu. Mając na uwadze, iż układ ma kształt sferyczny koniecznym jest wzięcie pod uwagę efektu załamania światła już na pierwszej (zewnętrznej) powierzchni, granicy ośrodków powietrze–materiał. Drugie zjawisko załamania zachodzi na drugiej, wewnętrznej, odpowiednio ukształtowanej (karbowanej) powierzchni, na granicy ośrodków materiał–powietrze. Materiałem w rozpatrywanym przykładzie jest PMMA o współczynniku załamania $n=1,49$. Dla uproszczenia geometrii założono stałą wysokość pierścienia (w), przy czym zmienia się dla dwóch zakresów i wynosi odpowiednio dla liczby pierścieni (p):

$$p <1-100>; w=1\text{mm},$$

$$p <101-150>; w = 2\text{mm}.$$

Mając na uwadze powyższe założenia, możliwym jest geometryczne wyznaczenie położenia wierzchołka pierścienia - punktu x w kartezjańskim układzie współrzędnych, jak na Rys. 5. W punkcie x zachodzi drugie zjawisko załamania promienia słonecznego. Każdemu punktowi x przypisać możemy jeden odpowiadający mu punkt x' , w którym to punkcie zachodzi pierwsze zjawisko załamania. W rezultacie obu tych procesów równoległa wiązka promieniowania słonecznego winna skoncentrować się w jednym punkcie, ognisku soczewki. Korzystając z prawa Snell'a wiemy, że:

$$\sin \alpha = n \sin \beta \quad (1)$$

oraz

$$n \sin(\alpha - \beta + \delta) = \sin(\delta + \epsilon) \quad (2)$$

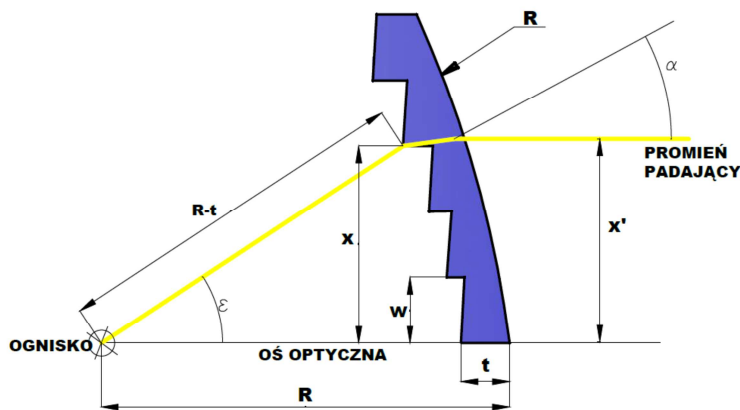
gdzie: α – kąt padania promienia słonecznego na płaszczyznę zewnętrzną,
 β – kąt załamania na zewnętrznej płaszczyźnie,
 δ – kąt odchylenia płaszczyzny pierścienia od osi pionowej,
 $\alpha - \beta + \delta$ – kąt padania promienia na wewnętrznej płaszczyźnie,
 $\delta + \epsilon$ – kąt załamania na wewnętrznej płaszczyźnie.

Ponadto możliwym jest określenie wartości kątów α i ϵ z funkcji geometrycznych:

$$\sin \alpha = \frac{x'}{R} \quad (3)$$

oraz

$$\sin \epsilon = \frac{x}{R-t} \quad (4)$$



Rys. 5. Poglądowy przekrój soczewki. Brak poprawnej skali

Fig. 5. Cross-section of the lens. Not to scale

W celu wyznaczenia odpowiednich wartości kątów δ dla każdego z pierścieni tak aby przechodzący przez niego promień został skupiony w naszym ognisku $f=R$ musimy rozwiązać następujące równanie:

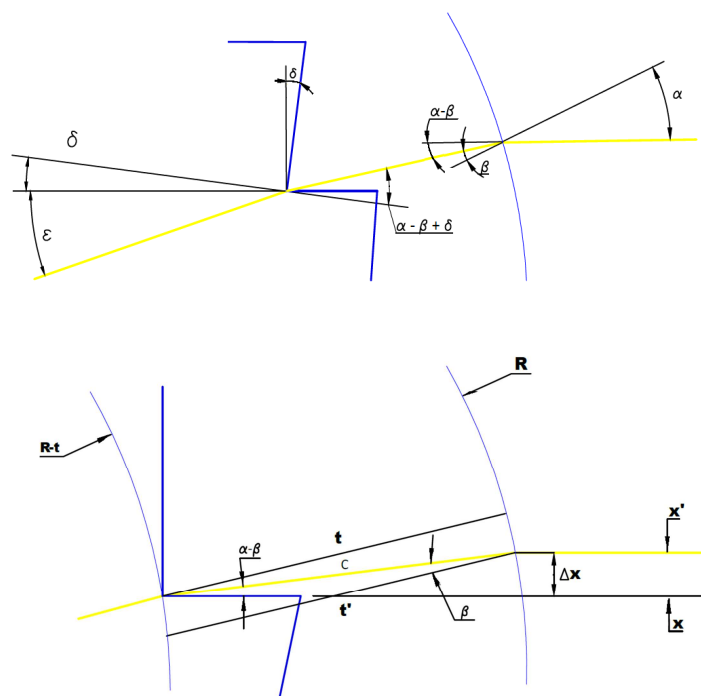
$$\tan \delta(x, x') = -\frac{n \sin \kappa(x') - \sin \epsilon(x)}{n \cos \kappa(x') - \cos \epsilon(x)} \quad (5)$$

Jak widać wartość kąta δ występuje w funkcji x oraz x' . Jak wykazano w równaniu (5) wartości x dla wybranych punktów soczewki, tj. dla wierzchołków pierścieni są znane. Koniecznym zatem jest wyznaczenie odpowiadających im współrzędnych punktów x' . Upraszczając geometrię możemy założyć, że:

$$\frac{t}{c} \approx \cos \beta \quad (6)$$

$$\frac{x' - x}{c} = \sin(\alpha - \beta) \quad (7)$$

gdzie: c – długość drogi promienia w soczewce, co przedstawia Rys. 6.



Rys. 6. Poglądowy przekrój soczewki. Brak poprawnej skali. Na podstawie: [5]

Fig. 6. Cross-section of the lens. Not to scale. Based on: [5]

Można zatem wyznaczyć funkcję:

$$x(x') = x' - t \frac{\sin \kappa(x')}{\cos \beta(x')} \quad (8)$$

gdzie:

$$\kappa(x') = \alpha(x') - \beta(x') \quad (9)$$

Z wykorzystaniem opracowanego na potrzeby projektu programu jesteśmy w stanie wyznaczyć odpowiednie wartości kątów δ dla każdego z pierścieni p .

5. Wyniki

W oparciu o powyższe założenia wyznaczono geometrię układu oraz zobrażowano go w programie graficznym. W kolejnym kroku dokonano analizy powstałego modelu soczewki w środowisku typu RayTracing (posługującym się metodą śledzenia promienia) w celu walidacji poprawności położenia ogniska oraz określenia stopnia koncentracji.

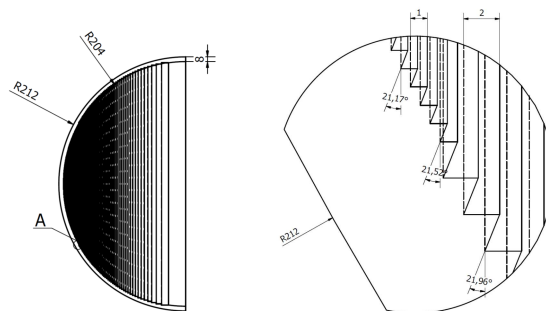
Na Rys. 7 dostrzegalna jest również różnica pomiędzy obszarem z $w=1\text{mm}$ oraz $w=2\text{mm}$. Jak widać na Rys. 8 wartość kąta δ jest zmienna i przyrasta wraz kolejnymi pierścieniami. Trend ten ulega zmianie na $p=113$ pierścieniu, gdzie δ osiąga maksimum $22,6075^\circ$.

Rysunek 9 przedstawia wyniki analizy w programie typu RayTracing. Widoczne jest, że ognisko soczewki znajduje się wewnątrz hemisfery. Świadczy to o poprawności wykonania modelu oraz przyjętych założeń. Dostrzegalne są również promienie, które nie padają w ognisku. Są to promienie, które z racji założenia stałej wartości w nie padają poprawnie na wewnętrzną płaszczyznę załamania a przez to nie posiadają odpowiedniej wartości kąta ε . W dalszej części pracy nad tym zagadnieniem dokonane zostanie zmodyfikowany algorytm, tak aby zmianie uległa geometria układu wprowadzając wartość w jako zmienną



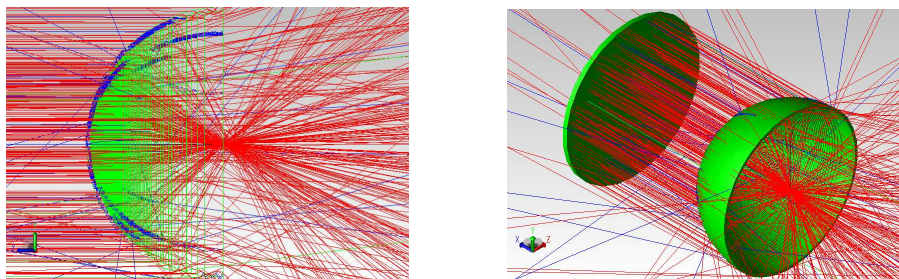
Rys. 7. Rzut izometryczny na soczewkę Fresnela

Fig. 7. Hemispherical shaped Fresnel Lens – isometric view



Rys. 8. Zwymiarowana soczewka Fresnela wraz z detalem

Fig. 8. Fresnel lens with detailed view



Rys. 9. Obraz soczewki Fresnela w środowiku typu RayTracing

Fig. 9. RayTracing analysis

w zależności od p , zmianie także ulegać będą wartości kąta nachylenia pierścienia (κ , zob. równanie (9)), tak aby ograniczyć nieefektywną powierzchnię soczewki czyli wszystkie powierzchnie równoległe do promieni padających.

Niniejsza praca jest częścią innowacyjnego projektu KIC InnoEnergy o akronimie „BioEcoMatic” oraz jest finansowana z tego właśnie projektu. Ponadto mgr inż. Paweł Wajss jest doktorantem Wydziału Energetyki i Paliw a jego prace współfinansowane są w ramach uczestnictwa w programie stypendialnym Doctus koordynowanego i zarządzanego przez Małopolskie Centrum Przedsiębiorczości.

Literatura

- [1] Renewable Power Generation Costs in 2012: An Overview, Report published Jan. 2013, IRENA The International Renewable Energy Agency.
- [2] C. Zamfirescu and I. Dincer How much exergy one can obtain from incident solar radiation? JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 105, 044911 (2009).
- [3] Akisawa A, Sato T, Miyazaki T, Kashiwagi T, Hiramatsu M. High concentration non-imaging Fresnel lens design with flat upper surface. In: Proceedings of the SPIE, vol. 6649. 2007. p. 1–8.
- [4] Leutz R, Suzuki A, Akisawa A, Kashiwagi T. Shaped nonimaging Fresnel lenses. Journal of Optics A: Pure and Applied Optics 2000;2(2):112–6.
- [5] Erisman F., Design of a plastic aspheric Fresnel lens with a spherical shape, Opt. Eng. 36(4) 988–991 (April 1997).

CONCENTRATION OF DIRECT SOLAR RADIATION IN THE SUN TRACKERS USING NONIMAGING OPTICS.

Summary

This article provides an introduction to the topic of non-imaging optics used in the sun trackers; gives a review of the current state of the art in this field and presents the specific case study of the spherical shaped Fresnel lens. The first part defines law of refraction of the solar radiation occurring in the optical systems used in ia. energy industry; in the second part analysis of

already commercialized optical systems based on non-imaging Fresnel lens is carried out; and in the third and final, section the design methodology for the spherical shaped Fresnel lens to avoid spherical aberration, dedicated to the sun trackers, is presented. The fixed values of height of the notches w are assumed, 1 mm for the notches p from 1 to 100 and 2mm for the notches p from 101 to 150. The final geometry of the lens is based on calculating solutions to Snell's law along the lens surfaces wherein refraction is occurring in two points simultaneously: outer and inner lens surfaces. Finally, analysis of the modeled lens in ray tracing environment has been carried out. Its results confirm correct calculation of lens geometry. As assumed the focal point has been observed in the center of hemisphere $f=R$.

Keywords: Fresnel, lens, energy systems, solar technologies

Przesłano do redakcji: 14.02.2016 r.

Przyjęto do druku: 1.06.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.136

Magdalena WARZYBOK¹

SYNTEZA ZEOLITÓW DO ADSORPCJI ACETONU

Celem prowadzonych badań było uzyskanie efektywnych adsorbentów do usuwania acetonu z gazów odlotowych. Wybrano zeolit typu Y ze względu na jego wysoką termo stabilność umożliwiającą desorpcję zaadsorbowanego acetonu w temperaturach dochodzących do 1000°C. Proces syntezy składał się z czterech etapów: (1) aktywacji termicznej surowego materiału, (2) starzenia mieszanin reakcyjnych w temperaturze otoczenia, (3) krystalizacji (wysokotemperaturowego ogrzewania składników) oraz (4) przemywania i suszenia produktu. Jako substraty wykorzystano naturalne materiały ilaste – bentonit (B), haloizyt (H) oraz kaolin (K). Aby zapewnić odpowiedni stosunek molowy $\text{Na}_2\text{O}:\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3:\text{H}_2\text{O}$ do syntezy zastosowano również krzemionkę (SiO_2) oraz roztwory chlorku (NaCl) oraz wodorotlenku sodu (NaOH). Podczas badań optymalizowano: temperaturę aktywacji, czas starzenia oraz czas i temperaturę etapu krystalizacji. Wpływ optymalizowanych parametrów na właściwości otrzymanych adsorbentów oceniano na podstawie: masy uzyskanego produktu, straty po prażeniu (LOI [%]), stężenia jonów Na^+ w przesączach poreakcyjnych (C_{Na} [mg/l]) oraz pojemności adsorpcyjnej względem acetonu (q_e [mg/g]). Optymalna temperatura aktywacji wyjściowych materiałów ilastych wynosi 600°C. Podnoszenie temperatury aktywacji o kolejne 100°C skutkowało pogarszaniem właściwości adsorbentów. Wydłużenie czasu starzenia i krystalizacji, jak również podwyższenie temperatury etapu krystalizacji poprawia właściwości adsorpcyjne otrzymanych zeolitów. Optymalny czas etapu krystalizacji zależy od rodzaju materiału wyjściowego użytego do syntezy, temperatury aktywacji oraz czasu starzenia. Wydłużenie czasu starzenia mieszanin reakcyjnych pozwala na skrócenie czasu krystalizacji.

Słowa kluczowe: zeolity syntetyczne, haloizyt, bentonit, materiały ilaste, aceton, lotne związki organiczne

1. Wprowadzenie

Lotne Związki Organiczne (LZO) stanowią istotną grupę zanieczyszczeń, których obecność wpływa niekorzystnie na zdrowie ludzkie oraz na środowisko naturalne [1, 2]. Jednym z podstawowych związków należących do LZO jest aceton, którego głównymi źródłami emisji są chemiczne procesy produkcyjne,

¹ Magdalena Warzybok, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, 177432408, lub Otto Engineering Polska Sp. z o.o.: ul. Połonińska 15, 35-083 Rzeszów, tel.: 726-104-604, e-mail: magdalena.warzybok@ottoindustries.com.pl

spaliny samochodowe oraz rozpuszczalniki wykorzystywane do malowania oraz czyszczenia powierzchni metalowych [3]. Aceton może przyczynić się do wystąpienia zaburzeń zdrowotnych u człowieka, np.: podrażnień oczu i układu oddechowego, nudności oraz wahań nastroju [4].

Usuwanie acetonu z gazów odlotowych przeprowadza się w procesie spalania termicznego, dopalania katalitycznego oraz biologicznego oczyszczania. Bezpośrednie zastosowanie metody termicznej wiąże się z wysokimi kosztami energetycznymi wynikającymi z dopalania dużych objętości gazu o niskim stężeniu zanieczyszczeń. Do zatężenia zanieczyszczeń i równoczesnego obniżenia kosztów procesu termicznego stosuje się proces adsorpcji. W przypadku dopalania katalitycznego występuje wysokie ryzyko tzw. zatrucia katalizatora, dlatego gaz musi być wstępnie oczyszczony z cząstek stałych i nie może zawierać m.in. związków siarki i fosforu oraz halogenków. Zastosowanie metody biologicznej wymusza konieczność chłodzenia gazów odlotowych (do temperatury z zakresy 30-35°C), ze względu na wrażliwość drobnoustrojów [4, 6, 7]. Zupełnie odrębną grupę metod usuwania acetonu stanowią techniki wykorzystujące zjawiska elektryczne, np. szeroko opisywane metody oparte na płazmie nietermicznej, w których plazma pochodzi ze źródeł opartych o wyładowania koronowe lub wyładowania z barierą dielektryczną (DBD) [7, 8, 9].

Alternatywną metodą zapewniającą jednocześnie odzysk acetonu są techniki adsorpcyjne. Powszechnie jako adsorbenty stosuje się węgiel aktywny [10], jednak istnieje wiele badań wskazujących na zastosowanie również krzemionki mezoporowatej [11, 12], grafenu, nanorurek węglowych [13], tlenku tytanu [14] oraz zeolitów syntetycznych [15, 16]. O wyborze adsorbentu decyduje przede wszystkim jego cena, pojemność adsorpcyjna oraz termostabilność. Obecnie badania skupiają się na zeolitach syntetycznych. Są to krystaliczne, mikroporowate materiały zbudowane z tetraedrycznych jednostek SiO_4 i AlO_4 tworzących sieć porów o wymiarach molekularnych [17]. Poszczególne typy zeolitów syntetycznych różnią się strukturą determinowaną przez stosunek molowy $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Rozróżnia się zeolity nisko (np. zeolit typu A [18, 19]), średnio (np. zeolity typu X [20, 21] i Y [22, 23]) oraz wysokokrzemowe (np. zeolit typu ZSM [24]). Materiały te charakteryzują się trwałością struktury w temperaturach dochodzących do 1000°C [25], co umożliwia przeprowadzenie desorpcji termicznej zaadsorbowanych gazów i wielokrotne ich wykorzystanie. Mają dużą powierzchnię właściwą, dochodzącą do ok. 1000 $[\text{m}^2/\text{g}]$ [26], co przekłada się na dużą pojemność adsorpcyjną. Ze względu na te cechy znalazły zastosowanie do sorpcji jonów metali (np. Pb(II) [27], Cr(VI) [28], As(V) [29]), separacji związków, wymiany jonowej oraz w procesach katalitycznych [30]. Przykładowo fojazyt typu Y jest wykorzystywany głównie jako katalizator w procesie krawingu katalitycznego oraz jako adsorbent LZO z wilgotnych strumieni gazów odlotowych [31]. Natomiast drugi zeolit należący do grupy fojazytów, tj. zeolit typu X wykazują wysoką zdolność adsorpcji kationów metali ciężkich oraz radionuklidów [32].

Proces syntezy zeolitów polega na wysokotemperaturowym ogrzewaniu składników krzemio- oraz glinonośnych z ewentualnym dodatkiem np. NaOH, NaCl, Al(OH)₃ i SiO₂, w celu uzyskania odpowiedniego stosunku molowego Na₂O:SiO₂:Al₂O₃:H₂O. Jako składniki krzemonośne stosuje się m.in.: krzemionkę koloidalną i krzemian sodu, natomiast jako składniki glinonośne: izopropanolan glinu oraz glinian sodu [33, 34, 35]. Ze względu na wysoki koszt czystych substratów stosuje się naturalne materiały ilaste (np. haloizyt [36, 37]) oraz materiały odpadowe (np. popioły lotne [38, 39], łupiny ryżowe [40], szlam papierowy [41]). Jakość otrzymanego produktu syntezy zależy od stosunku molowego Na₂O:SiO₂:Al₂O₃:H₂O, temperatury i czasu aktywacji, czasu starzenia mieszaniny reakcyjnej oraz temperatury i czasu krystalizacji. Pierwszym etapem syntezy jest aktywacja termiczna materiału wyjściowego, którą przeprowadza się w temperaturach z zakresu 600 – 950°C [19, 36, 37, 42, 43, 44]. Następnie przeprowadza się proces starzenia mieszaniny reakcyjnej w temperaturze od 20 do 50 °C przez okres od kilku do kilkudziesięciu godzin [45, 46]. Ostatnim etapem jest krystalizacja mieszaniny reakcyjnej prowadzona zazwyczaj w temperaturze 100°C przez okres od 24 do 48 h [40, 45, 47].

Celem przeprowadzonych badań była synteza zeolitu typu Y do adsorpcji par acetonu. Określono wpływ rodzaju zastosowanego materiału wyjściowego oraz warunków poszczególnych etapów syntezy na właściwości adsorpcyjne otrzymanego materiału.

2. Synteza zeolitów

2.1. Materiały i odczynniki

Do syntezy zeolitów wykorzystano trzy materiały ilaste dostarczone przez firmę BioDrain pod następującymi nazwami handlowymi: bentonit (B), haloizyt (H) oraz kaolin (K). Skład chemiczny minerałów (Tabela 1.) określono metodą spektroskopii XRF. Pomiary wykonano z pastylki (średnica 27mm) sprasowanej ze zmielonego, wysuszonego i homogenicznego materiału. Chlorek sodu oraz żel krzemionkowy wyprodukowane zostały przez firmę Chepmur, natomiast wodorotlenek sodu (CZDA) przez firmę POCH.

Tabela 1. Skład chemiczny surowych materiałów ilastych

Table 1. Chemical composition of raw clay materials

Składnik		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O
Zawartość [%]	B	61,6	20,0	3,0	0,3	2,2	3,1	0,7
	H	33,4	28,2	23,0	3,9	0,6	0,4	0,3
	K	52,5	34,5	0,8	0,5	0,1	0,1	0,6

2.2. Proces syntezy

Syntezę zeolitów Y prowadzono w czterech etapach:

- (1) Aktywacja surowego materiału wyjściowego. Haloizyt i kaolin aktywowano termicznie (SNOL 8:2/1000) przez 5 h w temperaturze: 600, 700, 800 lub 900°C. Bentonit wypalano w piecu przez 6 h w temperaturze 600°C. [20, 22].
- (2) Starzenie mieszaniny reakcyjnej. Do aktywowanych materiałów dodano stały SiO₂, 20% NaCl oraz 20% NaOH celem uzyskania założonego stosunku molarowego Na₂O:SiO₂:Al₂O₃:H₂O (10:1:10:150). Mieszaniny pozostawiono w temperaturze otoczenia na określony czas, od 18 do 336 h.
- (3) Krystalizacja zeolitów syntetycznych w podwyższonej temperaturze, która w zależności od zastosowanego materiału wyjściowego wynosiła 80 lub 100°C. Określono również czas prowadzenia krystalizacji oraz metodę ogrzewania mieszanin reakcyjnych. Próbkę ogrzewano w łaźni wodnej (LABO PLAY TERMSTAR SERIA T) lub suszarce laboratoryjnej (POLEKO SLW32 EKO) w czasie od 1 do 48h.
- (4) Płukanie produktów syntezy wodą demineralizowaną do uzyskania neutralnego odczynu pH, suszenie w temperaturze 110°C do stałej masy. Wodę po płukaniu zbierano i poddano analizie na zawartość jonów Na⁺ (metoda fotometrii płomieniowej, aparat BWB XP).

Otrzymane produkty syntezy ważono (RADWAG AS 60/220/C/2) i wypalano w piecu muflowym (SNOL 8.2/1100) przez 1h w 800°C, w celu określeniu straty po prażeniu (*LOI*), zgodnie z równaniem:

$$LOI (\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie: m_1 – masa przed wypaleniem;

m_2 – masa po wypaleniu.

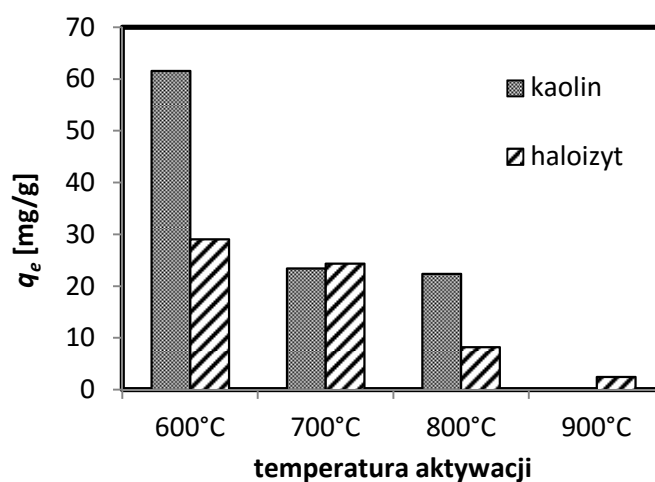
2.3. Adsorpcja acetonu

Adsorpcję acetonu przeprowadzono w specjalnie przygotowanej instalacji laboratoryjnej [48], udostępnionej przez firmę Otto Engineering Polska Sp. z o.o. W skład instalacji wchodziły: butla z mieszaniną acetonu w azocie o stężeniu 208 ppm, kolumna wypełniona danym adsorbentem oraz przepływomierz. Stężenie acetonu na wyjściu z kolumny adsorpcyjnej mierzono on-line za pomocą chromatografu gazowego (Thermo Scientific TRACE 1300 GC). Wynikiem pomiaru była krzywa przebiegu obrazująca zmianę stężenia na wyjściu z kolumny. Ilość zaadsorbowanego acetonu q_e [mg/g] wyznaczono metodą całkowania numerycznego.

3. Otrzymane wyniki

3.1. Wpływ temperatury aktywacji

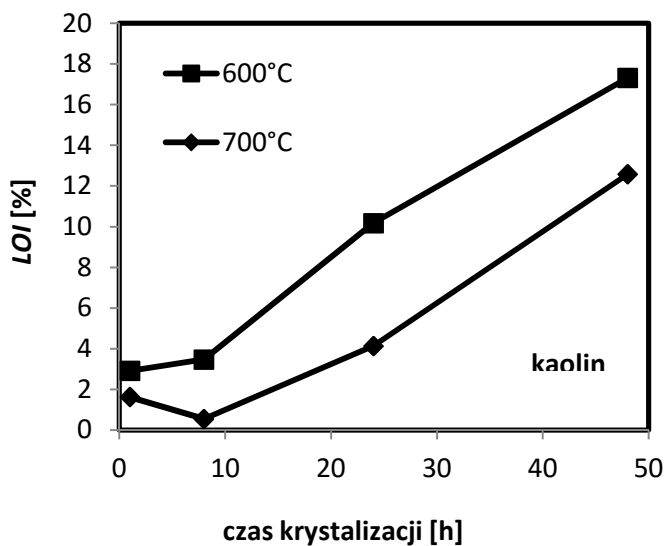
Wpływ temperatury aktywacji haloizytu i kaolinu na pojemność adsorpcyjną (q_e) przedstawiono na Rysunku 1. Jak widać, wraz ze wzrostem temperatury aktywacji następuje spadek efektywności adsorpcji acetonu. Największą efektywność uzyskano dla temperatury 600°C. Wynosiła ona dla haloizytu, którego czas krystalizacji wynosił 48h ok. 30 [mg/g], a dla kaolinu, którego czas krystalizacji wynosił 24h ok. 60 [mg/g].



Rys. 1. Wpływ temperatury aktywacji na pojemność adsorpcyjną acetonu

Fig. 1. Effect of the temperature of activation on the adsorption capacity of the acetone

Na Rysunku 2. przedstawiono wartości straty po prażeniu w zależności od czasu krystalizacji próbek kaolinu aktywowanych w 600 oraz 700°C. Widać proporcjonalny wzrost wartości LOI [%] wraz z wydłużaniem czasu krystalizacji. Zależność ta potwierdza wzrost stopnia przereagowania substratów syntezy wraz z czasem krystalizacji. Po 48h krystalizacji wartość LOI wynosiła ok. 17% dla materiału aktywowanego w 600°C oraz ok. 12% dla materiału aktywowanego w 700°C.

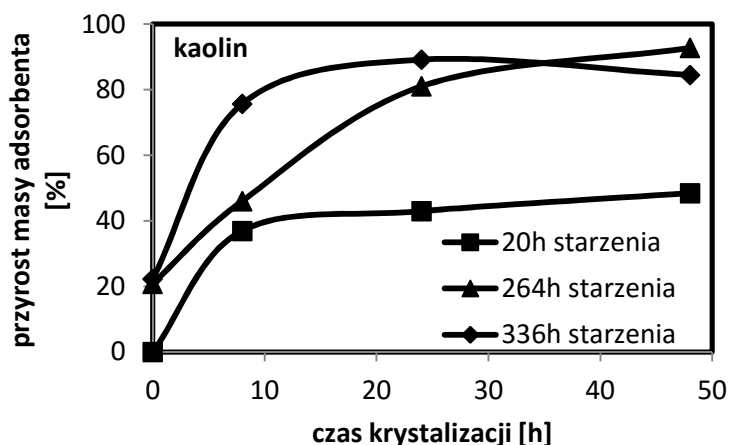


Rys. 2. Wpływ temperatury aktywacji oraz czasu krystalizacji na wartość *LOI* [%]

Fig. 2. Effect of the activation temperature and the crystallization time on the value of *LOI* [%]

3.2. Wpływ czasu starzenia

Nie zaobserwowano liniowej zależności pomiędzy przyrostem masy adsorbentów a wzrostem czasów krystalizacji i starzenia (Rysunek 3.). Z uzyskanej zależności wynika, że wydłużenie czasu starzenia pozwala na skrócenie czasu krystalizacji. Ośmiogodzinna synteza materiału poddawanego starzeniu 336h pozwala na uzyskania porównywalnego wzrostu masy adsorbentu (ok. 75%) co 24-godzinna synteza materiału poddawanego starzeniu przez 264h (ok. 80%).

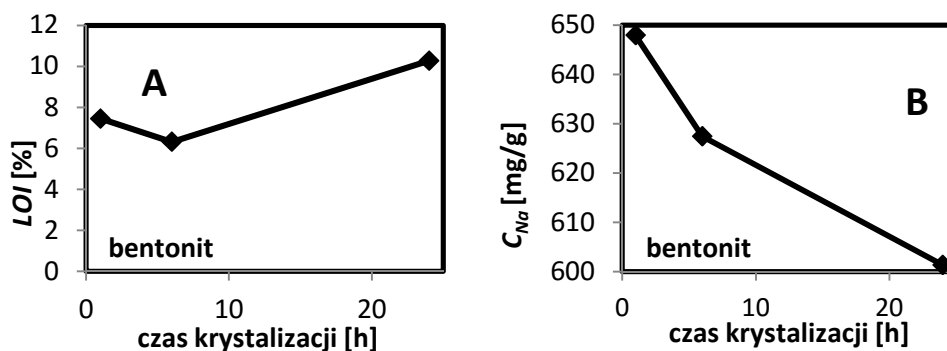


Rys. 3. Wpływ czasu starzenia oraz czasu krystalizacji na przyrost masy adsorbentów [%]

Fig. 3. Effect of the aging and crystallization time on the mass increase of adsorbents [%]

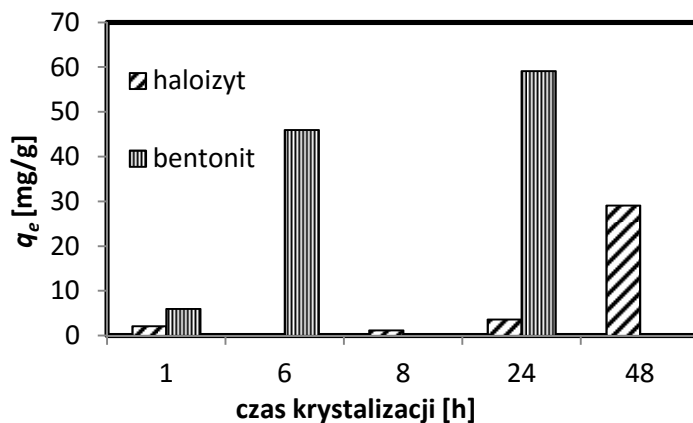
3.3. Wpływ czasu krystalizacji

Wpływ czasu krystalizacji na właściwości adsorbentów powstałych na bazie bentonitu przedstawiono na Rysunkach 4-5. Jak widać dla dłuższych czasów krystalizacji jest większa strata po prażeniu (10% po 24h reakcji) oraz mniejsze stężenie jonów Na^+ w przesączach poreakcyjnych. Dla próbki, która krystalizowała przez 24h, uzyskano największą efektywność adsorpcji acetonu (Rysunek 5.). Prawdopodobnie dalsze wydłużenie czasu krystalizacji spowodowałoby dalszy wzrost efektywności adsorpcji, podobnie jak to uzyskano dla haloizytu (Rysunek 5.).



Rys. 4. Wpływ czasu krystalizacji na (A) stratę po prażeniu LOI [%], (B) stężenie jonów Na^+ C_{Na} [mg/l]

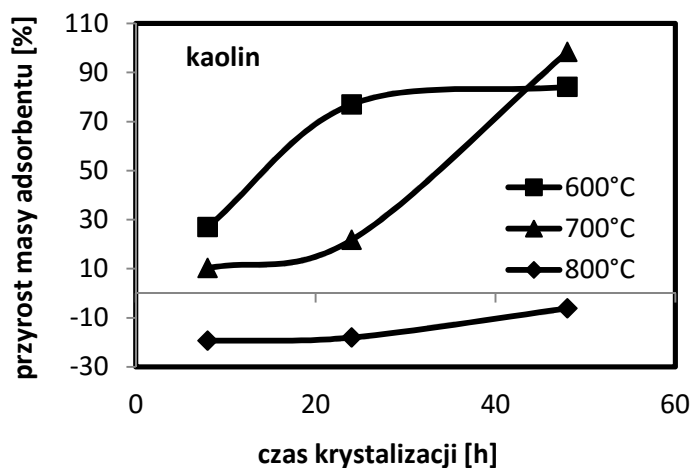
Fig. 4. Effect of crystallization time on (A) the loss of ignition LOI [%], (B) Na^+ ion concentration C_{Na} [mg/l]



Rys. 5. Wpływ czasu krystalizacji na pojemność adsorpcyjną acetonu

Fig. 5. Effect of the crystallization time on the adsorption capacity of the acetone

Wpływ czasu krystalizacji na właściwości adsorbentów syntezowanych z kaolinu przedstawiono na Rysunkach 2, 3 oraz 6. Wydłużenia czasu krystalizacji wpłynęło na przyrost masy produktów syntezy oraz na wzrost wartości straty po prażeniu (dla próbek aktywowanych w 600 oraz 700°C). Na szybkość wzrostu obu parametrów znaczący wpływ miała temperatura aktywacji materiału surowego.

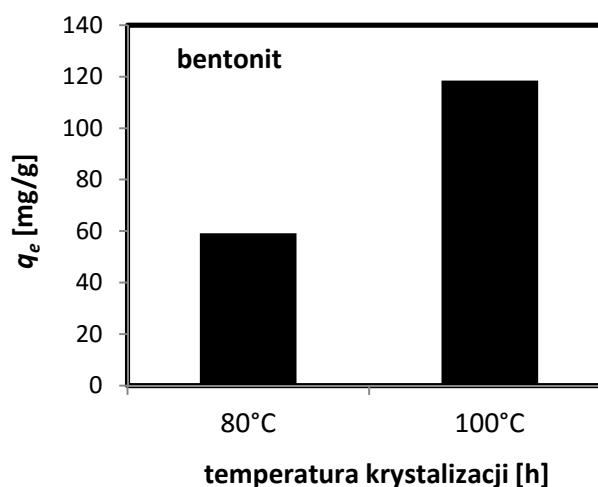


Rys. 6. Wpływ temperatury aktywacji oraz czasu krystalizacji na przyrost masy adsorbentów [%]

Fig. 6. Effect of the activation temperature and the crystallization time on the mass increase of adsorbents [%]

3.4. Wpływ temperatury krystalizacji

Proces krystalizacji zeolitu z bentonitu prowadzono w dwóch temperaturach: 80 i 100°C. Wpływ temperatury krystalizacji na pojemność adsorpcyjną produktu względem acetonu (q_e) przedstawiono na Rysunku 7. Dla próbki ogrzewanej przez 24h w 80°C wyznaczana pojemność adsorpcyjna wyniosła ok. 60 [mg/g], natomiast dla próbki ogrzewanej przez taki sam czas w 100°C pojemność adsorpcyjna wzrosła dwukrotnie. Dalsze obniżenie temperatury poniżej 80°C skutkowałoby uzyskaniem wyłącznie amorficznej frakcji [42].



Rys. 7. Wpływ temperatury krystalizacji na pojemność adsorpcyjną acetonu

Fig. 7. Effect of the crystallization temperature on the adsorption capacity of the acetone

4. Podsumowanie

Właściwości adsorpcyjne zeolitów uzyskanych na drodze syntezy zależą od: temperatury aktywacji termicznej materiału surowego, czasu starzenia reagentów oraz temperatury i czasu etapu krystalizacji. Najodpowiedniejsza temperatura aktywacji termicznej stosowanych materiałów ilastych wynosi 600°C. Dla tej temperatury maksymalne pojemności adsorpcyjne wynosiły dla kaolinu i halozytu odpowiednio 61,6 oraz 29,1 [mg/g]. Dalsze podnoszenie temperatury aktywacji skutkuje obniżeniem wartości straty po prażeniu oraz pogorszeniem właściwości adsorpcyjnych. Z kolei podwyższenie temperatury krystalizacji próbek otrzymanych z bentonitu (z 80 do 100°C) powoduje dwukrotny wzrost pojemności adsorpcyjnej acetonu (z ok. 60 do ok. 120 [mg/g]). Wartość ta jest porównywalna do ilości acetonu adsorbowanego na komercyjnych węglach aktywnych (ok. 90 [mg/g]) [49].

Wartość optymalnego czasu etapu krystalizacji zależała od stosowanego materiału wyjściowego, jego temperatury aktywacji termicznej oraz czasu starzenia mieszaniny reakcyjnej. Wydłużenie czasu starzenia mieszanin reakcyjnych pozwala na skrócenie czasu krystalizacji. Ma to ważny aspekt ekonomiczny, ponieważ etap starzenia prowadzono w temperaturze otoczenia bez ponoszenia kosztów energetycznych, natomiast proces krystalizacji prowadzono w wysokich temperaturach, co wiązało się z zużyciem energii.

Podziękowanie

Składam podziękowania firmie OTTO Engineering Polska Sp. z o. o. za pokrycie części kosztów badań oraz udostępnienie infrastruktury naukowo-badawczej.

Literatura

- [1] Ramirez N., Cuadras A., Rovira E., Borrull F., Marce R.M.: Chronic risk assessment of exposure to volatile organic compounds in the atmosphere near the largest Mediterranean industrial site. *Environmental International*, no. 39, 2012, pp. 200-209.
- [2] Stojic A., Maletic D., Stanisic Stojic S., Mijic Z., Sostaric A.: Forecasting of VOC emissions from traffic and industry using classification and regression multivariate methods. *Science of the Total Environment*, no. 521-522, 2015, pp. 19-26.
- [3] Zheng Ch, Zhu X., Gao X., Liu L., Chang Q., Luo Z.: Experimental study of acetone removal by packed-bed dielectric barriers discharge reactor. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20, 2014, 2761-2768.
- [4] Das S., Majumdar S., Kumar R., Ghosh S., Biswas D.: Thermodynamic analysis of acetone sensing in Pd/AlGa_N/Ga_N heterostructure Schottky diodes at low temperatures, *Scripta Materialia*. 113, 2016, 39-42.
- [5] Straszko J., Parus W., Paterkowski W.: Kinetyka reakcji spalania domieszek organicznych na katalizatorach niskotemperaturowych. *Inż. Ap. Chem.* 2013, 52, 6, 561-562.
- [6] Wnęk B.: Rozkład lotnych związków organicznych w wyładowaniu koronowym.
- [7] Zhu X., Gao X., Yu X., Zheng Ch., Tu X.: Catalyst screening for acetone removal in a single-stage plasma-catalysis system. *Catalysis Today*, 256, 2015, 108-14.
- [8] Hołub M., Kalisiak S., Jakobowski T.: Źródła plazmy nietermicznej dla technologii ochrony środowiska. *Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej*, Nr 27, 2010, 27-30.
- [9] Jaworek A., Czech T., Krupa A., Antes T.: Kierunki rozwoju elektrostatycznych urządzeń do oczyszczania gazów odlotowych. V Konferencja Naukowo-Techniczna ELEKTROFILTRY'2000, Kraków, 14-16 września 2000, 59-68.
- [10] Gales L., Mendes A., Costa C.: Hysteresis in the cyclic adsorption of acetone, ethanol and ethyl acetate on activated carbon. *Carbon*, 38, 2000, 1083-1088.
- [11] Hung Ch., Bai H., Karthik M.: Ordered mesoporous silica particles and Si-MCM-41 for the adsorption of acetone: A comparative study. *Separation and Purification Technology*, 64, 2009, 265-272.

- [12] Ushiki I., Ota M., Sato Y., Inomata H.: VOCs (acetone, toluene, and n-hexane) adsorption equilibria on mesoporous silica (MCM-41) over a wide range of supercritical carbon dioxide conditions: Experimental and theoretical approach by the Dubinin-Astakhov equation. *Fluid Phase Equilibria*, 403, 205, 78-84.
- [13] He Y., Zhang N., Wu F., Xu F., Liu Y., Gao J.: Graphene oxide foams and their excellent adsorption ability for acetone gas. *Materials Research Bulletin*, 48, 2013, 3553-3558.
- [14] Chen Q., Zhu W., Hou X., Xu K.: Density functional theory study of the adsorption of acetone on the pure and transition metal doped (TiO₂)₃₈ clusters. *Vacuum*, 119, 2015, 123-130.
- [15] D.-G. Lee, J.-H. Kim, C.-H., Lee, Adsorption and thermal regeneration of acetone and toluene vapours in dealuminated Y-zeolite bed, *Separation and Purification Technology*, 77, 2011, 312-324.
- [16] Lee S.-W., Park H.-J., Lee S.-H., Lee M.-G.: Comparison of adsorption characteristics according to polarity difference of acetone and toluene vapor on silica-alumina fixed-bed reactor. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 14, 2008, 10-17.
- [17] Rasouli M., Yaghobi N., Chitsazan S., Sayyar M. H.: Effect of nano crystalline zeolite Na-Y on meta-xylene separation. *Microporous and Mesoporous Materials*, no. 152, 2012, pp. 141-147.
- [18] Zhao Y., Zhang B., Zhang X., Wang J., Liu J., Chen R.: Preparation of highly ordered cubic NaA zeolite from halloysite mineral for adsorption of ammonium ions. *Journal of Hazardous Materials*, 178, 2010, 658-664.
- [19] Zhou Z., Jin G., Liu H., Wu J., Mei J.: Crystallization of zeolite A from coal kaolin using a two-step method. *Applied Clay Science*, 97-98, 2014, 110-114.
- [20] Mezni M., Hamzaoui A., Hamdi N., Srasra E.: Synthesis of zeolites from low-grade Tunisian natural illite by two different methods. *Applied Clay Science*, 52, 2011, 209-218.
- [21] Szala B., Turek P., Jeleń A., Bajda T.: Synteza i właściwości sorpcyjne organo-zeolitów. *Inżynieria Środowiska*, Nr 30, 2013, 5-12.
- [22] Charkhi A., Kazemeini M., Ahmadi S.J., Kazemian H.: Fabrication of granulated NaY zeolite nanoparticles using a new method and study the adsorption properties. *Powders Technology*, 231, 2012, 1-6.
- [23] Mohammed A.H.A.K., Karim S., Rahman A.M.: Characterization and Cracking Activity of Zeolite Prepared from Local Kaolin. *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering*, Vol.11, No.2, 2010, 35-42.
- [24] Dedeczek J., Balgová V., Pashkova V., Klein P., Wichterlová B.: Synthesis of ZSM-5 Zeolites with Defined Distribution of Al Atoms in the Framework and Multinuclear MAS NMR Analysis of the Control of Al Distribution. *Chem. Mater.*, 2012, 24 (16), 3231-3239.
- [25] Trigueiro F.E., Monteiro D.F.J., Zotin F.M.Z., Falabella Sousa-Aguiar E.: Thermal stability of Y zeolites containing different rare earth cations. *Journal of Alloys and Compounds*, 344, 2002, 337-341
- [26] Jabłońska M., Król A., Kukulska-Zajac E., Tarach K., Girman V., Chmielarz L., Góra-Marek K.: Zeolites Y modified with palladium as effective catalysts for low-

- temperature methanol incineration. *Applied Catalysis B: Environmental*, 166-167, 2015, 353-365.
- [27] Anari-Anaraki M., Nezamzadeh-Ejehieh A.: Modification of an Iranian clinoptililite nano-particles by hexadecyltrimethyl ammonium cationic surfactant and dithizone for removal of Pb(II) from aqueous solution. *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 440, 2015, 272-281.
- [28] Thanos A.G., Katsou E., Malamis S., Psarras K., Pavlatou E.A., Haralambous K.J.: Evaluation of modified mineral performance for chromate sorption from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 211-212, 2012, 77-88.
- [29] Chutia P., Kato S., Kojima T., Satokawa S.: Adsorption of As(V) on surfactant modified natural zeolites. *Journal of Hazardous Material*, 162, 2009, 204-211.
- [30] Zhang J., Burke N., Zhang S., Liu K., Pervukhina M.: Thermodynamic analysis of molecular simulations of CO₂ and CH₄ adsorption in FAU zeolites. *Chemical Engineering Science*, no. 113, 2014, pp. 54-61.
- [31] Karami D., Rohani S.: Synthesis of pure zeolite Y using soluble silicate, a two-level factorial experimental design. *Chemical Engineering and Processing*, 48, 2009, 1288-1292.
- [32] Dere Ozdemir O., Piskin S.: Zeolite X Synthesis with Different Sources. *IJCEBS*, Vol.1, 2013, 229-232.
- [33] Huang Y., Wang K., Dong D., Li D., Hill M.R., Hill A.J., Wang H.: Synthesis of hierarchical porous zeolite NaY particles with controllable particle size. *Microporous and Mesoporous Materials*, no. 127, 2010, pp. 167-175.
- [34] Sang S., Liu Z., Tian P., Liu Z., Qu L., Zhang Y.: Synthesis of small crystals zeolite NaY. *Materials Letters*, 60, 2006, 1131-1133.
- [35] Zhang X., Tong D., Zhao J., Li X.: Synthesis of NaX zeolite at room temperature and its characterization. *Materials Letters*, 104, 2013, 80-83.
- [36] Gougazeh M., Buhl J.-Ch.: Synthesis and characterization of zeolite A by hydrothermal transformation of natural Jordanian kaolin. *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*. 2014, 15, 35-42.
- [37] Gualtieri A.F.L. Synthesis of sodium zeolite from a natural halloysite. *Phys. Chem. Minerals*, 2001, 28, 719-728.
- [38] Grela A, Hebda M., Łach M., Mikuła J.: Thermal behavior and physical characteristic of synthetic zeolite from CFB-coal fly ash. *Microporous and Mesoporous Materials*, 220, 2016, 155-162.
- [39] Wdowin M., Baran P., Panek R., Zarębska K., Franus W.: Analiza możliwości oczyszczenia gazów wylotowych z Hg⁰ i CO₂ na zeolitach syntetycznych otrzymanych z popiołów lotnych. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 17, 2015, 1306-1319.
- [40] Khabuanchalad S., Khemthong P., Prayoonpokarach S., Wittayakun J.: Transformation of zeolite NaY synthesized from rice husk silica to NaP during hydrothermal synthesis. *Suranaree J. Sci. Technol.*, 15(3), 2008, 225-231.
- [41] Wajima T., Haga M., Kuzawa K., Ishimoto H., Tamada O., Ito K., Nishiyama, Downs R.T., Rakovan J.F.: Zeolite synthesis from paper sludge ash at low temperature (90°C) with addition of diatomite, *Journal of Hazardous Materials*, B132, 2006, 244-252.

- [42] Chen Ch., Park D.-W., Ahn W.-S.: CO₂ capture using zeolite 13X prepared from bentonite. *Applied Surface Science*, 2014, Vol.292, 63–67.
- [43] Maia A.A.B., Neves R.F., Angelica R.S., Pollmann H.: Synthesis, optimisation and characterization of the zeolite NaA using kaolin waste from the Amazon Region. Production of Zeolites KA, MgA and CaA. *Applied Clay Science*, 108, 2015, 55-60.
- [44] Musyoka N.M, Missengue R., Kuisakana M., Petrik L.F.: Conversion of South African clays into high quality zeolites. *Applied Clay Science*, 2014, Vol. 97-98, 182-186.
- [45] Htay M.M., Oo M.M.: Preparation of Zeolite Y Catalyst for Petroleum Cracking. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 48, 2008, 114-120.
- [46] Johnson E.B.G., Arshad S.E.: Hydrothermally synthesized zeolites based on kaolinite: A review. *Applied Clay Science*, 97-98, 2014, 215-221.
- [47] Bo W., Hongzhu M.: Factors affecting the synthesis of micro-sized NaY zeolite. *Microporous and Mesoporous Materials*, 25, 1998, 131-36.
- [48] Pliś I., Prokop W., Petrus R., Warchoń J.: Sorption of acetone onto clay materials. 12 Scientific Conference POL-EMIS, Karpacz 4-7 June 2014.
- [49] Pliś I., Prokop W., Petrus R., Warchoń J. Adsorption of gaseous pollutants on zeolitic minerals. *Przemysł Chemiczny*, 2015, 94/2, 186-190.

SYNTHESIS OF ZEOLITES TO THE ADSORPTION OF ACETONE

Summary

The aim of the research was to study the synthesis of zeolites for adsorbing acetone. The synthesis process consisted of four stages: (1) thermal activation of the raw material; (2) aging of the reaction mixtures at the ambient temperature; (3) crystallization (at high temperatures); and (4) washing and drying the products. As substrates of the synthesis (silica and aluminium sources) three natural clay materials were used – bentonite (B), halloysite (H) and kaolin (K). During the synthesis we also used silica (SiO₂), sodium chloride and sodium hydroxide.

During the examinations, the following parameters of the process were optimized: the temperature of the thermal activation of the raw material; the time of aging the reagents; and the time and the temperature of the crystallization stage. The influence of these optimized parameters on properties of the received adsorbents was assessed based on the following values: growth of the product mass; loss of ignition (*LOI* [%]); content of Na⁺ cations in the filtrate (*C_{Na}* [mg/l]); and the adsorption capacity for acetone (*q_e* [mg/g]).

Based on the achieved results, we can state, that the optimal temperature for the thermal activation of used clay materials is 600 °C. As expected extending the time and increasing the temperature of the crystallization stage influenced the improvement of the properties of the adsorbents. Depending on the initial material, as well as the temperature of the activation and the time of aging, the optimum time for the crystallization stage was different.

Keywords: synthetic zeolites, halloysite, bentonite, clay materials, acetone, volatile organic compound

Przesłano do redakcji: 24.11.2014 r.

Przyjęto do druku: 1.03.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.137

Robert WIERZBICKI¹

ZASTOSOWANIE MODELOWANIA MATEMATYCZNEGO W PROJEKTOWANIU MODERNIZACJI SYSTEMÓW ZAOPATRZENIA W WODĘ NA PRZYKŁADZIE SYSTEMU WODOCIĄGOWEGO GMINY ZATOR (część II)

Artykuł przedstawia praktyczne zastosowanie specjalistycznego oprogramowania inżynierskiego do modelowania matematycznego istniejących systemów wodociągowych. Przeprowadzone analizy numeryczne dotyczą systemu zaopatrzenia w wodę gminy Zator i związane są z powstaniem i dalszą rozbudową na terenie Zatora Strefy Aktywności Gospodarczej Małopolski Zachodniej (SAG). Inwestycja ta znacząco wpłynie na dotychczasowy sposób pracy nie tylko poszczególnych obiektów wodociągowych, ale również całego systemu wodociągowego. Specyfika omawianego zadania polega na zakładanym pojawieniu się systemie nowych odbiorców o dużym zapotrzebowaniu na wodę, skupionych na stosunkowo niewielkim obszarze, oddalonym od głównych przewodów istniejącej sieci wodociągowej. Wstępne bilanse wskazywały, że obecnie funkcjonujące ujęcia wody nie będą w stanie dostarczyć niezbędnej ilości wody, a uruchomienie nowego ujęcia, położonego przeciwnie do istniejących prawdopodobnie doprowadzi do odwrócenia dotychczasowych kierunków przepływu w większości rurociągów magistralnych. Głównym celem przeprowadzonych analiz numerycznych było znalezienie optymalnego rozwiązania docelowego zapewniającego sprawne funkcjonowanie całego systemu w nowych warunkach eksploatacyjnych zarówno pod względem technicznym jak i ekonomicznym. W tym celu dokonano wielowariantowej analizy sposobu pracy systemu w nowych warunkach eksploatacyjnych oraz określenie niezbędnych parametrów technicznych poszczególnych obiektów i urządzeń dla różnych wielkości dostawy i rozbioru wody z uwzględnieniem przewidywanego poboru wody na terenie rozwijającej się SAG oraz określenie rodzaju i zakresu związanych z tym niezbędnych modernizacji istniejącego układu wodociągowego.

Słowa kluczowe: modelowanie sieci wodociągowych, projektowanie sieci wodociągowych, analizy numeryczne, zapotrzebowanie na wodę

¹ Robert Wierzbicki, Instytut Inżynierii Środowiska, Państwowa Wyższa Szkoła Wschodnioeuropejska, ul. Żołnierzy I Armii Wojska Polskiego 1E, 37-700 Przemyśl, tel. 16-7355252, e-mail: r.wierzbicki.12@gmail.com.

1. Obliczenia hydrauliczne

1.1. Wprowadzenie

Komputerowy model systemu zaopatrzenia w wodę gminy Zator zbudowano z wykorzystaniem oprogramowania opracowanego przez firmę DRR Consulting, umożliwiającego m.in. przeprowadzenie dynamicznej symulacji pracy systemu wodociągowego dla doby o dowolnie wybranej wielkości zapotrzebowania na wodę [7]. Główne założenia i struktura tego programu zostały opracowane w Instytucie Inżynierii i Ochrony Środowiska Politechniki Krakowskiej. Oprogramowanie wykorzystuje silnik obliczeniowy programu EPANET 2.0 [4], opracowany przez amerykańską Agencję Ochrony Środowiska (EPA).

Obliczenia hydrauliczne wykonano dla dobowych cykli pracy sieci wodociągowej odpowiadających dobom o średnim zapotrzebowaniu na wodę, tak aby w możliwie jak najlepszy sposób odwzorować zbliżone do rzeczywistych przyszłe warunki pracy całego systemu. Celem przeprowadzonych obliczeń było zbadanie warunków pracy systemu dla różnych wielkości dostawy i rozbioru wody ze szczególnym uwzględnieniem przewidywanego poboru wody na terenie rozwijającej się SAG oraz określenie rodzaju i zakresu związanych z tym niezbędnych modernizacji istniejącego układu wodociągowego.

Obliczenia przeprowadzono dla następujących wariantów podstawowych:

- Wariant I – określenie maksymalnej wartości poboru wody na terenie SAG niewymagającej wprowadzania istotnych zmian w istniejącym układzie hydraulicznym zasilanym wyłącznie z ujęcia w Graboszycach;
- Wariant II – określenie maksymalnej wartości poboru wody na terenie SAG przy zasilaniu systemu z ujęć w Graboszycach i Palczowicach bez wprowadzania istotnych zmian w istniejącym układzie hydraulicznym;
- Wariant III – określenie maksymalnej wartości poboru wody na terenie SAG przy zasilaniu systemu z ujęć w Graboszycach oraz Palczowicach z wykorzystaniem nowego przewodu DN160 wzdłuż ul. Oświęcimskiej;
- Wariant IV – badanie warunków dostawy wody na teren SAG z wykorzystaniem nowego przewodu DN160 wzdłuż ulic Granicznej i 1. Maja;
- Wariant V – badanie warunków dostawy wody w rejon SAG poprzez wymianę istniejącego rurociągu DN160 na odcinku od Rabusiowic do ul. J. Słowackiego w Zatorze na DN315;
- Wariant VI – analiza warunków dostawy wody w rejon SAG z wykorzystaniem dodatkowego połączenia DN250 od SUW „Rabusiowice” do ul. M. Kopernika w Zatorze.

Poza wymienionymi wyżej wariantami podstawowymi dokonano szeregu dodatkowych obliczeń mających na celu głębszą analizę sposobu pracy poszczególnych obiektów wodociągowych.

1.2. Funkcjonowanie systemu wodociągowego w jego obecnym kształcie

Obliczenia przeprowadzone dla stanu istniejącego wykazały, że specyficzny wpływ na funkcjonowanie całego systemu wodociągowego ma sposób działania zbiornika „Łysa Góra”. Zbiornik ten z uwagi na swoje położenie w stosunku do źródła zasilania, jakim jest SUW „Graboszyce” oraz obszaru zasilania ma charakter zbiornika bocznego. W przypadku tak zlokalizowanych zbiorników ich działanie w zakresie funkcji wyrównawczej, a nie tylko funkcji zbiornika zapasowego (stałe utrzymywanie określonego zapasu wody na wypadek przerwy w dostawie z ujęć) jest możliwe tylko wówczas, gdy ciśnienia na obszarze zasilania zmieniają się w zakresie umożliwiającym jego swobodne opróżnienie do określonej wartości napełnienia minimalnego, a następnie odtworzenie zapasu wody, gdy ciśnienie w sieci jest większe. Jeśli wahania ciśnienia w rurociągu dopływowo-odpływowym w czasie doby są niewielkie, wówczas poziom napełnienia zbiornika zmienia się w wąskim zakresie, co przekłada się na czas wymiany wody – ulega on znacznemu wydłużeniu i może wpływać na pogorszenie jakości wody np. w wyniku pojawienia się wtórnego skażenia bakteryjnego.

W omawianym przypadku, aby doszło do przynajmniej częściowego opróżnienia zbiornika „Łysa Góra”, pompownia wody czystej w SUW „Graboszyce” musiałaby przerwać pracę na co najmniej kilka godzin, a następnie być w stanie odtworzyć zapas wody w zbiorniku pokrywając jednocześnie bieżący pobór wody na obszarze zasilania. Aby sprostać tym wymaganiom muszą być spełnione dwa podstawowe warunki: 1) ujęcie i zakład uzdatniania muszą posiadać odpowiednio dużą wydajność chwilową lub dysponować niezbędnym zapasem wody zgromadzonym w zbiornikach wody czystej na terenie SUW; 2) pompownia wody czystej musi posiadać odpowiednio dużą wydajność. Jak wykazują obliczenia, w praktyce jest to niemożliwe, gdyż już przy obecnej wielkości zapotrzebowania na wodę zarówno ujęcie, jak i pompownia wody czystej niejednokrotnie pracują na granicy swoich możliwości technicznych.

Jedną z przyczyn wpływających na sposób współpracy pompowni w Graboszycach ze zbiornikiem „Łysa Góra” jest niewielka pojemność zbiornika kontaktowego na terenie SUW (50 m^3), która nie pozwala na bardziej elastyczną pracę tego układu.

Kolejnym czynnikiem wpływającym na tryb pracy zbiornika „Łysa Góra” jest sposób jego współpracy ze zbiornikiem „Grodzisko”. Zbiornik ten ze względu na swoje położenie pracuje w sposób zbliżony do zbiornika przepływowego i jak wykazują obliczenia nieco bardziej dynamicznie reaguje na zmiany wielkości rozbiorów i ciśnienia w sieci. Wynika to przede wszystkim z jego usytuowania względem SUW „Graboszyce” oraz obszaru zasilania. W praktyce, aby nie dopuścić do całkowitego opróżnienia tego zbiornika musi on być niemal w sposób ciągły zasilany z przez pompownię w SUW „Graboszyce”. To, z kolei, blokuje odpływ wody ze zbiornika „Łysa Góra”, gdyż ciśnienie w rejonie Graboszyce-Myto przy pracującej pompowni w Graboszycach jest zbyt duże, aby

zbiornik był w stanie „oddawać” wodę. Stwierdzono również, że w sytuacji przerwy w dostawie wody z SUW „Graboszyce” i zasilania sieci wyłącznie ze zbiorników to, pomimo, że są one posadowione na podobnych rzędnych, poziomy ich napełnienia nie będą obniżać się równomiernie – w krótkim czasie doszłoby do opróżnienia zbiornika „Grodzisko” bez względu na stan napełnienia „Łysej Góry”. W tym konkretnym przypadku zjawisko przepływów między zbiornikami zachodzi w minimalnym stopniu i praktycznie nie ma wpływu na zrównoważenie poziomów ich napełnień.

Dalsze analizy numeryczne wykazały, że obniżenie minimalnej wysokości napełnienia zbiornika „Łysa Góra” poniżej 2,5 m sł.w. może doprowadzić do całkowitego opróżnienia się zbiornika „Grodzisko”, a co za tym idzie, istotnego obniżenia parametrów dostawy wody niemal na całym obszarze zasilania. Ponadto, jeśli nastawa minimalnej wysokości napełnienia zbiornika „Łysa Góra” byłaby niższa od 3,5 m sł.w., wówczas mogłyby wystąpić problemy z odtworzeniem zapasu wody w zbiorniku „Grodzisko”.

Wnioski z tej części obliczeń zdają się potwierdzać słuszność stosowanych obecnie nastaw sterujących pracą pomp wody czystej w SUW „Graboszyce”, które wynoszą odpowiednio $H_{\min} = 3,5$ m sł.w. i $H_{\max} = 3,65$ m sł.w. Praca zbiornika „Łysa Góra” w tak małym zakresie napełnień zakłóca jednak proces prawidłowej wymiany wody. Zazwyczaj zakłada się, że woda po uzdatnieniu powinna dotrzeć do odbiorców w czasie nie dłuższym niż jedna doba. Z obliczeń wynika, że w przypadku zbiornika „Łysa Góra” w ciągu doby wymianie ulega nie więcej jak 120 m^3 , czyli ok. 1/5 jego pojemności.

Pewną poprawę tej sytuacji, polegającą na zwiększeniu stopnia wymiany wody w zbiorniku „Łysa Góra”, przyniosłoby wykonanie dodatkowego połączenia o średnicy DN110 pomiędzy końcówkami istniejącej sieci na granicy sołectwa Rudze i Zatora. Jak wskazują wyniki obliczeń połączenie to umożliwiłoby obniżenie dolnej nastawy uruchamiającej pompy z wartości 3,5 m sł.w. do poziomu ok. 2,9 m sł.w., a dzięki temu niewielkie zwiększenie stopnia wymiany wody w zbiorniku bez negatywnego wpływu na sposób pracy zbiornika „Grodzisko”.

1.3. Określenie maksymalnej wartości poboru wody na terenie SAG niewymagającej wprowadzania istotnych zmian w istniejącym układzie sieci, zasilanym wyłącznie z ujęcia w Graboszytach

W obecnych warunkach zasilania systemu i jego wydolności pod względem przesyłowym oraz pełnym wykorzystaniu wydajności ujęcia i SUW „Graboszyce” (max. $1440 \text{ m}^3/\text{d.}$), maksymalna wartość poboru wody na terenie SAG nie może przekroczyć $250 \text{ m}^3/\text{d.}$, bez wystąpienia sytuacji nadmiernego spadku ciśnienia. Dalszy wzrost poboru na terenie SAG wymagałby dostarczenia do systemu większej ilości wody, co z uwagi na wydajność ujęcia w Graboszytach oraz istniejący układ sieci przesyłowej jest praktycznie niemożliwe.

Należy przy tym zwrócić uwagę, że w okresach wzmożonych rozbiorów wody w godzinach dziennych ciśnienie na terenie SAG może obniżyć się do wartości ok. 2,0 barów, a niekiedy nawet nieco mniejszej. W godzinach nocnych wartość ciśnienia ulegałaby stabilizacji i utrzymywała się na poziomie ok. 4,0-5,0 barów. Stosunkowo duża zmienność wartości ciśnienia roboczego na terenie SAG wynika z sumarycznej wielkości poborów, znacznego zróżnicowania ich wartości w godzinach dziennych i nocnych, a także niedostatecznych zdolności transportowych istniejącej sieci.

W przypadku wykonania dodatkowego połączenia, o którym była mowa w punkcie 1.2 sytuacja uległaby istotnej poprawie, gdyż ciśnienie na terenie SAG w żadnej porze doby nie spadałoby poniżej 3,0 barów przy tej samej ilości pobieranej wody ($250 \text{ m}^3/\text{d}$).

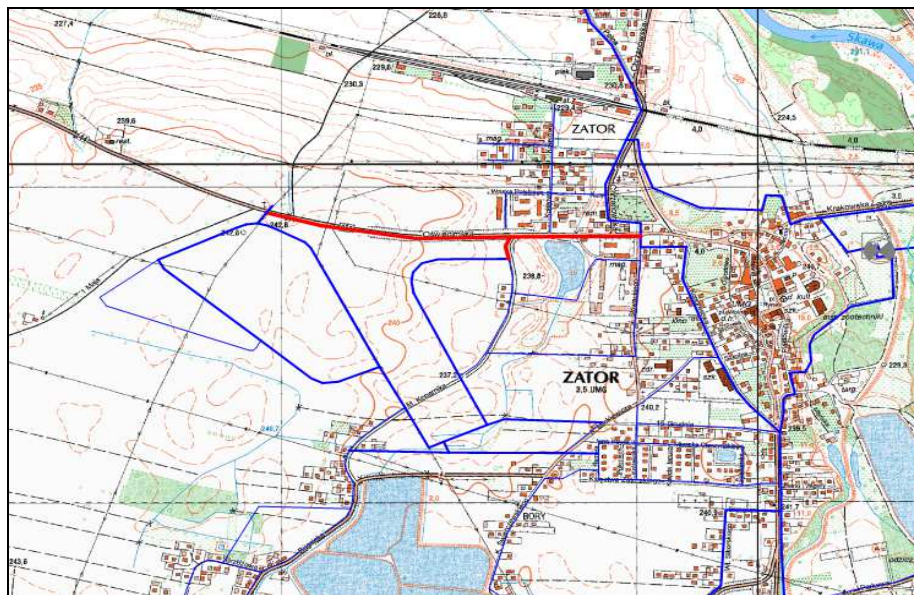
1.4. Określenie maksymalnej wartości poboru wody na terenie SAG przy zasilaniu systemu z ujęć w Graboszycach oraz Rabusiowicach z wykorzystaniem istniejącego układu sieci wodociągowej

Według obliczeń „bezpieczną” ilością wody, jaką można pobrać na terenie SAG jest ok. $600 \text{ m}^3/\text{d}$ przy maksymalnym zapotrzebowaniu godzinowym na poziomie ok. $70 \text{ m}^3/\text{h}$. Dalszy wzrost ilości pobieranej wody na terenie SAG, a zwłaszcza wysokie wartości chwilowego poboru w godzinach dziennych, mogą skutkować spadkami ciśnienia poniżej 2,0 barów ciśnienia roboczego. Główną przeszkodą nie jest w tym przypadku zbyt mała wydajność ujęć, lecz niewystarczająca przepustowość sieci, przede wszystkim na odcinku od osiedla Marysin do centrum Zatora i dalej w kierunku SAG. Jest to między innymi efektem wzrostu natężenia przepływu w rurociągu DN160 wzdłuż ulic E. Orzeszkowej i Krakowskiej i dalej w kierunku SAG w wyniku sumowania się przepływu wody z ujęcia w Rabusiowicach oraz wody dopływającej ze zbiornika „Grodzisko”.

1.5. Określenie maksymalnej wartości poboru wody na terenie SAG przy zasilaniu systemu z ujęć w Graboszycach oraz Rabusiowicach z wykorzystaniem nowego przewodu DN160 wzdłuż ul. Oświęcimskiej

Wykonanie dodatkowego połączenia DN160 wzdłuż ulicy Oświęcimskiej od ul. J. Słowackiego do połączenia z rurociągiem DN160 w rejonie skrzyżowania z ul. 3. Maja (rys. 1.) poprawia sposób rozprowadzenia wody po terenie SAG i pozwala na zwiększenie poboru do poziomu $760 \text{ m}^3/\text{d}$ dzięki częściowemu odciążeniu rurociągów po zachodniej stronie centrum Zatora. Nie rozwiązuje jednak problemu zbyt małej przepustowości rurociągu wzdłuż ul. Krakowskiej.

Wielkość dostawy wody z poszczególnych SUW w wyżej opisanych warunkach kształtowałyby się następująco: SUW „Graboszyce” – $1440 \text{ m}^3/\text{d}$, SUW „Rabusiowice” – $820 \text{ m}^3/\text{d}$.



Rys. 1. Lokalizacja proponowanego połączenia DN160 w celu poprawy sposobu dostawy i rozprowadzenia wody po terenie SAG

Fig. 1. The location of suggested link DN160 in order to improve water delivery and distribution in the SAG area

1.6. Analiza warunków dostawy wody na teren SAG z wykorzystaniem nowego przewodu DN160 wzdłuż ulic Granicznej i 3. Maja

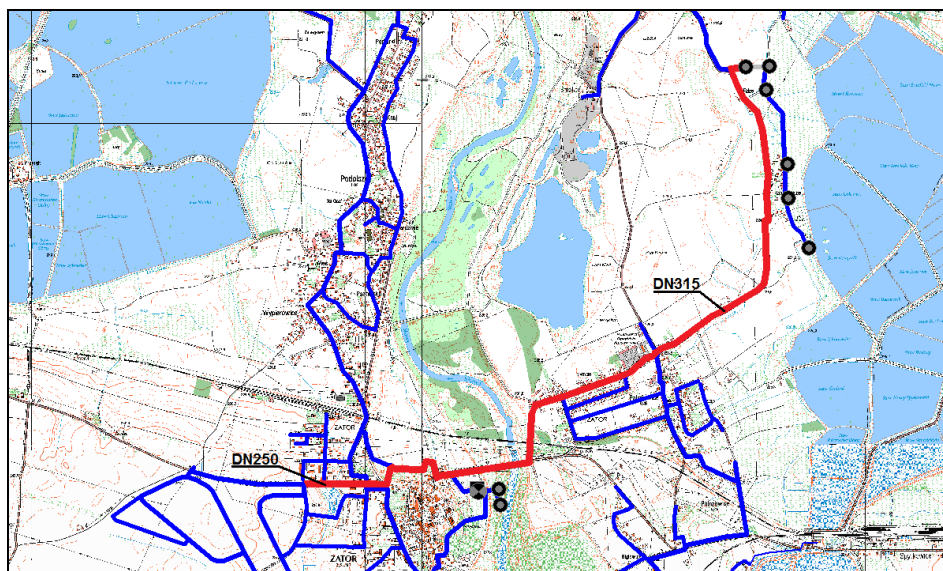
Jak pokazują wyniki obliczeń, wykonanie dodatkowego połączenia DN160 od końcówki istniejącego przewodu DN160 w rejonie Łowiczek Panieńskich, wzdłuż ul. Granicznej oraz 3. Maja do połączenia z istniejącą siecią na terenie SAG nie będzie miało istotnego wpływu na poprawę warunków dostawy wody do strefy. Wykonanie tego rurociągu zwiększyłoby przepustowość połączeń pomiędzy południową a północną częścią systemu, lecz już w pełni wykorzystana wydajność ujęcia w Graboszycach i tak nie pozwoli na przesłanie większej ilości wody z tego kierunku.

Analiza uzyskanych wyników wskazuje, że główne przepływy z SUW „Graboszyce” w kierunku centrum obszaru zasilania, w tym również SAG koncentrowałyby się na odcinkach: Graboszyce – zb. „Grodzisko” – Palcowice oraz Graboszyce – Rudze – Zator (z wykorzystaniem dodatkowego połączenia DN110).

1.7. Analiza warunków dostawy wody w rejon SAG w przypadku wymiany istniejącego rurociągu DN160 na DN315 na odcinku od Rabusiowic (miejsce włączenia SUW do sieci miejskiej) do ul. J. Słowackiego w Zatorze

Pomimo tego, iż analizowane rozwiązanie jest w pełni funkcjonalne i zapewni dostarczenie wymaganej ilości wody oraz utrzymanie w rejonie SAG ciśnienia nie mniejszego od 2,0 barów w każdych warunkach poboru wody, to wymiana istniejących rurociągów na długości blisko 3700 m wydaje się być ekonomicznie nieuzasadniona.

Alternatywą dla powyższego rozwiązania jest ułożenie dodatkowego rurociągu o średnicy nie mniejszej niż DN250 (PN10) od projektowanej SUW „Rabusiowice” do zbiegu ulic Oświęcimskiej i M. Kopernika (rys. 2).



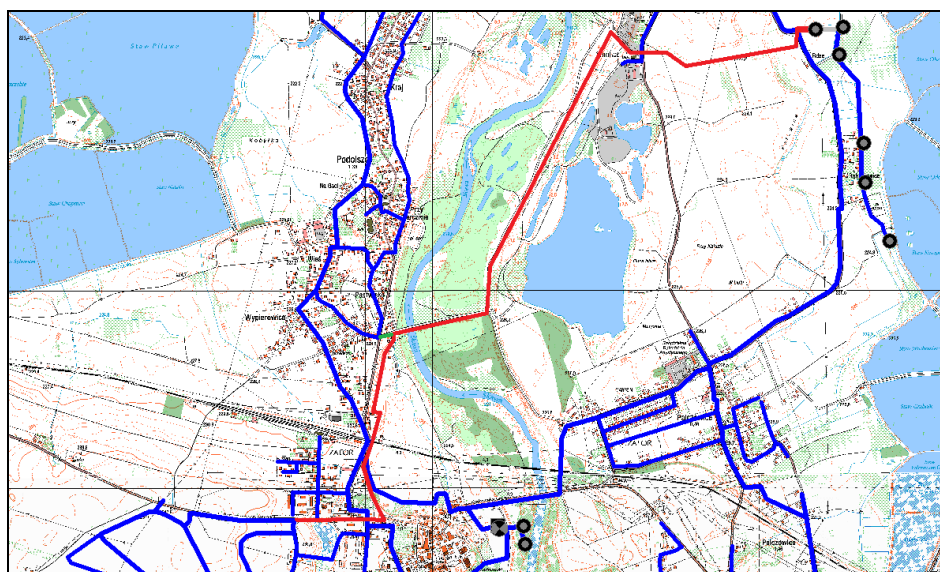
Rys. 2. Zakres ewentualnej wymiany rurociągu DN160 na DN315 na odcinku od planowanej SUW „Rabusiowice” do ul. J. Słowackiego oraz DN250 wzdłuż ul. Oświęcimskiej na odcinku pomiędzy ul. J. Słowackiego i M. Kopernika w Zatorze wraz z proponowanym połączeniem DN160 na odcinku od ul. J. Słowackiego do ul. 3. Maja w celu poprawy warunków dostawy i rozprowadzenia wody po terenie SAG.

Fig. 2. The scope of possible pipeline replacement (DN160 to DN315) on the section from planned water treatment plant “Rabusiowice” to J. Słowackiego street and DN250 in Oświęcimska street between J. Słowackiego and M. Kopernika streets in Zator together with suggested merge DN160 from J. Słowackiego street to 3. May street in order to improve water delivery and distribution in the SAG area

1.8. Analiza warunków dostawy wody w rejon SAG z wykorzystaniem dodatkowego połączenia DN250 na odcinku od SUW „Rabusiowice” do ul. M. Kopernika w Zatorze

I wariant trasy przewodu

W wariantcie tym woda z SUW „Rabusiowice” byłaby dostarczana do centrum miasta i SAG dwoma rurociągami: istniejącym rurociągiem DN160 Palczowice – Smolice oraz nowym rurociągiem tranzytowym DN250 włączonym do istniejącej sieci w rejonie skrzyżowania ulic Oświęcimskiej i M. Kopernika (rys. 3). Ponadto przewiduje się połączenie nowego przewodu DN250 z istniejącą siecią u zbiegu ulic Chrzanowskiej, Staromiejskiej i Mostowej (DN110) oraz na południe od wiaduktu kolejowego u zbiegu ulic Chrzanowskiej i Wszystkich Świętych (DN160), a także w rejonie skrzyżowania ulic Oświęcimskiej i J. Słowackiego (DN160). Łączna długość tego odcinka wyniesie 4700 m.



Rys. 3. Schemat I wariantu trasy nowego połączenia DN250 pomiędzy planowaną SUW „Rabusiowice” a węzłem sieci w rejonie ulic Oświęcimskiej i M. Kopernika

Fig. 3. First option scheme of new DN250 connection between planned water treatment plant “Rabusiowice” and network node in the area of Oświęcimska and M. Kopernika streets

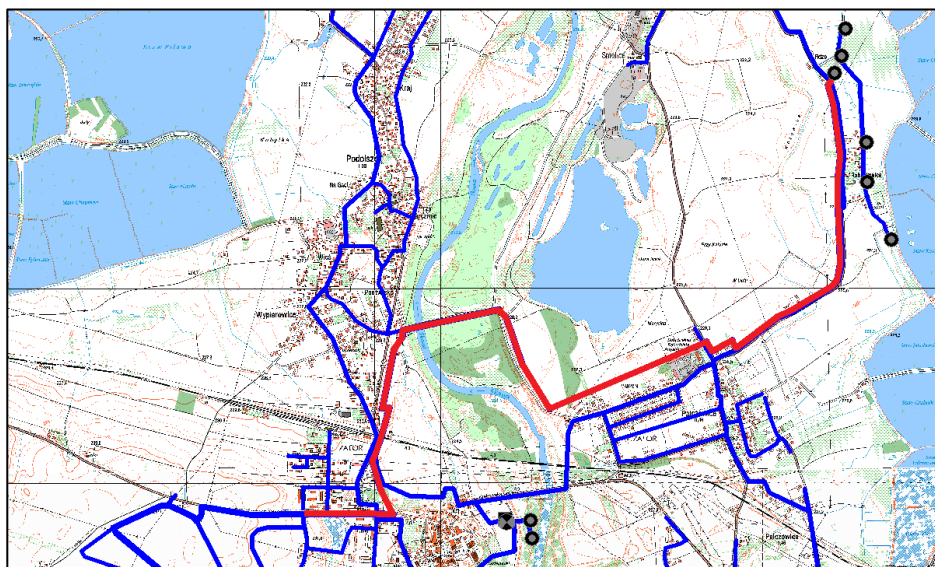
Przeprowadzone obliczenia w pełni potwierdzają funkcjonalność tego rozwiązania zarówno pod względem przepustowości połączeń oraz możliwości utrzymania na terenie SAG ciśnień nie mniejszych od 2,2 bara dla wielkości poboru nieprzekraczającego 2155 m³/d. Istotnym jest, aby nowe połączenie

o średnicy DN250 zostało doprowadzone do planowanego węzła sieci u zbiegu ulic Oświęcimskiej i M. Kopernika oraz powstał wspomniany wcześniej rurociąg DN160 wzdłuż ul. Oświęcimskiej na odcinku od ul. M. Kopernika do połączenia z siecią na terenie SAG w rejonie ulic Sosnowej i Grabskiego.

Główny ciężar przesyłu wody z ujęć na teren SAG oraz centrum Zatora przejąłby w tym wypadku nowy odcinek tranzytowy DN250, transportując ok. 1820 m³/d z maksymalnym natężeniem 38 dm³/s. Istniejącym odcinkiem DN160 Palczowice – Smolice transportowane byłoby ok. 370 m³/d z natężeniem do 8 dm³/s. Ujęcie w Graboszycach dostarczałoby ok. 800 m³/d przez istniejący przewód DN200 Graboszyce – Rudze oraz ok. 390 m³/d z wykorzystaniem połączenia DN160 przez Grodzisko.

II wariant trasy przewodu

W wariantcie tym woda z SUW „Rabusiowice” byłaby dostarczana do centrum miasta i SAG dwoma rurociągami: istniejącym rurociągiem DN160 Palczowice – Smolice oraz nowym rurociągiem tranzytowym DN250 prowadzonym równoległe do istniejącego przewodu DN160 Palczowice – Smolice na odcinku od SUW „Rabusiowice” do Palczowic. W dalszej części rurociąg poprowadzony byłby po północnej stronie zabudowy na terenie Palczowic w kierunku wschodnim do ul. M. Orzeszkowej i wzdłuż niej do ul. Mostowej (rys. 4). Od tego miejsca trasa rurociągu przebiegałaby, tak jak w I wariantcie (rys. 3).



Rys. 4. Schemat II wariantu trasy nowego połączenia DN250 pomiędzy planowaną SUW „Rabusiowice” a węzłem sieci w rejonie ulic Oświęcimskiej i M. Kopernika w Zatorze

Fig. 4. Second option scheme of new DN250 connection between planned water treatment plant “Rabusiowice” and network node in the area of Oświęcimska and M. Kopernika streets in Zator

W celu poprawy warunków dostawy wody z ujęcia w Rabusiowicach w kierunku Trzebieńczyc i Laskowej, zwłaszcza w warunkach awaryjnych, przewiduje się połączenie nowego przewodu DN250 z istniejącym rurociągiem DN160 w Palczowicach w rejonie zbiegu ulic M. Orzeszkowej i Zaskawie. Pozostałe połączenia projektowanego przewodu, opisane w I wariantcie – u zbiegu ulic Chrzanowskiej, Staromiejskiej i Mostowej (DN110), na południe od wiaduktu kolejowego u zbiegu ulicy Chrzanowskiej i Wszystkich Świętych (DN160) oraz w rejonie ulic Oświęcimskiej i J. Słowackiego (DN160) – pozostają bez zmian.

W stosunku do I wariantu trasy długość projektowanego połączenia DN250 w II wariantcie zwiększy się o ok. 700-750 m i wyniesie łącznie ok. 5400 m. Pod względem hydraulicznym nie wniesie to istotnych zmian w sposobie funkcjonowania całego systemu, a jedynie spowoduje niewielki spadek ciśnienia w godzinach maksymalnego rozbioru wody w jego zachodniej części (rejon SAG). Obliczenia wykazały, że w godzinach maksymalnego poboru, przy uwzględnieniu poboru wody na cele przeciwpożarowe na terenie SAG w ilości 20 dm³/s, ciśnienia robocze w sieci spadną nie więcej niż o 0,7 m sł.w, a minimalna wartość ciśnienia na terenie SAG nie powinna spaść poniżej 2,0 barów.

2. Wnioski

2.1. Wybór wariantu modernizacji systemu dystrybucji wody

Na podstawie analizy wyników przeprowadzonych obliczeń można stwierdzić, że najbardziej korzystnym rozwiązaniem modernizacji systemu wodociągowego gminy Zator jest wariant opisany w punkcie 1.8, którego istotą jest wykonanie dodatkowego połączenia pomiędzy planowaną SUW „Rabusiowice” a strefą SAG w I lub II wariantcie jego trasy (rys. 3, 4). Połączenie to powinno posiadać średnicę nie mniejszą niż DN250 i istotne jest, aby zostało podłączone do sieci miejskiej w rejonie skrzyżowania ulic Oświęcimskiej i M. Kopernika, gdyż wcześniejsze włączenie tego przewodu do istniejącej sieci ograniczy jego możliwości przesyłowe i zwiększy wysokość strat hydraulicznych, co negatywnie odbije się na wartości ciśnienia dyspozycyjnego na terenie SAG w godzinach maksymalnego rozbioru wody.

Ważne jest, aby inwestycja ta była powiązana z powstaniem nowego odcinka DN160 wzdłuż ul. Oświęcimskiej od ul. M. Kopernika do połączenia z siecią na terenie SAG u zbiegu ulic Sosnowej i Grabskiego do ul. Oświęcimskiej.

Korzystnym będzie również podłączenie do nowego rurociągu tranzytowego z Rabusiowic istniejącej sieci na terenie Podolsza w okolicach mostu na Skawie, u zbiegu ulic Starowiejskiej i Mostowej oraz na terenie Zatora u zbiegu ulic Chrzanowskiej i Wszystkich Świętych, na południe od wiaduktu kolejowego, a także w rejonie skrzyżowania ulic Oświęcimskiej, J. Słowackiego i T. Kościuszki.

W ramach planowanej modernizacji sieci powinno również zostać wykonane połączenie DN110 wzdłuż ul. Wadowickiej na odcinku od granicy administracyjnej Zator/Rudze do końcówki istniejącej sieci w okolicach cegielni.

2.2. SUW „Graboszyce”

Wyniki obliczeń dla okresu perspektywnego wskazują, że pomimo uruchomienia ujęcia w Rabusiowicach, podającego wodę do sieci pod ciśnieniem ok. 6,6 bara w ilości 2450 m³/d, ilość wody, jaka będzie musiała być dostarczana z ujęcia w Graboszycach [3] nie będzie znacząco mniejsza niż obecnie. Wydajność tego zakładu, w zależności od wartości poboru wody, będzie musiała wynosić ok. 1100-1400 m³/d przy maksymalnej wydajności godzinowej sięgającej ok. 60 m³/h oraz podobnych do obecnych parametrach ciśnienia wyjściowego. Wynika to przede wszystkim z wzajemnego położenia ujęcia i zbiorników „Łysa Góra” i „Grodzisko” oraz sposobu ich współpracy. Wydajność SUW „Graboszyce” w warunkach poboru z sieci w ilości określonej dla okresu perspektywnego nie powinna być mniejsza od ok. 1000 m³/d, gdyż w przeciwnym wypadku może to prowadzić do problemów z utrzymaniem odpowiedniego poziomu napełnień zbiorników, a zwłaszcza zbiornika „Grodzisko”, pomimo zachowania znacznego zapasu wody w zbiorniku „Łysa Góra”.

Zwiększenie obszaru oddziaływania (zasilania) ujęcia w Rabusiowicach, a przez to skutecznego „podparcia” zbiornika „Grodzisko” od strony północnej, wymagałoby zwiększenia ciśnienia tłoczenia w pompowni wody czystej w SUW „Rabusiowice”, co z kolei spowoduje wzrost ciśnienia do ponad 7,5 bara w północnej, niżej położonej części sieci (Smolice).

Ze względu na istotny wzrost przewidywanego zapotrzebowania na wodę w stosunkowo krótkim horyzoncie czasowym, SUW „Graboszyce” [3] wraz z pompownią wody czystej powinny zostać zmodernizowane i dostosowane do pracy ciągłej z wydajnością do 1100-1400 m³/d. Zalecane jest również powiększenie pojemności zbiornika kontaktowego na terenie SUW z 50 do minimum 100 m³, co powinno pozwolić na bardziej elastyczną eksploatację całego ciągu technologicznego stacji, pompowni wody czystej oraz samego ujęcia.

2.3. SUW „Rabusiowice”

Ze względu na przewidywaną w okresie perspektywnym wielkość rozbiórów chwilowych, przekładających się na konieczność dostawy wody z ujęcia w Rabusiowicach z wydajnością chwilową dochodzącą do 175 m³/h, przewyższającej deklarowaną wydajność ujęcia (103 m³/h), na terenie SUW powinien powstać zbiornik wody czystej o pojemności 200 m³ z możliwością jego rozbudowy do 385 (400) m³.

Pompownia wody czystej powinna posiadać docelowo zdolność przetłoczenia w godzinach szczytowych do 175 m³/h, przy ciśnieniu wyjściowym ok. 6,4-6,6 bara, co odpowiada bezwzględnej wysokości ciśnienia tłoczenia 288,0-290,0 m n.p.m.

2.4. Zbiornik „Łysa Góra”

Najważniejsze wnioski z obliczeń dotyczące sposobu funkcjonowania zbiornika „Łysa Góra” w obecnych warunkach opisano szerzej w punkcie 1.2. W okresie perspektywicznym nie należy się spodziewać wystąpienia istotnych zmian w sposobie pracy tego zbiornika. Jego specyficzne położenie w stosunku do ujęcia w Graboszycach powoduje, że nadal będzie on pracował w górnej strefie napełnień z niewielkim stopniem wymiany wody.

Jeśli w przyszłości zaszłaby ewentualna potrzeba zwiększenia pojemności zbiorników sieciowych to należy przede wszystkim rozważyć rozbudowę zbiornika „Grodzisko”. Wynika to z jego nieco lepszej lokalizacji w stosunku do położenia ujęć oraz obszaru o największych poborach skupionych.

Należy zwrócić uwagę, że jakiegokolwiek wykorzystanie zbiornika „Łysa Góra” jest i będzie możliwe tylko pod warunkiem zasilania go z ujęcia w Graboszycach.

2.5. Zbiornik „Grodzisko”

Zbiornik „Grodzisko” pełni istotną rolę w funkcjonowaniu prawobrzeżnej części systemu wodociągowego, natomiast jego oddziaływanie na pozostałą część systemu jest stosunkowo niewielkie. Jego ewentualna rozbudowa i zwiększenie pojemności mogłyby doprowadzić do wzmocnienia funkcji zbiornika wyrównania dobowego pod warunkiem odpowiedniej współpracy z pompownią wody czystej w Graboszycach. Biorąc jednak pod uwagę inne czynniki m.in. istniejący układ sieci w południowej części systemu wodociągowego będzie to trudne do zrealizowania. Zwiększenie pojemności tego zbiornika przede wszystkim zwiększyłoby zapas wody, który mógłby być zużyty w sytuacjach awaryjnych, nie miałoby natomiast negatywnego wpływu na stopień wymiany wody. Ze względu na swoje położenie podstawowym i jedynym źródłem jego zasilania jest i będzie ujęcie w Graboszycach.

2.6. Zbiorniki wyrównania dobowego na terenie SAG

Zaleca się, aby przy wydawaniu warunków technicznych dla nowych odbiorców na terenie SAG, których przewidywane zapotrzebowanie na wodę będzie przekraczać 100 m³/d, obligować ich do budowy lokalnych, terenowych zbiorników wyrównawczych o pojemnościach dostosowanych do właściwej im nierównomierności poboru wody w ciągu doby. Pozwoli to na bardziej stabilną pracę całego systemu zaopatrzenia w wodę, ograniczy wahania ciśnienia w sieci oraz zwiększy niezawodność dostawy. Rozwiązanie to jest istotne dla sposobu oraz kosztów eksploatacji całego systemu, w tym również niezbędnej wydajności, przepustowości czy też kubatury jego składowych.

3. Podsumowanie

Współczesne systemy wodociągowe są skomplikowanymi układami technicznymi składającymi się z szeregu urządzeń i obiektów inżynierskich. Proces ich projektowania na każdym z etapów wymaga uwzględnienia wielu wzajemnie oddziałujących na siebie czynników. Zakres niezbędnych do tego celu informacji oraz ich wzajemne powiązania czynią niekiedy zadanie projektowe niemożliwym do zrealizowania bez zastosowania technik komputerowych opartych na zaawansowanych algorytmach obliczeniowych. Na szczególną uwagę w tym względzie zasługują narzędzia inżynierskie umożliwiające nie tylko analizę sposobu pracy systemu wodociągowego w oparciu o parametry jego funkcjonowania w określonych, statycznych warunkach dostawy i poboru wody, ale przede wszystkim pozwalające na dynamiczną symulację przebiegu zmian wszystkich istotnych wskaźników opisujących system, takich jak np.: natężenia przepływów i ciśnienia w odcinkach sieci, parametry pracy pompowni, bieżący stan napełnienia zbiorników itp.

W artykule przedstawiono jeden ze sposobów praktycznego zastosowania oprogramowania inżynierskiego wykorzystującego metody modelowania matematycznego dla wypracowania optymalnego wariantu modernizacji istniejącego systemu wodociągowego. W wyniku przeprowadzonych obliczeń ustalono, który z analizowanych rozwiązań jest optymalnym pod względem funkcjonalnym i ekonomicznym.

Literatura

- [1] Polska Norma: PN-B-02863/Az1 2001. Ochrona przeciwpożarowa budynków. Przeciwożarowe zaopatrzenie wodne. Sieć wodociągowa przeciwpożarowa.
- [2] Polska Norma: PN-EN 1508-2002 – Zaopatrzenie w wodę. Wymagania dotyczące systemów i ich części składowych przeznaczonych do gromadzenia wody.
- [3] Projekt budowlany rozbudowy Stacji Uzdatniania Wody „Graboszyce”. Opr.: „EKO-Technika”, mgr inż. B. Zawadzka i mgr inż. S. Zawadzki, 2002.
- [4] Rossman L. A.: Epanet 2 User’s manual, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH 45268, EPA/600/R-00/057, September 2000.
- [5] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 r. w sprawie określenia przeciętnych norm zużycia wody. Dziennik ustaw Nr 8, poz. 70.
- [6] Wierzbicki R.: zastosowanie modelowania matematycznego w projektowaniu modernizacji systemów zaopatrzenia w wodę na przykładzie systemu wodociągowego gminy Zator (część I). Czasopismo Inżynierii Ładowej, Środowiska i Architektury Journal of civil engineering, environment and architecture, JCEEA, t. XXXII, z. 62 (3/2015), DOI: 10.7862/rb.2015.134, str. 511-522. Rzeszów 2015.

IMPROVEMENTS DESIGNING OF WATER SUPPLY SYSTEMS ON THE EXAMPLE OF ZATOR MUNICIPALITY WATER SUPPLY SYSTEM

Summary

The article includes practical application of mathematical modeling techniques using specialized engineering software for designing improvements of existing water supply systems on stage of conceptual design. Presented numerical analysis was related to Zator municipality water supply system. The planned modernization of the system is caused by establishing in Zator Western Małopolska Economic Activity Zone (SAG). A significant increase of predicted water demand and resulting need for additional water intakes fundamentally affects water supply network and related facilities. Localization of new water intake will change current water direction and flow. It will also change the way of exploitation of water tanks and required flow rate for pumping stations. The aim of described numerical analysis is to check how the system will work under new conditions as well as to define required technical parameters of particular objects and devices to find optimal functioning of the system in new conditions. Conclusions from this type of analysis is a set of guidelines for the building-executive project.

Keywords: numerical analysis, modeling of water supply systems, water supply, water system designing

Przesłano do redakcji: 30.05.2015 r.

Przyjęto do druku: 1.12.2015 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.138

Magdalena WÓJCIK¹

SEZONOWE ZMIANY PARAMETRÓW FIZYKOCHEMICZNYCH I MIKROBIOLOGICZNYCH WODY ŻWIROWNI WYKORZYSTYWANEJ DO REKREACJI

W pracy przedstawiono ocenę sezonowych zmian parametrów fizykochemicznych i mikrobiologicznych poeksploatacyjnego zbiornika w Rzeszowie, który służy jako miejsce wykorzystywane do kąpieli. Wodę do badań pobierano raz w miesiącu, od kwietnia do grudnia 2011 roku na trzech stanowiskach. Dokonywano pomiarów temperatury wody, konduktywności, pH, zawartości tlenu rozpuszczonego w wodzie, stopnia natlenienia wody, potencjału oksydoredukcyjnego, zawartości stałych substancji rozpuszczonych, stężenia jonów amonowych, azotanowych, azotynowych, fosforanowych i chlorkowych. Mierzono także zawartość chlorofilu i określano liczebność sinic. Oznaczano miano bakterii z grupy coli i określano ogólną liczbę bakterii psychrofilnych i mezofilnych. Stężenie tlenu rozpuszczonego i stopień nasycenia wody tlenem w Żwirowni były wysokie, także w lecie. Konduktywność wody była wysoka i zwykle przekraczała 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Zawartość stałych substancji rozpuszczonych zawsze przewyższała 0,4 g/l. W wodzie zbiornika odnotowano stosunkowo niewielkie stężenie jonów azotanowych w całym cyklu badań. Stwierdzono wzrost stężenia jonów azotynowych i fosforanowych w czerwcu. Stężenie chlorofilu w wodzie wyraźnie zmieniło się sezonowo, a liczebność fitoplanktonu była najwyższa w czerwcu. Ogólna liczba bakterii mezofilnych była wyraźnie wyższa w lecie. W tym okresie również częściej notowano niższe wyniki dotyczące obecności bakterii z grupy coli. Większość badanych parametrów fizykochemicznych zbiornika była charakterystyczna dla wód czystych. Analizy wyników badań wykazały, że pomimo okresowego obniżenia jakości sanitarnej wody, można je zaliczyć do wód czystych. Jakość wody Żwirowni powoduje, że jest to zbiornik udostępniony do rekreacji, choć zebrane dane wskazują, że niektóre parametry wody mogą okresowo się pogarszać. Przedstawione wyniki badań pokazały tendencje zmian parametrów fizykochemicznych oraz sanitarnych wody Żwirowni związane z porami roku i intensywnością wykorzystywania do kąpieli.

Słowa kluczowe: zbiornik poeksploatacyjny, rekultywacja, kąpielisko, jakość wody, eutrofizacja

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Magdalena Wójcik, Uniwersytet Rzeszowski, Katedra Biologii Środowiska, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów, tel. +48 17 785 52 04, mwojcik@ur.edu.pl

1. Wstęp

Do zbiorników wody stojącej pochodzenia antropogenicznego zalicza się pozostałości po wydobyciu złoża, w tym wyrobiska po eksploatacji: siarki, torfu czy węgla brunatnego [22, 45] oraz iłów, piasku i żwiru [23]. Wyrobiska te zazwyczaj wypełnione są wodą. Często odbywa się to w sposób naturalny, choć takie zabiegi są też jedną z metod rekultywacji [13, 14]. Przykładem jest Jezioro Tarnobrzesckie, zbiornik po eksploatacji złóż siarki. Prace rekultywacyjne pozwoliły na jego zagospodarowanie i stworzenie dogodnych warunków występowania wielu gatunków roślin i zwierząt wodnych [34]. Pomimo, że zbiorniki poeksploatacyjne nie mają naturalnego pochodzenia, to jednak mogą odgrywać istotną rolę siedliskotwórczą dla organizmów wodnych i od wody zależnych [39], mogą w końcu stać się obszarem cennym przyrodniczo i ostoją dla gatunków chronionych [19].

Pozostałe po wydobyciu żwiru zbiorniki wodne często są bardzo głębokie, mają stosunkowo małą powierzchnię oraz duże nachylenie krawędzi ścian [19], co ogranicza możliwość zasiedlenia przez makrofity związane z płytką strefą jeziorową [9, 20] i związane z nimi bezkręgowce [2]. Na zespoły organizmów wodnych w zbiornikach pokopalnianych wpływa charakter podłoża. Zwykle jest on homogenny. W wyrobiskach po eksploatacji piasku na jednorodnym, piaszczystym dnie różnorodność zoobentosu jest niewielka [4, 42].

Podstawowymi parametrami warunkującymi występowanie organizmów w zbiornikach są właściwości fizyko-chemiczne wody, a zwłaszcza jej temperatura i zawartość tlenu rozpuszczonego, a także obecność materii organicznej i ilość rozpuszczonych w wodzie związków biogenych [1]. Wyrobiska zlokalizowane w zlewniach zalesionych są zasobne w materię allochtoniczną dostarczaną głównie jako opadłe liście, natomiast do zbiorników w zlewniach zagospodarowanych rolniczo związki biogenne dostają się do wody wraz ze spływem powierzchniowym. Zagrożeniem dla jakości wód są też ścieki bytowo-gospodarcze [19]. W przypadku wód narażonych na dopływ zanieczyszczeń, tlen rozpuszczony warunkuje procesy samooczyszczania się wody [6].

Kopalnie piasku czy żwiru znajdują się często w obrębie miast i po zrehabilitowaniu stają się częścią terenów rekreacyjnych [12, 32]. Jeżeli parametry fizyko-chemiczne i sanitarne wody będą odpowiednie, to może ona służyć nawet jako miejsce wykorzystywane do kąpieli i kąpieliska. Wymagają one wówczas stałej kontroli jakości wody, z uwzględnieniem wskaźników istotnych dla tego rodzaju obiektów [15]. Badaniem powinny być także objęte ciekłe zasilające kąpieliska [24].

Celem niniejszej pracy była ocena sezonowych zmian wybranych parametrów fizyko-chemicznych i mikrobiologicznych wody Żwirowni w Rzeszowie, zbiornika wykorzystywanego do celów rekreacyjnych.

2. Teren badań

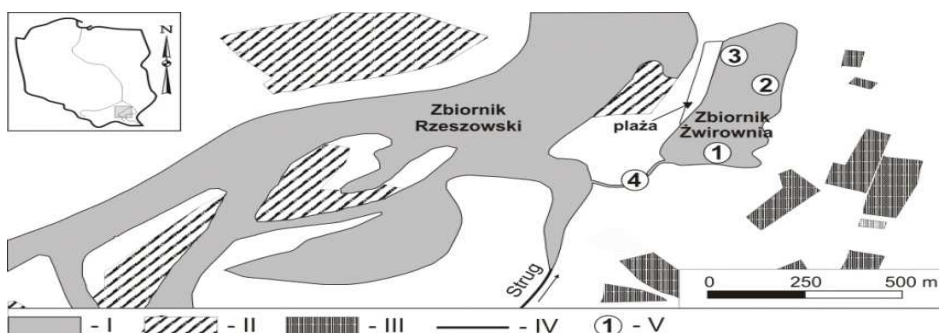
Zbiornik wodny będący obiektem badań to zrekultywowane wyrobisko po eksploatacji żwiru, zlokalizowany na terasie zalewowej Wisłoka (Ryc. 1). Na Wisłoku w 1973 roku wybudowano zaporę. Podpiętrza ona wodę dla potrzeb ujęcia wody dla Rzeszowa. Przez pierwszych kilka lat istnienia zalew pełnił również funkcję rekreacyjną, do czasu pogorszenia się jakości wody. Do Zalewu Rzeszowskiego uchodzi jeden z większych dopływów Wisłoka – rzeka Strug. Przed powstaniem zbiornika zaporowego i w pierwszym okresie jego istnienia na dawnej terasie zalewowej Wisłoka, przy ujściu rzeki Strug funkcjonowała Żwirownia [17]. W efekcie powstało wyrobisko, które wypełniło się wodą infiltrującą z zalewu. Dodatkowo połączone jest rowem melioracyjnym z ujściowym odcinkiem rzeki Strug. Przepływ wody tą drogą jest możliwy jedynie przy wzniesieniu poziomu wody w rzece.

Wyrobisko ma kształt owalny, wymiary ok. 130×400 m. i powierzchnię wynoszącą 3,5 ha. Średnia głębokość wody w zbiorniku wynosi 6 m. Od strony wschodniej jego brzegi są strome, porośnięte roślinnością zielną oraz częściowo drzewami liściastymi. Od strony zachodniej, fragment o powierzchni około 20 arów zajmuje piaszczysta plaża. W odległości ok. 100 m od Żwirowni znajdują się budynki mieszkalne oraz ruchliwa droga. W lecie zbiornik jest wykorzystywany jako popularne w mieście miejsce do kąpieli [48], a także jako zbiornik wędkarski.

3. Metodyka

W zbiorniku próby wody pobierano raz w miesiącu, w okresie od kwietnia do grudnia 2011 roku na trzech stanowiskach rozmieszczonych w taki sposób, aby uwzględniały wszystkie charakterystyczne jego strefy. Jedynie w grudniu nie oznaczano miana bakterii z grupy coli. Stanowisko 1 usytuowano w południowej części wyrobiska, stanowisko 2 wyznaczono po jego wschodniej stronie, natomiast stanowisko 3 zlokalizowano po zachodniej stronie Żwirowni, w pobliżu plaży. Dodatkowo, wyznaczono stanowisko 4 w małym stawie na kanale doprowadzającym wodę z rzeki Strug i Zalewu Rzeszowskiego (Ryc. 1).

Bezpośrednio w terenie za pomocą wieloparametrowego czujnika HACH HQ 40 mierzono zawartość tlenu rozpuszczonego oraz temperaturę wody. Pozostałe analizy wykonywano w laboratorium bezpośrednio po przetransportowaniu prób. Przy użyciu sondy YSI 6600 V2 mierzono przewodność wody, pH, mętność, potencjał oksydoredukcyjny, obecność sinic, BZT₅, chlorofil oraz zawartość stałych związków rozpuszczonych (TDS). Za pomocą spektrofotometru Slandi LF-300 mierzono stężenie jonów amonowych, azotanowych, azotynowych, chlorkowych i fosforanowych.



Ryc. 1. Teren badań i lokalizacja stanowisk badawczych; I – zbiorniki wodne, II – zadrzewienia, III – zabudowa, IV – rzeki i potoki, V – stanowiska badawcze z numeracją

Fig. 1. Study area and localization of the sampling sites; I – water reservoirs, II – woodlots, III – buildings, IV – rivers and streams, V – sampling sites, numbered

Oprócz analiz parametrów fizyko-chemicznych wykonano badania mikrobiologiczne. Oznaczano ogólną liczbę bakterii mezofilnych (37°C) i psychrofilnych (22°C) oraz określano obecność bakterii z grupy coli, będących wskaźnikiem sanitarnym. Zastosowano metodę dziesiętnych rozcieńczeń. Do hodowli bakterii mezo- i psychrofilnych zastosowano agar odżywczy, do wykrywania obecności bakterii z grupy coli stosowano pożywkę laktozową z żółcią wołową i zielenią brylantową [26, 27].

Średnie wartości poszczególnych parametrów wody porównano za pomocą jednoczynnikowej analizy wariancji lub jej nieparametrycznego odpowiednika - testu Kruskala-Wallisa, sprawdzając uprzednio jednorodność wariancji za pomocą testu Levene'a [43].

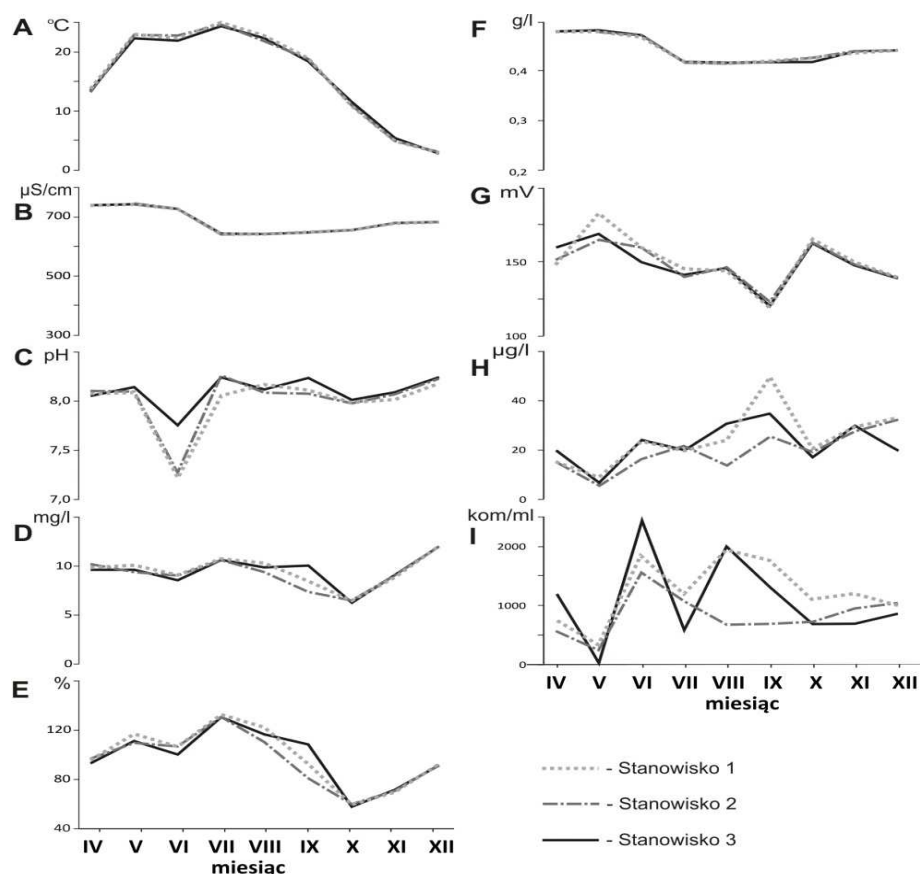
4. Wyniki

Porównując średnie wartości badanych parametrów na stanowiskach 1-3, stwierdzono brak istotnych statystycznie różnic. Temperatura wody w okresie badań była podobna na wszystkich stanowiskach, maksymalną stwierdzono w lipcu i wynosiła ona prawie 25°C. Konduktywność wody zmieniała się w ciągu roku nieznacznie i wynosiła ponad 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Odczyn wody był lekko zasadowy. Stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie było wysokie, podobnie jak nasycenie tlenem. Zawartość tlenu była zwykle wyższa od 7 mg/l (Ryc. 2). BZT₅ miało najwyższą wartość we wrześniu na stanowisku 3 i wynosiło 7,90 mg/l. Mętność wody w zbiorniku wynosiła średnio 4,69 NTU. Zawartość stałych substancji rozpuszczonych (TDS) w całym okresie badań utrzymywała się na podobnym poziomie. Potencjał oksydoredukcyjny wody zbiornika mieścił się w zakresie od 119,8 – 182,7 mV. Stężenie chlorofilu było najniższe w maju i nie przekroczyło 10 $\mu\text{g}/\text{l}$. W pozostałych miesiącach wynosiło ono ok.

25 $\mu\text{g/l}$, maksymalne stwierdzono we wrześniu na stanowisku 1 (50,1 $\mu\text{g/l}$). Obecność sinic w wodzie ulegała wyraźnym zmianom. W okresie od czerwca do września na stanowiskach 1 – 3 wartość tego parametru przekraczała 500 kom./ml. Na stanowisku 3 dwukrotnie zanotowano wartość powyżej 2000 kom./ml:

- w czerwcu – 2430 kom./ml;
- w sierpniu – 2010 kom./ml (Ryc. 2).

Stężenie jonów chlorkowych było niskie, najwyższe 60 mg/l zanotowano w grudniu. Zawartość azotu amonowego w wodzie była niska. Jedynie w listopadzie stwierdzono na wszystkich stanowiskach podwyższone stężenie jonów amonowych w wodzie (0,1 – 0,2 mg/l). Azot azotanowy występował w małych stężeniach, maksymalne odnotowano w czerwcu 0,55 mg/l. Jony azotynowe



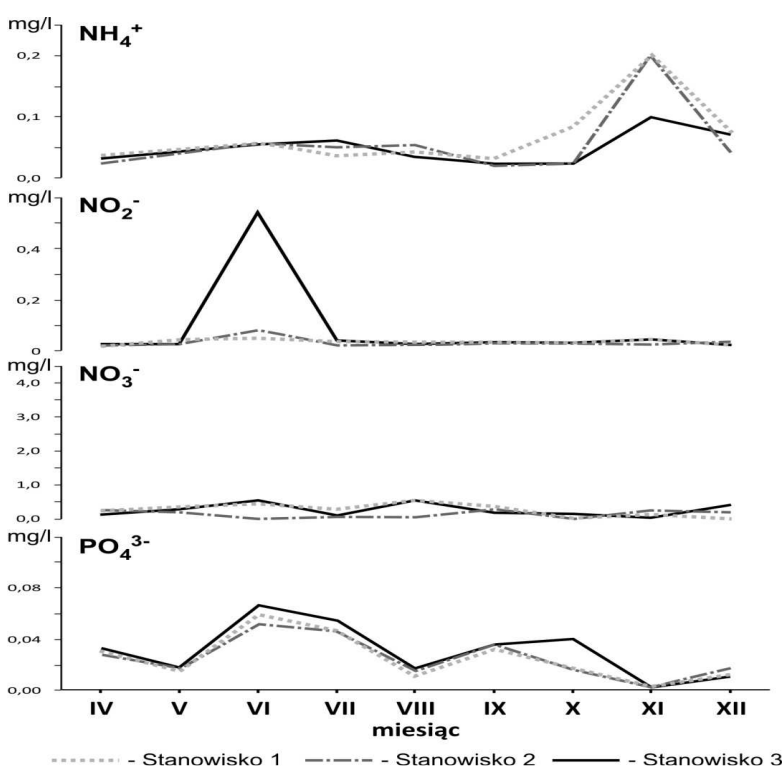
Rys. 2. Sezonowe zmiany parametrów fizykochemicznych wody badanego zbiornika; A – temperatura, B – konduktywność, C – pH, D – stężenie tlenu, E – nasycenie wody tlenem, F – stałe substancje rozpuszczone (TDS), G – potencjał redoks, H – chlorofil, I – sinice

Fig. 2. Seasonal changes of the physico-chemical parameters of water in the gravel pit; A – temperature, B – conductivity, C – pH, D – oxygen concentration, E – oxygen saturation, F – total dissolved solids (TDS), G – redox potential, H – chlorophyll, I – cyanobacteria

miały niewielkie stężenia, osiągając w czerwcu na stanowisku 3 0,54 mg/l (Rys. 3). Natomiast stężenie jonów fosforanowych było najwyższe w miesiącach letnich, a w czerwcu na każdym stanowisku przekraczało 0,05 mg/l (Ryc. 3).

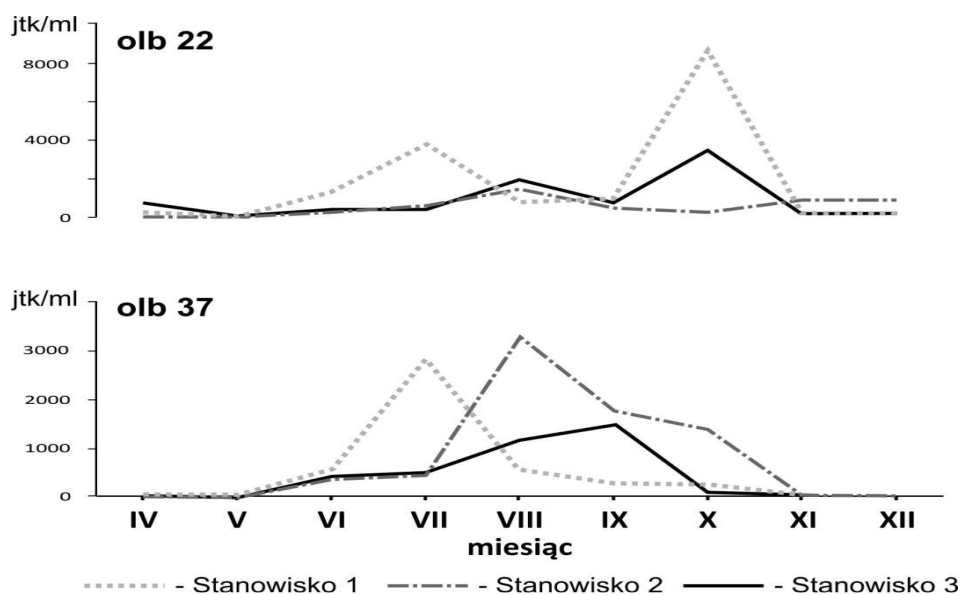
Parametry mikrobiologiczne również zmieniały się w poszczególnych miesiącach. Ogólna liczba bakterii psychrofilnych była najwyższa w październiku na stanowisku 1 (Ryc. 4), natomiast najwyższą ogólną liczbę bakterii mezofilnych stwierdzono w sierpniu na stanowisku 2, a w lipcu na stanowisku 1 (Ryc. 4). Miano bakterii z grupy coli miało zróżnicowane wartości. W lipcu miano coli wynosiło 0,01 na stanowisku 2 i 3 (Tab. 1).

Porównanie stanowisk ze zbiornika Żwirownia (1 – 3) z dodatkowym stanowiskiem 4 zlokalizowanym poza obszarem kąpieliska, wykazało istotne różnice w odniesieniu do stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie ($F = 3,328$; $p < 0,05$), stopnia nasycenia wody tlenem ($F = 3,187$; $p < 0,05$) i stężenia jonów fosforanowych ($F = 2,939$; $p < 0,05$). W czerwcu na stanowisku 4 stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie wynosiło 4,52 mg/l a stopień nasycenia wody tlenem był równy 51,6%. Stwierdzone wartości były prawie dwukrotnie mniejsze niż na stanowiskach w Żwirowni. Najwyższe stężenie jonów fosforanowych na stanowisku 4 (0,11 mg/l) zanotowano w lipcu. Było ono dwukrotnie wyższe niż na stanowisku 3.



Ryc. 3. Sezonowe zmiany stężenia wybranych jonów w wodzie badanego zbiornika

Fig. 3. Seasonal changes of the ions concentration in the water of the gravel pit



Ryc. 4. Sezonowe zmiany ogólnej liczby bakterii psychrofilnych (olb 22) i mezofilnych (olb 37) w wodzie badanego zbiornika

Ryc. 4. Seasonal changes of number of the psychrophilic (olb 22) and the mesophilic (olb 37) bacteria in the water of the Rzeszów gravel pit

Tabela 1. Miano bakterii z grupy coli na stanowiskach Żwirowni w poszczególnych miesiącach 2011 roku (nb – bakterie nieobecne w 1ml wody)

Table 1. The presence of the coliform bacteria in the water of Żwirownia gravel pit lake in the sampling sites in 2011 (nb – absence of bacteria in 1 ml of water)

Miesiąc / Month	Stanowisko / Site		
	1	2	3
IV	nb	nb	1
V	0,01	0,1	nb
VI	0,1	0,1	1
VII	0,1	0,01	0,01
VIII	1	0,01	1
IX	0,1	0,1	0,01
X	0,1	1	1
XI	0,1	1	0,1

5. Dyskusja

Zbiorniki powstałe po eksploatacji kruszywa stają się coraz powszechniejszym elementem krajobrazu. Sposób w jaki zostają zagospodarowane i zrehabilitowane zależy od ich lokalizacji i istniejących warunków środowiskowych

[3, 29]. Jeżeli warunki hydrologiczne są odpowiednie, wyrobiska mogą samoczynnie wypełnić się wodą i z upływem czasu stać się ciekawym elementem krajobrazu. Stałe monitorowanie zmian parametrów wody w tych akwenach jest szczególnie ważne wtedy, gdy służą one jako kąpieliska [31].

Żwirownia w Rzeszowie wykorzystywana jest latem jako kąpielisko. W okresie badań nie stwierdzono niekorzystnych zmian parametrów wody, które wskazywałyby na istnienie czynników zagrażających jej jakości. Stężenie tlenu rozpuszczonego i stopień nasycenia wody tlenem w Żwirowni były wysokie. Nawet przy wysokich temperaturach wody, zawartość tlenu nie spadała poniżej 8 mg/l (Ryc. 2), co mogło wynikać z aktywności fotosyntetycznej fitoplanktonu [18, 38]. W badanym zbiorniku nigdy nie stwierdzono spadku nasycenia wody tlenem poniżej 40%, natomiast okresowo natlenienie wody wzrastało powyżej 120% (Ryc. 2), co mogło być wywołane rozwojem sinic w miesiącach letnich (Ryc. 2).

Obecność tlenu w wodzie warunkuje zachodzenie procesów utleniania i redukcji. Procesy te mają wpływ na samooczyszczanie się wód [8]. Wysoki potencjał redoks jest wynikiem przeprowadzania intensywnych procesów utleniania. Do otrzymania pełnego obrazu zdolności utleniająco-redukcyjnych wód wykorzystywany jest przelicznik rH [5]. W Żwirowni wskaźnik ten wynosił 20 – 22, co oznacza, że w zbiorniku przeważają procesy utleniania. Taka sytuacja sprzyja rozkładowi martwej materii organicznej i samooczyszczaniu się wody [10, 41].

Zawartość stałych substancji rozpuszczonych (TDS) i konduktywność wody w wyrobiskach pokopalnianych jest często wysoka [11]. Zawartość stałych związków rozpuszczonych (TDS) świadczy o stopniu zanieczyszczenia substancjami pochodzenia organicznego [8]. W żwirowniach parametry te zależą od jakości wody w rzece, w której dolinie powstała żwirownia oraz od tego, czy zbiornik ma z rzeką bezpośrednie połączenie [11]. Konduktywność wody w Żwirowni była wysoka i zwykle przekraczała 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Ryc. 2). Są to wartości charakterystyczne dla wód czystych [36]. Zawartość substancji rozpuszczonych (TDS) zawsze przewyższała 0,4 g/l (Ryc. 2), jednak nigdy nie przekroczyła wartości maksymalnej 0,5 g/l, która jest graniczna dla wód II klasy [36]. Pomimo, że stężenie stałych substancji rozpuszczonych zależy częściowo od pochodzenia wody, to w dużym stopniu jest także uzależnione od zanieczyszczeń substancjami organicznymi [11].

Za związane z zanieczyszczeniami uznaje się podwyższone stężenie jonów chlorkowych w wodzie. Ich źródłem mogą być środki używane do odmarzania dróg, a także ścieki komunalne [40]. Polskie wymagania dotyczące zawartości jonów chlorkowych w wodach powierzchniowych nie są rygorystyczne i wartość graniczna dla I klasy czystości wynosi 100 mg/l [36]. Maksymalne odnotowane stężenie chlorków w wodzie Żwirowni wyniosło 66,6 mg/l. Wskazuje to, że zlokalizowane w pobliżu Żwirowni osiedla mieszkaniowe oraz przebiegająca droga nie powodowały istotnego wzrostu zawartości jonów chlorkowych w wodzie, choć dość często tak bywa [21].

Duży wpływ na jakość wód mają jony biogenne. Szczególnie w wodach stojących, w których nie ma możliwości szybkiej ich wymiany, nadmierny dopływ związków azotu i fosforu powoduje ich szybką eutrofizację [6, 25, 30]. W wodzie ze Źwirowni najwyższe stężenie jonów azotanowych odnotowano w sierpniu (Ryc. 3). Było ono stosunkowo niewielkie, a wartość nie przekroczyła granic wyznaczonych dla I klasy czystości wody [36]. Natomiast najwyższa zawartość fosforanów w wodzie Źwirowni stwierdzono w czerwcu (Ryc. 3), co odpowiadało III klasy czystości wody [36]. Wyraźny wzrost stężenia azotanów w czerwcu (0,08 mg/l) na stanowisku 3 (Ryc. 3) mógł być związany ze wzmożonym wykorzystaniem rekreacyjnym zbiornika. W lecie wzrastała liczebność sinic. W czerwcu na każdym stanowisku przekroczyła ona 1500 kom./ml, a w przybrzeżowej części kąpieliska (stanowisko 3) nawet wartość 2400 kom./ml. Choć pomiary z wykorzystaniem sondy *YSI* wykazały obecność komórek sinic w wodzie Źwirowni, to jednak objawów zakwitu nie stwierdzono w żadnym terminie badań. Zakwity wód, zwłaszcza w miejscach wykorzystywanych do kąpieli, mogą obniżyć wartość użytkową zbiornika [6, 25], choć obecność fitoplanktonu w wodzie nie musi od razu świadczyć o złej jakości [33]. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia [37] zbiorniki, w których nie obserwuje się zakwitów sinic mogą służyć jako kąpieliska i miejsca wykorzystywane do kąpieli. Stężenie chlorofilu w Źwirowni wyraźnie zmieniało się sezonowo (Ryc. 2). Okresowo zawartość chlorofilu nieznacznie przekraczała normy dla III klasy czystości [36].

W przypadku miejsc wykorzystywanych do kąpieli i kąpielisk niezmiernie ważnym elementem jest ocena sanitarna wód, w której uwzględnia się ogólna liczbę bakterii heterotroficznych oraz tzw. bakterii wskaźnikowych [46]. W wodach zeutrofizowanych liczba bakterii heterotroficznych tlenowych jest duża, a wysoki udział bakterii mezofilnych może wskazywać na skażenie wody mikroflorą allochtoniczną [44]. Liczba bakterii mezofilnych była wyraźnie wyższa w lecie (Ryc. 4), co można łączyć z rekreacyjnym wykorzystaniem zbiornika i dużą liczbą osób kąpiących się. W tym okresie również częściej odnotowywano niższe wyniki dotyczące obecności bakterii z grupy coli (Tab. 1), które mogą świadczyć o fekalnym zanieczyszczeniu wód [24, 46]. Liczba bakterii psychrofilnych w wodzie kąpieliska była najwyższa na stanowisku 1 (Ryc. 4), co może świadczyć o zwiększonej ilości materii organicznej w tej części zbiornika. Bakterie psychrofilne najczęściej nie stanowią zagrożenia dla zdrowia ludzi korzystających z kąpieliska, gdyż w większości zaliczane są do bakterii autochtonicznych, naturalnie występujących w środowisku wodnym [27]. Wojewódzka Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna w Rzeszowie w miesiącach letnich, gdy Źwirownia wykorzystywana jest intensywnie do kąpieli, prowadzi monitoring jakości wody. Wyniki badań mikrobiologicznych były podstawą oceny możliwości wykorzystania zbiornika do rekreacji. Wydane w 2015 roku komunikaty Podkarpackiego Państwowego Wojewódzkiego Inspektora Sanitarnego dopuszczały kąpiel w Źwirowni [47], co świadczy, że

normy sanitarne zawarte w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia w sprawie prowadzenia nadzoru nad jakością wody w miejscach wykorzystywanych do kąpie-
li nie zostały przekroczone [37].

Żwirownia jest izolowana od Wisłoka i nie ma bezpośredniego kontaktu z zanieczyszczonymi wodami rzeki. Zanieczyszczenia mogłyby trafiać do Żwirowni za pośrednictwem małego stawu (stanowisko 4) połączonego rowem ze Strugiem i Wisłokiem. Dane WIOŚ Rzeszów wskazują, że okresowo niektóre parametry jakości wody Wisłoka i Strugu pogarszają się [35]. Notowano m.in. przekroczenia zawartości biogenów [16]. Większość badanych parametrów fizyko-chemicznych w Żwirowni była charakterystyczna dla wód czystych. Do obniżenia sanitarnej jakości wód może doprowadzić samo wykorzystywanie zbiorników do kąpie-
li [7]. Obecność w Żwirowni bakterii z grupy coli sugeruje, że w wodzie kąpieliska mogą okresowo pojawiać się bakterie potencjalnie chorobotwórcze i chorobotwórcze [28]. Jeżeli jednak ich liczebność nie przekracza norm [37] to lokalna stacja sanitarno-epidemiologiczna może wydać pozytywną opinię zezwalającą na rekreacyjne wykorzystanie zbiornika. Przy ocenie wody pod kątem przydatności do wykorzystywania do kąpie-
li, poza wymaganiami mikrobiologicznymi, bierze się również pod uwagę obecność różnego rodzaju odpadów i śmieci [37]. Tego typu pozostałości nie odnotowano w Żwirowni. Jakość fizyko-chemiczna wody Żwirowni i jej stan sanitarny powodują, że jest to zbiornik udostępniony od wielu lat do rekreacji [48], choć zebrane dane wskazują, że niektóre parametry wody mogą okresowo się pogarszać. Przedstawione wyniki badań z 2011 roku pokazały tendencje zmian parametrów fizyko-chemicznych oraz sanitarnych wody Żwirowni związane z parami roku i intensywnością wykorzystywania do kąpie-
li.

Literatura

- [1] Baczewska M., Kaszkowiak I.: Ocena stanu sanitarnego małych zbiorników wodnych na terenach miejskich o różnym charakterze użytkowania, *Inżynieria środowiska – młodym okiem. Wody powierzchniowe i podziemne*, 4, 2014, s. 64-94.
- [2] Bänzinger R.: A comparative study of the zoobenthos of 8 land-water interfaces (Lake of Geneva), *Hydrobiologia*, 301, 1995, s. 133–140.
- [3] Boberek K., Paulo A.: Problemy zagospodarowania wyrobisk po eksploatacji kruszywa naturalnego na przykładzie złóż w dolinie Soły między Kętami a Bielanami, *Geologia*, 31 (2), 2005, s. 153-165.
- [4] Brauns M., Garcia X.-F., Walz N., Pusch M.: Effects of human shoreline development on littoral macroinvertebrates in lowland lakes, *Journal of Applied Ecology*, 44, 2007, s. 1138–114.
- [5] Brodzińska B., Grześkowiak A., Nowak B., Nowak D., Żak J.: Ocena możliwości ochrony jezior Wojnowskich i Rudno wraz z określeniem możliwości przystosowania jeziora Rudno dla potrzeb retencji. Praca wykonana na zlecenie Województwa Lubuskiego, Wydawnictwo Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Poznań 2007.
- [6] Chełmicki W.: Woda: zasoby, degradacja, ochrona., PWN, Warszawa 2002.

- [7] Chmiel M. J., Maciąg A.: Ocena stanu sanitarnego zbiornika wodnego w Kryspinowie, *Nauka Przyroda Technologie*, 4 (6), 2010, s. 1-8.
- [8] Dojlido J. R.: *Chemia wód powierzchniowych*, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok 1995.
- [9] Elias J.E., Meyer M.W.: Comparisons of undeveloped and developed shorelands, northern Wisconsin and recommendations for restoration, *Wetlands*, 23, 2003, s. 800-816.
- [10] Ernestova L.S., Semenova I.V., Vlasova G.V., Lee Wolf N.: Redox transformation of pollutants in natural waters, *IAHS Publ.*, 219, 1994, s. 67-74.
- [11] Fláková R., Seman M., Drahovská H., Ženisová Z., Ďuričková A.: The Water quality of the Danube River and gravel pits in the Bratislava area (Slovakia), *Int. Aquat. Res.*, 6, 2014, s. 203-210.
- [12] Frąk M., Nestorowicz A.: Ocena stanu sanitarnego wybranych zbiorników wodnych parków miejskich Warszawy, *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 2 (44), 2009, s. 3-10.
- [13] Gołdyn R., Podsiadłowski S., Kowalczyńska-Madura K., Dondajewska R., Szelaż-Wasielewska E., Budzyńska A., Domek P., Romanowicz-Brzozowska W.: Functioning of the Lake Rusałka ecosystem in Poznań (western Poland). *Oceanological and hydrobiological Studies. International Journal of Oceanography and Hydrobiology*, Vol. XXXIX, No. 3, 2010, s. 65-80.
- [14] Gołdyn R., Szelaż-Wasielewska E., Kowalczyńska-Madura K., Dondajewska R., Szyper H., Joniak T., Piechowiak M., Domek P.: Functioning the gravel pit lake in Owińska (West Poland) in the years 2001-2005, *Tekakom. Ochr. Kszt. Środ. Przynr.*, 3, 2006, s. 45-54.
- [15] Gorączko M.: Wybrane problemy funkcjonowania małych zbiorników wodnych na obszarach zurbanizowanych, *Nauka Przynr. Technol.*, 1 (2), 2007, s. 1-9.
- [16] Gruca-Rokosz R.: Stan troficzny Zbiornika Zaporowego Rzeszów, *Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury*, 60 (3/13), 2013, s. 279-291.
- [17] Huculak M.: *Encyklopedia Rzeszowa*, [red.] Budziński Z., Draus J., Kawalek J., Malczewski J., Nawrocki Z., Wójcik K., Zamoyski G., Wydawnictwo RS Druk, Rzeszów 2004.
- [18] Jawecki B.: Wpływ usłonecznienia na warunki tlenowe strefy eufotycznej stawu karpiego, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 10, 2011, s. 121-132.
- [19] Jelonek M.: Znaczenie dla środowiska i gospodarki rybackiej starorzeczy oraz innych zbiorników wodnych w terenach zalewowych, *Supplementa ad Acta Hydrobiologica*, 3, 2002, s. 29-35.
- [20] Jennings M.J., Bozek M.A., Hatzenbeler G.R., Emmons E.E., Staggs M.D.: Cumulative effects of incremental shoreline habitat modification on fish assemblages in north temperate lakes, *North American Journal of Fisheries Management*, 19, 1999, s. 18-27.
- [21] Kattner E., Schwarz D., Maier G.: Eutrophication of Gravel Pit Lakes which are Situated in Close Vicinity to the River Donau: Water and Nutrient Transport, *Limnologia*, 30, 2000, s. 261-270.
- [22] Koprowski J., Łachacz A.: Small water bodies formed after peat digging in Dobrzyńskie lakeland, *J. Water Land Dev.*, 18 (I-VI), 2013, s. 37-47.

- [23] Křiváčková O., Čížková H.: Sandpit lakes vegetation in the Třeboň Biosphere Reserve: effect of anthropogenic activities, *Ecológia* (Bratislava), Vol. 25 Supp. 3, 2006, s. 270-281.
- [24] Kukuła E., Woszczyńska W.: Stan sanitarny wód cieku zasilającego zalew i kąpielisko w Janowie Lubelskim, *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, 57/3 (271), 2010, s. 73-84.
- [25] Mazurkiewicz-Boroń G.: Źródła biogenów w zlewni zbiornika [w] *Zbiornik Dobczycki. Ekologia – Eutrofizacja – Ochrona*. Mazurkiewicz-Boroń G., Starmach J. [red.], Zakład Biologii Wód im. Karola Starmacha, PAN, Kraków 2000, s. 43-54.
- [26] Michałkiewicz M.: Bakterie wskaźnikowe występujące w wodach, *Wodociągi – Kanalizacja*, 5 (27), 2006 a, s. 22-24.
- [27] Michałkiewicz M.: Mikroorganizmy występujące w wodzie, *Wodociągi - Kanalizacja*, 7/8 (29/30), 2006 b, s. 26-28.
- [28] Michałkiewicz M.: Mikroorganizmy w otoczeniu człowieka, *Wodociągi - Kanalizacja*, 4 (26), 2006 c, s. 25-28.
- [29] Ostreǵa A., Uberman R. Kierunki rekultywacji i zagospodarowania – sposób wyboru, klasyfikacja i przykłady, *Górnictwo i Geoinżynieria*, 34 (4), 2010, s. 445-461.
- [30] Pac M.: Sinice (*Cyanobacteria*) w środowisku słodkowodnym, *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie*, t. 12 z. 3 (39), 2012, s. 187-195.
- [31] Pietrzyk-Sokulska E.: Zbiorniki wodne w wyrobiskach pogórnich – nowy element atrakcyjności krajobrazu miasta. *Krajobraz a Turystyka. Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego*, 14, 2010, s. 264-272.
- [32] Pociask-Karteczka J.: Przemiany stosunków wodnych na obszarze Krakowa, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego MCXLIV. Prace geograficzne*, 96, 1994, s. 1-38.
- [33] Prus T., Prus M., Prus P., Ozimek T.: Charakterystyka ekologiczna zbiorników zaporowych Solina i Myczkowce na Sanie, *Mat. Konf. Nauk. Techn. „Błękitny San”*, 2006, s. 33-47.
- [34] Raport o stanie środowiska w województwie podkarpackim w 2011 roku. Wyd. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Rzeszowie, Rzeszów 2011.
- [35] Raport o stanie środowiska w województwie podkarpackim w 2014 roku. Wyd. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Rzeszowie, Rzeszów 2014.
- [36] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód (Dz. U. 2004 nr 32 poz. 284).
- [37] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 8 kwietnia 2011 r. w sprawie prowadzenia nadzoru nad jakością wody w kąpielisku i miejscu wykorzystywanym do kąpielii (Dz. U. 2011 nr 86 poz. 478).
- [38] Rzymiski P.: Wpływ toksyn sinicowych na zdrowie człowieka, *Nowiny Lekarskie*, 78 (5-6), 2009, s. 353-359.
- [39] Santoul F., Mastrorillo S.: Interaction between fish and waterbird communities: a case study of two gravel pits in South-West France, *Vie Et Milieu*, 53 (2-3), 2003, s. 131-133.
- [40] Sapek A.: Współczesne źródła chlorków w środowisku wód śródładowych, *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 40, 2009, s. 455-464.

- [41] Sidoruk M., Koc J., Szarek J., Skibniewska K., Guziur J., Zakrzewski J.: Wpływ produkcji pstrąga w stawach bentosowych z kaskadowym przepływem wody na właściwości fizyczne i chemiczne wód powierzchniowych, *Inżynieria Ekologiczna*, 34, 2013, s. 206-213.
- [42] Soszka H., Pasztaleniec A., Koprowska K., Kolada A., Ochocka A.: Wpływ przekształceń hydromorfologicznych jezior na zespoły organizmów wodnych – przegląd piśmiennictwa, *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 51, 2012, s. 24-52.
- [43] Stanisz A.: Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem Statistica PL na przykładach z medycyny. Statystyki podstawowe, Tom 1, Kraków 2006.
- [44] Starzecka A.: Bakteriologiczna charakterystyka wód zlewni górnego biegu Wisły, *Postępy mikrobiologii*, 36 (1), 1997, s. 37-51.
- [45] Szmuc M., Madej K.: Była siarka! Co jest teraz?, *Górnictwo i Geologia*, 6 (1), 2011, s. 211-221.
- [46] Zmysłowska I.: Mikrobiologia ogólna i środowiskowa. Teoria i ćwiczenia. Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn 2009.
- [47] www.wsse.rzeszow.pl [dostęp: 30.11.2015 r.].
- [48] www.zwirownia.rzeszow.pl [dostęp: 02.07.2015 r.].

SEASONAL CHANGES IN PHYSICO-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PARAMETERS OF WATER IN THE GRAVEL PIT LAKE USED FOR RECREATION

Summary

The paper presents changes of the physico-chemical and microbiological parameters of water in the gravel pit lake in Rzeszów City, which is using as a watering place. Samples were collected once a month (April – December 2011) at three sampling sites. The water temperature, conductivity, pH, oxygen concentration, oxygen saturation, redox potential, total dissolved solids, chlorophyll, the number of cyanobacteria, ammonium, nitrates, nitrites, phosphates, chloride concentrations were measured. The number of the psychrophilic, mesophilic bacteria and also the presence of the coliform bacteria were studied. The oxygen concentration and the oxygen saturation of the water in Żwirownia were high, even during the summer. The conductivity of the water was high and usually exceeded 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Total dissolved solids always exceeded 0.4 g/l. The concentration of nitrate ions in the water of gravel pit were relatively low in all study season. The increase of nitrite and phosphates ions were noticed in June. The chlorophyll concentration in the water changed distinctly in season. The phytoplankton size was highest in June. The number of the mesophilic bacteria was higher in summer. The lower results about presence of the coliform bacteria were also recorded in summer. The physico-chemical parameters of the gravel pit lake were mostly characteristic for a clean water. The obtained results shows that despite periodic reduction of the sanitary quality, the water is characteristic for a clean water. The water quality of Żwirownia cause, that it is using as a watering place, even some parameters can be periodic worse.

Keywords: gravel pit, restoration, watering place, water quality, eutrophication

Przesłano do redakcji: 30.05.2015 r.

Przyjęto do druku: 1.12.2015 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.139

Anna BAZAN-KRZYWOSZAŃSKA¹
Maria MRÓWCZYŃSKA²
Marta SKIBA³

CHŁONNOŚĆ TERENÓW ZIELENI W MIEŚCIE – STUDIUM PRZYPADKU MIASTA ZIELONA GÓRA

Artykuł przedstawia próbę zwrócenia uwagi na brakujące standardy urbanistyczne dla terenów miejskich. Przeanalizowano aktualne wskaźniki do szacowania chłonności terenu niezbędnego do programowania ogólnodostępnych terenów wypoczynkowych. Przedstawiono studia literaturowe nad wskaźnikami chłonności zagospodarowania terenu, służące ustaleniu relacji pomiędzy intensywnością i gęstością zabudowy wokół powierzchni biologicznie czynnych – lasów, parków i zieleńców. Zaprezentowano również możliwości wykorzystania modelowania z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych dla oceny chłonności i pojemności terenów miejskich. W artykule zaprezentowane zostały podstawy teoretyczne, możliwe do wykorzystania w pracach doświadczalnych, pomocnych w określeniu czynników i elementów wpływających na uwarunkowania urbanistyczne. Badanie chłonności terenów zieleni w miastach przyczynia się do zachowania różnorodności biologicznej w granicach środowiska zurbanizowanego miast. Artykuł może pomóc zidentyfikować problemy w prowadzeniu polityki zrównoważonego rozwoju w miejskich obszarach funkcjonalnych. Zapis urbanistyczny w lokalnych dokumentach planistycznych tj studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy czy miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego, powinien wyróżniać i chronić tereny zieleni miejskiej z uwzględnieniem granic ich chłonności i pojemności. Konieczność monitoringu i kontroli polityki zagospodarowania przestrzennego mimo, że wymuszona ustawowo w ramach ustaleń ustawy z dnia 27 marca 2003 roku o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym, nie wskazuje jednolitego zestawu wymaganych standardowych wskaźników urbanistycznych, które umożliwiłyby jakiegokolwiek bilansowanie wartości w jednostkach przestrzennych. Widoczna jest potrzeba ujęcia ich w spójnym i kompletnym zbiorze regulacji.

Słowa kluczowe: pojemność, koncentracja, wskaźniki urbanistyczne, miasto, sztuczne sieci neuronowe

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Anna Bazan-Krzywoszańska, Uniwersytet Zielonogórski, wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, ul. prof. Z. Szafrana 1, 65-516 Zielona Góra; tel. 68 328 26 39; A.Bazan@aiu.uz.zgora.pl

² Maria Mrówczyńska, Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, ul. prof. Z. Szafrana 1, 65-516 Zielona Góra; tel. 68 328 26 36; M.Mrowczyńska@ib.uz.zgora.pl

³ Marta Skiba, Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, ul. prof. Z.Szafrana 1, 65-516 Zielona Góra; tel. 68 328 23 09; m.skiba@aiu.uz.zgora.pl

1. Wprowadzenie

W trwałym i zrównoważonym rozwoju pojęcie dobrobytu mierzy się skalą posiadania zasobów kulturowych, przyrodniczych, a w dalszej konsekwencji - posiadania kapitału społecznego i kulturowego, które determinują przetrwanie cywilizacji nie tylko w skali lokalnej, ale również w skali globalnej. Odnoszą się one do zwartej fizycznie układ przestrzenny oraz zwartej funkcjonalnie obszaru codziennej aktywności mieszkańców (gęstość zdarzeń przestrzennych).

Ostatnia dekada to okres gwałtownego rozwoju polskich miast. O podaży funkcji i usług miastotwórczych decyduje cena dzierżawy lokalu, co skutkuje tym, że z centrów polskich miast w zastraszającym tempie znika życie. Rozwiązanie problemu nie musi być skomplikowane. Najważniejszą zmianą jest wprowadzenie sztywnych granic wzrostu miasta i uzależnienie ich zasięgu od wyposażenia w infrastrukturę transportu publicznego, wodno-kanalizacyjną czy gazową. Wprowadzenie katastru ułatwiłoby wyznaczenie granic urbanistycznych. W granicach wzrostu miasta zobowiązuje ona do zagospodarowania posiadanej działki (inwestycja jest nagradzana przez system podatkowy) [1].

Zauważone tendencje potwierdzają wnioski z Analizy stanu i uwarunkowań prac planistycznych w gminach w 2013 roku, wg Śleszyńskiego "(...) narasta presja inwestycyjna lub nadpodaż odralnianych gruntów w strefach zewnętrznych miast, także tych mniejszych. Do tego powszechne jest zjawisko przeznaczania zbyt dużego udziału terenów pod zabudowę, głównie jednorodziną. Jako wyrażnie najbardziej zagrożone kształtowaniem przestrzeni na mocy decyzji o warunkach zabudowy ujawniają się obecnie:

- gminy o intensywnych funkcjach rolniczych;
- gminy ekstensywnie zagospodarowane (funkcje leśne i ochrony przyrody);
- strefy podmiejskie ośrodków subregionalnych.

W podziale według typów gmin można też wprawdzie wskazywać na ogólnie pożądaną kierunek porządkowania sytuacji planistycznej i pragmatyzm samorządów, jakkolwiek tempo tych zmian nie jest satysfakcjonujące. W tym kontekście można podtrzymać tezę, że aktualna polityka wspiera dalszą żywiołą, niekontrolowaną suburbanizację i chaos przestrzenny (...) [2].

Środowisko architektów i urbanistów również dostrzegło istniejący problem, czego dowodem są opracowywane dokumenty. "Brak właściwych parametrów określających przestrzenne minima zdrowotne i społeczne powoduje nadużycia – realizację zespołów mieszkaniowych bez dostępu do komunikacji publicznej, szkół, przedszkoli, zieleni i sportu. Domy mieszkalne budowane są w nadmiernym zacieśnieniu i często w szkodliwym sąsiedztwie. (...) Odpowiednie warunki życia (zarówno zdrowotne, jak i społeczne) powinny być zapewnione przez obligatoryjne stosowanie standardów zawierających aspekty: użytkowe, kulturowe i ekologiczne. Standardy urbanistyczne powinny zawierać zasady i parametry zagospodarowania i kształtowania zabudowy w zgodzie z zasadami zrównoważonego rozwoju. Powinny być przestrzegane przy formu-

lowaniu polityk przestrzennych i strategii rozwoju, sporządzaniu planów zagospodarowania i planów inwestycyjnych, jak też przy planowaniu finansowym [3].

2. Badania literaturowe

Przez blisko 30 lat nie stosowano w Polsce jakichkolwiek normatywów urbanistycznych – wręcz negowano potrzebę i zasadność ich wykorzystywania. Dotychczasowe prace nad standardami urbanistycznymi, ukierunkowanymi na zapewnienie odpowiedniej jakości środowiska mieszkaniowego zwłaszcza w miastach nie przyniosły jednolitych rozstrzygnięć [4].

Współczesne budowanie miast odbywa się poprzez zmianę użytkowania gruntów oraz politykę promującą m.in.: strefowanie i wyższe stopnie dostępności, intensyfikację, konsolidację lub zagęszczanie struktury urbanistycznej (szczególnie wokół przedmieść), rozwój i rewitalizację przemysłowych części miasta, zwiększanie intensywności wykorzystania gruntów podział i przebudowę istniejącej zabudowy, zwiększanie gęstości zamieszkania i re-urbanizację [5], [6]. Miasto wg definicji Zipsera to "system funkcji, instytucji i odpowiadających im trwałych urządzeń materialnych, powstały jako efekt dążeń do uzyskania stanu równowagi przy określonym poziomie selektywności potrzeb i ustalonym układzie wzajemnej dostępności przestrzennej" [7]. Zatem stan równowagi jest zależny od polityki decyzji przestrzennych. Decyzje łatwiej podejmuje się w oparciu o wiedzę i symulowany model, który wspierają badania m.in. parametrów i wskaźników.

W świecie tego typu badania prowadził m.in. Wang, a jego parametr określony jako *ecological carrying capacity* odzwierciedla stopień oporności ekosystemu spełniającego wymagania rozwijającego się społeczeństwa i gospodarki regionalnej bez zmniejszania zasobów i jakości środowiska ekologicznego. W celu uproszczenia obliczeń analitycznych Wang zaproponował metodę pomiarową opartą na prawie równowagi między podażą i popytem. Ta metoda buduje zestaw wskaźników, w tym indeks systemu społeczno-gospodarczego oraz systemu ochrony środowiska (uwzględniając zasoby i jakość środowiska) [8].

Youpeng Xu zbudował zestaw indeksów i metodę obliczeniową, która nadaje się do kompleksowego szacowania chłonności zasobów wodnych. Określił przy tym, że stan graniczny chłonności zasobów dokładniej ocenia stan pojemności, który uwzględnia czynnik czasu, ale jak to zauważył, jest trudny do obliczenia ponieważ ma krzywoliniową budowę powierzchni.

W Polsce badania chłonności wykonywane są zazwyczaj przy określaniu warunków i zasobów turystycznych i dotyczą one siedlisk roślinnych. Wykonywali je m.in.: Graja-Zwolińska, której badania ukazały znikomą praktyczną wartość wskaźnika, wyznaczanego w oparciu o istniejące sposoby. Podkreśliła, że celowe i konieczne jest opracowanie uniwersalnego (dla określonych ekosystemów) a zarazem kompleksowego (uwzględniającego komponenty świata flory

jak i fauny) wskaźnika chłonności lecz wypracowanie takiego modelu wymaga ścisłej współpracy specjalistów z wielu dziedzin [9].

Czasem określenie chłonności naturalnej proponuje się metodą opartą na określonych parametrach związanych z waloryzacją najważniejszych siedlisk roślinnych. Wyznacza się tzw. obciążenie graniczne np.: runa tj. średnią liczbę osób, które poruszając się w ciągu 8 godzin po powierzchni 1 ha mniej więcej jednorodnego płatu roślinności powodują uruchomienie procesów degradacyjnych, zmieniających trwale skład i strukturę biocenozy [10], [11]. Powyżej obciążenia granicznego załamuje się równowaga, w jakiej znajduje się fitocenoza od wpływem antropopresji.

3. Wskaźniki i parametry urbanistyczne: chłonność, koncentracja, pojemność

Chłonność jest relacją według określonych reguł kontaktu i konfliktu. Definicja chłonności wg Zipsera oznacza "najwyższą możliwą wielkość strat wynikłych z zagrożenia na tym obszarze – przykładowo: całkowitego zniszczenia pokrywy leśnej lub zupełnego zanieczyszczenia zbiorników wodnych" [7]. Kluczowym jednak wydaje się dobór jednostki przestrzennej, dla której wymiarowaniem powinny być wymierne wskaźniki intensywności elementów relacji zakłócających lub krytycznych. W obecnym stanie planowania przestrzennego w Polsce brak zachowania i jednolitego doboru jednostek przestrzennych (w planowaniu regionalnym, i lokalnym, na poziomie studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy oraz miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego) uniemożliwia bilansowanie wartości. Jednym ze składników wskaźnika mógłby być wymiar finansowy lub czas ukazujący nakład środków koniecznych do odbudowy lub przywrócenia stanu początkowego.

Chłonność i pojemność są pojęciami zależnymi. Im większa chłonność systemu czyli jego odporność na zmiany destrukcyjne, tym bardziej może wzrosnąć pojemność układu. Przez pojemność rozumie się maksymalną liczbę osób, które mogą jednocześnie przebywać na danym obszarze, po jego przystosowaniu do tego celu, w warunkach prawidłowego zaspokajania ich potrzeb, bez negatywnych konsekwencji. Chłonność i pojemność najczęściej wyraża liczba osób na ha lub km², a na terenach gdzie ruch odbywa się liniowo, tylko po wyznaczonych szlakach, wyrażana jest ona liczbą osób na metr lub kilometr bieżący drogi. Warto dodać, iż z chłonnością np.: turystyczną związane są także dwa równie istotne terminy: przepustowość (odnosząca się do szlaków turystycznych) oraz pojemność (dotycząca infrastruktury) [9].

Na zasadzie podobieństwa można w teorii osadnictwa wyróżnić zagadnienie koncentracji, które wg Zipsera jest kluczowe w procesach modelowania struktur zagospodarowania przestrzennego [7]. Podobnie, jak dla chłonności i pojemności, koncentrację można liczbowo wymiarować na wybranym obszarze. Do badania tego zjawiska Zipser wykorzystał krzywą Lorenza, którą wyko-

rzystuje się do obrazowania nierównomierności gęstości zaludnienia w jednostkach terenowych. Wydaje się jednak, że od przyjmowanego jednowymiarowego rozkładu zmiennej losowej o wartościach nieujemnych, znacznie lepiej sprawdzą się krzywe wykładnicze, które przy użyciu wnioskowania rozmytego umożliwią skonstruowanie ram interpretacyjnych dla wielowymiarowych danych, gdzie linia prosta będzie aproksymowała gęstość proporcjonalną występowania elementów badanych w jednostkach podziału. Funkcja:

$$y = f(x) \quad (1)$$

Funkcja aproksymacyjna zmieni się na wykładniczą kwadratową przy zwiększaniu się koncentracji modelu struktury przestrzennej aż do wykładniczej trzeciego i dalszego stopnia:

$$y = f(x^3) \quad (2)$$

Prawidłowość koncentracji, zgodnie z teorią osadnictwa i planowania przestrzennego, zakłada nierównomierność rozmieszczenia elementów (także ludności) w zależności od kilku czynników, w tym:

- przyrodniczo – geograficznych (klimat, rodzaj gleby, ukształtowanie terenu, zasoby mineralne i energetyczne),
- społeczno – ekonomicznych (stopień rozwoju społeczno – ekonomicznego, formy społecznej organizacji, rozwój techniki),
- demograficznych (zróżnicowanie rodności i umieralności na różnych obszarach, migracje) [7].

Podstawowe czynniki, determinujące rozmieszczenie ludności, są zatem funkcją wielowymiarową, zbieżną z regułą podziału Clarka o proporcjonalnie malejącej gęstości do odległości od centrum zjawiska. Współczynnik gęstości zaludnienia - obliczany jest jako stosunek liczby ludności do powierzchni badanego terytorium. Ponadto, przy intensywnym zagospodarowaniu stosuje się wskaźniki normatywne, choć pod uwagę brane są w większym stopniu aspekty psychologiczno-socjalne niż przyrodnicze. Badania cechuje duża doza subiektywizmu i rozpiętości ocen.

Można zatem, z dużą dozą prawdopodobieństwa, określić, że pojemność jest funkcją koncentracji i chłonności w danych jednostkach przestrzennych. Zależność tę można zamodelować np.: z użyciem sztucznej inteligencji lub oprzeć na wnioskowaniu z jej udziałem.

Sztuczne sieci neuronowe, ze względu na ich nieliniowy charakter, reprezentują wyrafinowaną technikę modelowania i są zaliczane do metod inteligencji obliczeniowej. Funkcje pełnione przez sieć pozwalają uzyskać korzystne wyniki w zastosowaniach praktycznych dla takich zagadnień jak: aproksymacja, interpolacja, rozpoznawanie i klasyfikacja wzorców, kompresja, predykcja i wiele innych. Sieć neuronowa w tych i innych zastosowaniach stanowi uniwersalny układ aproksymacyjny, który jest w stanie zrealizować funkcję nieliniową wielu zmiennych postaci [18]:

$$\mathbf{y} = f(\mathbf{x}) \quad (3)$$

gdzie \mathbf{x} oznacza wektor wejściowy, \mathbf{y} zaś realizowaną funkcję wektorową w całym zbiorze nieokreśloności, której transformacja odbywa się z zastosowaniem funkcji aktywacji. Wiele zastosowań sieci neuronowych sprowadza się do problemów aproksymacji w przestrzeniach wielowymiarowych. Sieci neuronowe doskonale sprawdzają się wszędzie również tam, gdzie do opisu zjawisk nie znajduje zastosowania aproksymacja liniowa, ponieważ tworzone z zastosowaniem sieci neuronowych modele bez trudu odwzorowują zależności nieliniowe.

Biorąc pod uwagę tematykę poruszaną w artykule, celowym wydaje się zastosowanie sieci neuronowych (w szczególności perceptronu wielowarstwowego) do zamodelowania zależności pomiędzy chłonnością, koncentracją a pojemnością terenów miejskich. Perceptron wielowarstwowy, jest to sieć neuronowa jednokierunkowa wielowarstwowa, a poszczególne klasy tego typu sieci różnią się definicją funkcji aktywacji $f(net)$. Sieć neuronowa uczy się wytwarzać określony poziom aktywacji, a nie wartości ekstremalne, które są trudne bądź niemożliwe do wytworzenia. W sieciach neuronowych zbudowanych z neuronów ciągłych (neuron typu sigmoidalnego) stosuje się najczęściej nieliniowe funkcje aktywacji:

– funkcja bipolarna (tangens hiperboliczny)

$$y = f(net) = \tanh(\lambda net) = \frac{1 - \exp(-\lambda net)}{1 + \exp(-\lambda net)} \quad \lambda > 0, \quad (4)$$

– funkcja unipolarna (funkcja logistyczna)

$$y = f(net) = \frac{1}{1 + \exp(-\lambda net)} \quad \lambda > 0 \quad (5)$$

gdzie: $net = \overset{def}{[\mathbf{w}^T \mathbf{x}]}$ - sygnał wyjściowy liniowej części neuronu będący iloczynem skalarnym wektorów wag i wejść, λ współczynniki nachylenia funkcji aktywacji (skos).

4. Zielona Góra

Miasto Zielona Góra, na prawach powiatu, dawniej stolica województwa zielonogórskiego, dziś siedziba władz samorządowych województwa lubuskiego, z dniem 01 stycznia 2015 r. powiększyła swoją powierzchnię terytorialną o przyległą gminę wiejską. Dzięki temu uzyskała szóstą pozycję w klasyfikacji, biorąc pod uwagę powierzchnię miast Polski w ich granicach administracyjnych. Połączenie miasta średniej wielkości, o średniej intensywności i gęstości zabudowy z terenami gminy wiejskiej charakteryzującymi się niską intensywnością,

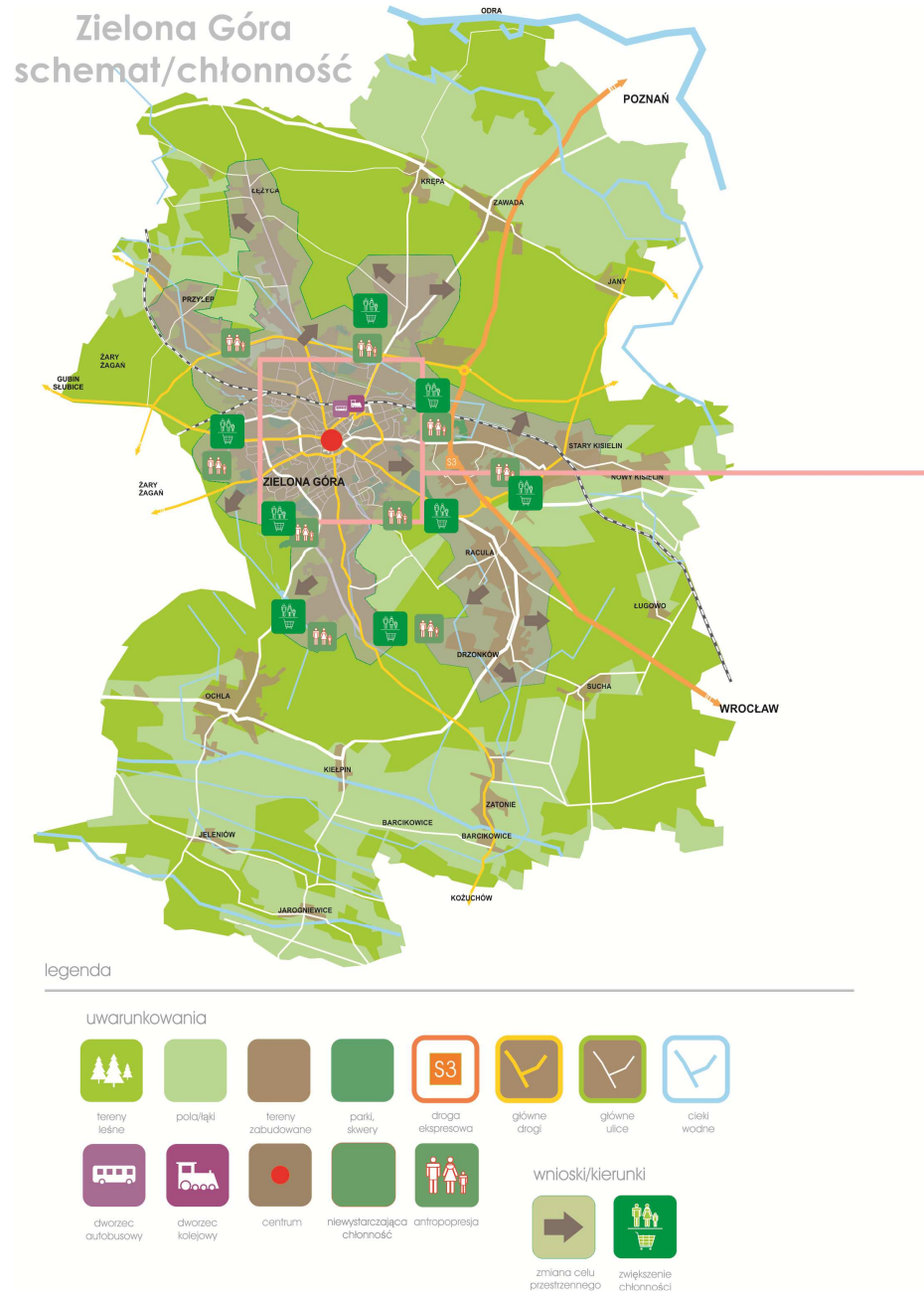
niesie ogromne ryzyko niekontrolowanego zwiększenia powierzchni zabudowanej. W ostatnich latach, wraz z gwałtownym rozwojem przestrzennym, nastąpiły różne formy zamiany użytkowania terenów. Najgroźniejsze wydają się jednak zmiany użytkowania lasów ochronnych na tereny inwestycyjne, w tym mieszkaniowe. W 1998 r. lasy, w granicach administracyjnych miasta, stanowiły 740 ha, dla porównania w 2008 r. już tylko 557 ha². Ponad 80% powierzchni tych terenów stanowią lasy ochronne – najczęściej wodonośne. W ciągu zaledwie 10 lat wycięto prawie 200 ha lasów. Od 2002 do 2014 roku, pomimo nasadzeń ubyło z przestrzeni miasta 2158 drzew i 1434 krzewy³. Niestety, nie usprawiedliwia tego faktu ani chęć zwiększenia liczby mieszkańców, ani poprawa standardu zamieszkiwania [12].

W dokumentach strategicznych, rozwój miasta Zielona Góra został oparty na scenariuszu „maksymalnego chłonnościowego” wykorzystania istniejącego potencjału terenów, z jednoczesnym zachowaniem zasad i warunków zrównoważonego rozwoju. Zakłada on także przyjęcie wieloletniej spójnej polityki ochrony, gospodarowania i zarządzania terenami leśnymi. Miejskie dokumenty programowe najczęściej odnoszą się w zapisach do konieczności: zachowania systemów zieleni, przeciwdziałania antropopresji, polepszania stanu zasobów krajobrazowych oraz „zwiększania atrakcyjności środowiska przyrodniczego, jako elementu wizerunku miasta oraz czynnika przyciągającego turystów i inwestorów” [13,14,15,16,17].

W wyniku przedkładania doraźnego interesu inwestorów nad dobro mieszkańców, w ostatnich latach nasiliło się między innymi zjawisko niekontrolowanej fragmentacji cennych terenów otwartych przestrzeni miejskich [12]. Widać to doskonale przy porównaniu dokumentów planistycznych z lat 2000 i 2008 dla miasta Zielona Góra. W 2000 roku Zielona Góra była otoczona zielonym pierścieniem lasów, który przecinał promieniście poprowadzony układ komunikacyjny z zewnętrznymi pierścieniami i zewnętrzną półobwodnicą dostosowaną do funkcji przyspieszonego ruchu. Wraz z nową zmianą studium w 2008 roku, pierścień dróg obwodowych zostały zamienione na wewnętrzne ulice i obudowane terenami komercyjnymi, podobnie jak obwodnica o przyspieszonym ruchu „Trasa Północna”. Obecnie droga ta pełni rolę bariery rozdzielającej osiedle mieszkaniowe o dużej intensywności. Pierścień zieleni zmienił się w płaty lasu poszatkiwane formami niskointensywnej zabudowy.

² Dane GUS za 2008 rok. Bank danych lokalnych.

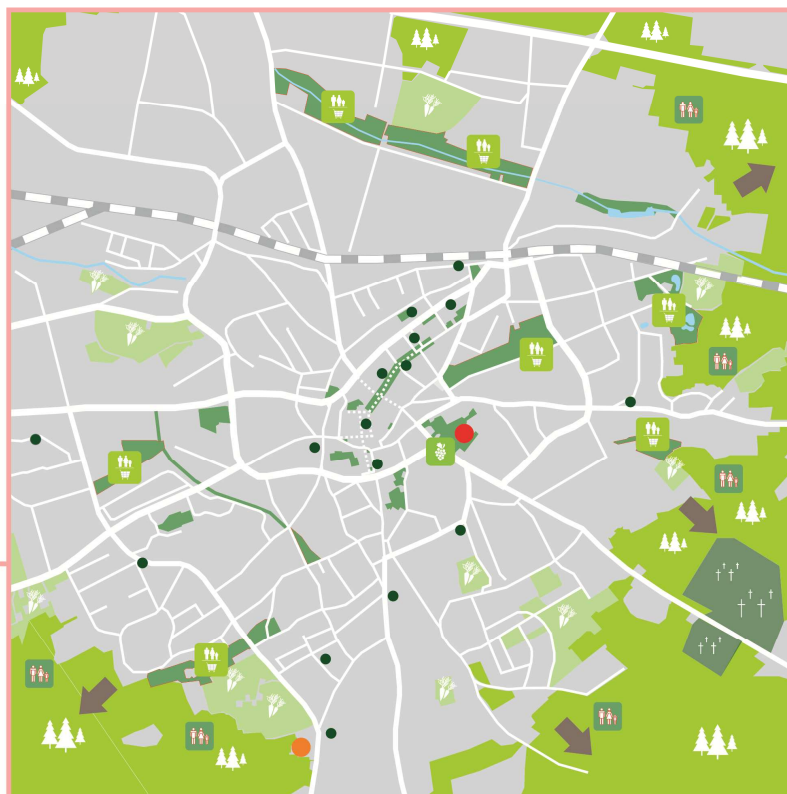
³ Dane GUS za 2014 rok. Bank danych lokalnych. Nasadzenia i ubytki drzew i krzewów w gminach.



Rys. 1. Schemat terenów otwartych, lasów i parków leśnych w granicach administracyjnych Zielonej Góry

Fig. 1. Scheme of open areas, forests and forest parks in the administrative boundaries in Zielona Góra

Zielona Góra schemat/chłonność



legenda

uwarunkowania



wnioski/kierunki



Rys. 2. Schemat terenów zieleni w mieście Zielona Góra

Fig. 2. Scheme of green areas in the town Zielona Góra

5. Wnioski

Konieczność monitoringu i kontroli polityki zagospodarowania przestrzennego mimo, że wymuszona ustawowo w ramach ustaleń ustawy z dnia 27 marca 2003 roku o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym, nie wskazuje jednolitego zestawu wymaganych standardowych wskaźników urbanistycznych, które umożliwiłyby jakiegokolwiek bilansowanie wartości w jednostkach przestrzennych. Widoczna jest potrzeba ujęcia ich w spójnym i kompletnym zbiorze regulacji. Kontynuacji i uszczegółowienia wymagają studia nie tylko nad intensywnością zabudowy, ale także nad chłonnością, pojemnością i koncentracją jako parametrami będącymi w zależności. Niewątpliwie wskaźniki zbudowane na podstawie tych parametrów powinny uwzględniać skalę miasta, a także położenie obszaru w strukturze miasta.

We współczesnym świecie miasto musi oferować na tyle atrakcyjne środowisko mieszkaniowe, żeby powstrzymać ucieczkę mieszkańców do domku pod miastem i niekontrolowany, nieekonomiczny i szkodliwy dla środowiska naturalnego rozwój suburbii. Dlatego niezbędne jest – właśnie poprzez standardy urbanistyczne – zapewnienie konkurencyjnych wartości przestrzeni miasta poprzez łatwy dostęp do terenów zieleni o wysokich walorach przyrodniczych, rekreacji i sportu, a także stworzenie warunków obcowania z naturą w najbliższym otoczeniu miejsca zamieszkania. Nie da się tego osiągnąć bez możliwości symulacji rozwiązań w skali miasta. Decyzje planistyczne dotyczące zagospodarowania miasta, powinny zapadać w oparciu o wiedzę i sprawdzalne wskaźniki regulacyjne, a nie w następstwie indywidualnych decyzji realizowanych na poziomie jednostek samorządowych, na doraźne potrzeby inwestorów.

Literatura

- [1] Kopietz-Unger J.: Założenia planowania przestrzennego na rzecz ochrony klimatu i oszczędności energii, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielenogóra, 2010.
- [2] Śleszyński P., Komornicki T., Deręgowska A., Zielińska B.: Analiza stanu i uwarunkowań prac planistycznych w gminach w 2013 roku. https://www.mr.gov.pl/media/5139/analiza_2013.pdf. (dostęp: 16.02.2016 r.).
- [3] Polska Polityka Architektoniczna. Polityka jakości krajobrazu, przestrzeni publicznej, architektury – dokument opracowany z inicjatywy Polskiej Rady Architektury, Stowarzyszenia Architektów Polskich pod patronatem Ministerstwa Kultury i Dziedzictwa Narodowego przez reprezentantów ZG SARP, ZG TUP, Krajowej Izby Architektów RP, Polskiej Rady Architektury, środowiska architektów krajobrazu oraz Krajowego Ośrodka Badań i Dokumentacji Zabytków, 2008, s. 5. <http://www.sarp.org.pl> (dostęp: 16.02.2016 r.).
- [4] Dąbrowska-Milewska G.: Standardy urbanistyczne dla terenów mieszkaniowych – wybrane zagadnienia. *Architecturae et Artibus*, no. 1, 2010, pp. 17-31.

- [5] Schwarz N., 2010. Urban form revisited—Selecting indicators for characterising European cities, *Landscape and Urban Planning*, no. 96, pp 29–47.
- [6] Bazan - Krzywoszańska A.: *Rozwój społeczno-przestrzenny Zielonej Góry po 1945 roku. Dynamika rozwoju od miasta małego do miasta średniej wielkości*, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2013.
- [7] Zipser T.: *Zasady planowania przestrzennego*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1983.
- [8] Wang X., 2010. Research Review of the Ecological Carrying Capacity, *Journal of Sustainable Development*, vol. 3, no. 3, pp. 263-265.
- [9] Graja-Zwolińska S.: Rola wskaźnika chłonności turystycznej w kształtowaniu przestrzeni turystycznej parków narodowych, *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej R.11. Zeszyt 4 (23) 2009*, s.187-192.
- [10] Kostrowicki, A.: *Metoda określania odporności roślin na uszkodzenia mechaniczne powstałe na skutek wydeptywania*, Prace IGiPZ PAN, 139, Wydawnictwo Ossolińskich, 1981.
- [11] Leśniak M.: *Projekt strefowania turystyki w Parku Krajobrazowym Doliny Baryczy*, Biblioteka Doliny Baryczy, 2009.
- [12] Skiba M, Bazan-Krzywoszańska A., *Polityka przestrzenna Zielonej Góry źródłem zagrożeń dla zrównoważonego rozwoju miasta*, *Czasopismo Techniczne: Architektura*, r. 107, z.14, 2010, s. 143-152.
- [13] *Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Zielonej Góry*, uchwała Nr XXIV/256/2000, Rada Miejska w Zielonej Górze, Zielona Góra 2000.
- [14] *Zmiana studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Zielonej Góry*, uchwała Nr XXVIII/392/08, Rada Miasta Zielona Góra, Zielona Góra 2008.
- [15] *Zmiana studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Zielonej Góry*, uchwała Nr III/19/10, Rada Miasta Zielona Góra, Zielona Góra 2010.
- [16] *Zmiana studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego*, uchwała nr LXIV.556.2014, Rada Miasta Zielona Góra, Zielona Góra 2014.
- [17] *Zmiana studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego*, uchwała nr LXVIII.599.2014, Rada Miasta Zielona Góra, Zielona Góra 2014.
- [18] Osowski S.: *Sieci neuronowe do przetwarzania informacji*. Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.

ABSORBENCY GREEN AREAS IN THE CITY - CASE STUDY OF ZIELONA GÓRA

S u m m a r y

The article presents an attempt to draw attention to the missing standards for urban areas. Indicators which were analyzed to estimate the absorbency of the land needed for programming public recreation areas. Presented literature related indicators absorbency of land, which are used to establish links between the intensity and density of buildings around the area of biologically active - forests, parks and lawns. Also presented possibilities for use of modeling by means of artificial neural networks for evaluation absorbency and the capacity of urban areas. The article

presented the basics theoretical possible to use in experimental work, help in determining the factors and elements influencing factors urban. Research absorbency of green areas in cities will affect the conservation of biodiversity within the urban environment of cities. The article can help in identifying problems in the policy of sustainable development of urban areas. Writing in the local urban planning documents (master plan) should stand out and protect urban green areas, taking into account the limits of their absorbency and capacity. Necessity monitoring and control of spatial planning policy, although Forced by statute in the context of the findings of the Act of 27 March 2003 for spatial planning and development, does not indicate uniform set the required standard of urban indicators, which allow any balancing of the spatial units. Visible is the need to recognize them in a coherent and complete set of regulations.

Keywords: capacity, concentration, urban indicators, city, artificial neural networks

Przesłano do redakcji: 30.08.2016 r.

Przyjęto do druku: 15.09.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.140

Anna BIAŁECKA¹

ZMIANY UKŁADÓW WSPÓŁRZĘDNYCH W PRAKTYCE GEODEZYJNEJ MIASTA ŁODZI

W pracy omówiono układy współrzędnych prostokątnych miasta Łodzi, które były stosowane przy opracowaniach geodezyjno-kartograficznych. Omówiono zmiany układów współrzędnych oraz cele tych zmian wynikające z potrzeb rozwijającego się miasta, zmian w gospodarce krajowej i zmian w uregulowaniach prawnych. Dokonano analizy zmian, jakie wniosło wprowadzenie jednolitego dla całego kraju układu współrzędnych „2000”. Układ współrzędnych „2000” został wprowadzony w miejsce dotychczas stosowanych w Łodzi układów „ŁAM” i „1965”, poprzez dokonanie transformacji bazy numerycznej dla 215 obrębów geodezyjnych miasta Łodzi. Wśród nich 146 zawierało pełną treść ewidencji gruntów i budynków, natomiast 69 obrębów zawierało tylko dane dotyczące działek. Transformacji dokonano zgodnie z warunkami technicznymi na wykonanie konwersji map numerycznych obszaru miasta Łodzi. Szczegółowej analizy dokonano dla obiektów ewidencyjnych, którymi są działki. Dokonano analizy zmian powierzchni działek dla wybranych obrębów geodezyjnych, jakie wniosło wprowadzenie układu współrzędnych „2000” i stwierdzono, że na 883 działkach nastąpił przyrost powierzchni a na 115 działkach powierzchnia uległa zmniejszeniu. Zmiany te zostały wprowadzone do Ewidencji Gruntów, Budynków i Lokali prowadzonej dla miasta Łodzi dla analizowanych obrębów geodezyjnych.

Jest to pierwszy artykuł obejmujący analizę zmian powierzchni miasta Łodzi wynikającej ze zmiany układów współrzędnych. Z przeprowadzonej analizy wynika, iż powierzchnia miasta zwiększyła się. Wprowadzenie układu współrzędnych prostokątnych „2000” dla miasta Łodzi spowodowało ujednoczenie wykonywanych opracowań geodezyjnych.

Słowa kluczowe: układy, transformacja, działka, powierzchnia

1. Wprowadzenie

Miasto Łódź prawa miejskie otrzymało w lipcu 1423 r., z chwilą podpisania przez Króla Władysława Jagiełło przywileju lokacyjnego miasta z jego dzisiejszą nazwą. Jednak o rozwoju Łodzi możemy mówić dopiero w XIX wieku.

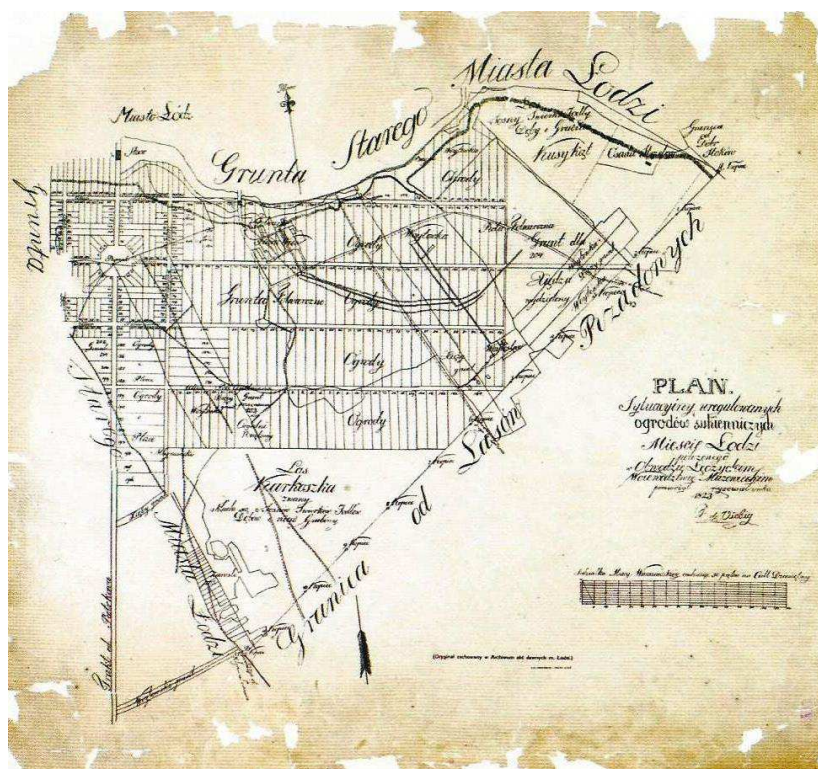
W 1821 roku podjęto decyzję o założeniu na południe od Starego Miasta Osady Sukienniczej. Projekt rozplanowania osady, częściowo na gruntach oby-

¹ Anna Białicka, Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź, 501617950, anna.bialecka@p.lodz.pl

wateli, proboszcza i w części na gruntach rządowych, został wykonany na zlecenie Rajmunda Rembielińskiego Prezesa Komisji Województwa Mazowieckiego, działającego w imieniu Rządu Królestwa Polskiego [1]. Dla ostatecznego uregulowania Osady Sukienniczej, Rajmund Rembieliński wydał dla geometry instrukcję, datowaną na 12 czerwca 1823 r. [1].

Zalecenia instrukcji geometra Filipa de Viebiga wykonał w tymże 1823 r., sporządzając „Plan Sytuacyjny, uregulowanych ogrodów sukienniczych, Mieście Łodzi położonego, w obwodzie Łęczyckim Województwie Mazowieckim”. Wyznażył on ponad 200 placów budowlanych i Rynek Nowego Miasta (obecnie plac Wolności), ośmioboczny plac usytuowany w osi traktu Piotrkowskiego [3].

Wymieniony plan został sporządzony w skali 1:5000, według „Miary Warszawskiej, rachując 50 prętów na call dziesiętny” – zgodnie z opisem na planie [1]. Plan ten jest opracowaniem jednostkowym, zorientowanym generalnie na północ, ale ściśle z kierunkiem osi Traktu od Piotrkowa – dzisiejszej ulicy Piotrkowskiej.



Rys. 1. Plan sytuacyjny sporządzony przez geometrę Filipa de Viebiga w 1823 r., zbiory kartograficzne APŁ nr 517a, na podstawie [3]

Fig. 1. Situation plan drawn up by geometer Filipa de Viebiga w 1823 r., cartographic APŁ nr 517a, based on [3]

Wykonywane wówczas mapy i plany regulacyjne sporządzane były, jako mapy jednostkowe, każda na jednym arkuszu, według miary obowiązującej w danym czasie na tym obszarze. Mapy powstawały na podstawie pomiaru w terenie, w nawiązaniu do istniejących kopców granicznych oraz punktów przecięć ulic. Kierunkiem orientującym prawie zawsze był kierunek osi ulicy Piotrkowskiej.

W ciągu bardzo krótkiego okresu czasu, w tempie, którego nie zna żadne większe miasto Europy, rosła liczba mieszkańców miasta [1]. Zmieniała się również powierzchnia miasta w wyniku przyłączania terenów sąsiednich.

Tabela 1. Zmiana liczby mieszkańców i powierzchni Łodzi w latach 1821-1915

Table 1. Changing the number of inhabitants and the surface of Lodz in the years 1821-1915

Rok	Liczba mieszkańców	Powierzchnia w km ²
1821	799	12,6
1840	20000	27,4
1872	50000	27,4
1897	315000	27,4
1915	Okolo 600000	58,8

W latach 1894-1896 zostaje sporządzone wielkoskalowe opracowanie geodezyjno-kartograficzne, w skali 1:1680, dla całego miasta Łodzi. Dla opracowania przyjęto lokalny układ współrzędnych prostokątnych: oś X skierowana była na północ i pokrywała się z południkiem „rzeczywistym” (jak opisano na arkuszu tytułowym mapy), a oś Y skierowana była na wschód. Układ lokalny został przyjęty tak, aby cały obszar miasta w granicach administracyjnych znalazł się w I ćwiartce; oznaczono również deklinację magnetyczną. W opracowaniu podano również powierzchnię nieruchomości wyrażoną w dziesiątinach i sążeniach kwadratowych.

W styczniu 1918 r. Magistrat miasta Łodzi podjął zdecydowane działania zmierzające do przygotowania prac związanych z budową wodociągów i kanalizacji. Do opracowania szczegółowych projektów potrzebne były przede wszystkim dokładne mapy sytuacyjno-wysokościowe w skali 1:250, opracowane na podstawie bezpośrednich pomiarów, opartych na poziomej i wysokościowej osnowie geodezyjnej. W związku z tym Rada Miejska podjęła uchwałę o utworzeniu w magistracie Oddziału Pomiarów.

Oddział Pomiarów rozpoczął działalność 1 lipca 1918r. Do zakresu jego prac wchodziło [2]:

- 1) założenie lokalnej sieci triangulacyjnej,
- 2) założenie sieci niwelacji trygonometrycznej,
- 3) założenie sieci poligonometrycznej,
- 4) obliczenie i wyrównanie opisanych w punktach 1) i 2) pomiarów metodą najmniejszych kwadratów,
- 5) pomiar szczegółów terenowych,

6) niwelacja techniczna,

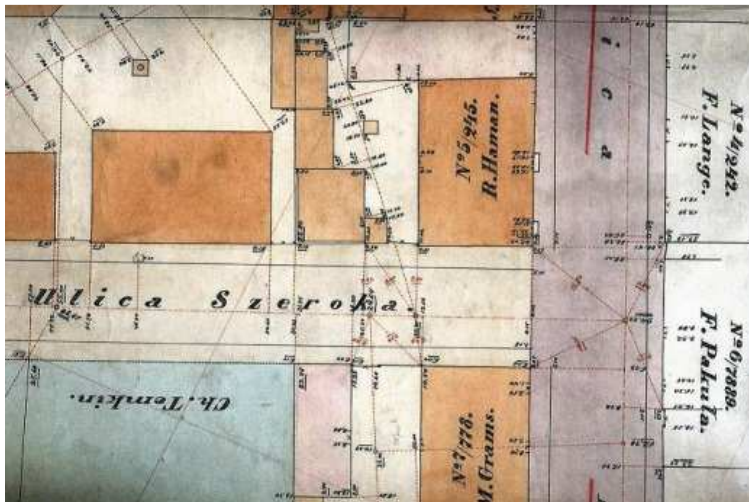
7) opracowanie mapy poszczególnych kwartałów miasta w skali 1:250.

Łódzka sieć triangulacyjna była siecią lokalną. Jako początek układu współrzędnych $X=0,00$ m oraz $Y=0,00$ m przyjęto punkt centralny tej sieci – krzyż na wieży Kościoła św. Krzyża, przy zbiegu ulic Przejazd (obecnie Tuwima) i Sienkiewicza. Oś X lokalnego układu współrzędnych prostokątnych pokrywała się z południkiem geograficznym, a oś Y skierowana była na wschód. Orientacja sieci według południka geograficznego została dokonana na podstawie pomiarów astronomiczno-geodezyjnych wykonanych przez prof. Tadeusza Banachiewicza w 1921r.

Wszystkie pomiary zostały sporządzone w systemie metrycznym, zgodnie z „Dekretem o miarach” z dnia 8 lutego 1919r., będącym jednym z pierwszych aktów ustawodawczych niepodległej Polski. Dekret likwidował wszystkie poprzednie systemy miar, również odziedziczone po zaborcach.

Założona sieć poligonometryczna stanowiła podstawę do pomiarów terenowych, które były sukcesywnie przenoszone na papier kreślarski. W ten sposób powstały mapy sytuacyjne poszczególnych kwartałów ulic, jako mapy jednostkowe, tzw. „bloki”. Były one sporządzane w skali 1:250, 1:500 lub 1:1000, w zależności od stopnia zagęszczenia terenu. Zawierały w swej treści szczegóły terenowe, miary wynikające z pomiarów oraz numery porządkowe, numery hipoteczne nieruchomości i nazwiska władających, które dały się ustalić w trakcie prac polowych. Przykład „bloku” pokazano na rys. 2.

Mapy te zostały wykorzystane do opracowania szczegółowych projektów wykonawczych dla zakładanej wówczas ogólnomiejskiej sieci wodociągowej i ka-



Rys. 2. Fragment „bloku” (skala 1:250), na podstawie [1]

Fig. 2. Fragment „block” (scale 1:250), based on [1]

nalizacyjnej oraz stanowiły podstawę do sporządzenia innych map tematycznych dla potrzeb służb miejskich (np. mapy ulic, sporządzane dla potrzeb nadawania numeracji porządkowej posesjom) [1].

2. Układy współrzędnych miasta Łodzi

2.1. Lokalny układ współrzędnych „ŁAM”

Na początku lat 30-tych XX wieku zmieniły się wymagania techniczne narzucone dużym miastom przez władze państwowe. Zmiany te miały na celu ujednolicenie prac geodezyjnych i zwiększenie dokładności pomiarów oraz powiązanie sieci lokalnych z osnową zakładaną dla całego kraju [2]. Zaistniała więc w Łodzi potrzeba dokonania nowych pomiarów założonej lokalnej sieci triangulacyjnej. Potrzeba ta była tym bardziej pilna, że w sieci założonej w latach 1918-1921 było wiele zniszczeń. Projekt zagęszczenia miejskiej sieci triangulacyjnej został sporządzony w Oddziale Pomiarów Łódzkiego magistratu w 1932 r. i zatwierdzony w Ministerstwie Spraw Wewnętrznych w dniu 24 kwietnia 1933 r. Jednak zatwierdzony projekt podlegał jeszcze zmianom. Koniecznym było rozszerzenie sieci i dostosowanie jej do zakładanej na zlecenie Urzędu Wojewódzkiego Łódzkiego siatki triangulacyjnej Małego Regionu Łódzkiego [2].

Po wykonaniu pomiarów podstawowych dokonano powtórnych obliczeń miejskiej sieci triangulacyjnej. Orientację sieci wg południka geograficznego przyjęto z obliczeń sieci triangulacyjnej wykonanych w latach 1918-1921. Istotną zmianą, jaka została wówczas wprowadzona, dotyczyła punktu przyłożenia sieci. Współrzędne centralnego punktu sieci triangulacyjnej – na Kościele Św. Krzyża – uzyskały wartości $X=50\,000,00$ m, $Y=50\,000,00$ m. Skierowanie osi układu pozostało niezmienione. Zlikwidowano w ten sposób ujemne wartości współrzędnych X i Y , które zwiększały ryzyko pomyłek.

W 1935 r. podjęto decyzję o założeniu nowej jednolitej dla całego miasta mapy sytuacyjno-wysokościowej, w skali 1:1000, w kroju sekcyjnym. Przy opracowywaniu tej mapy nie prowadzono żadnych ustaleń stanów prawnych nieruchomości. Była ona używana na potrzeby miasta do połowy lat 1970-tych.

W latach 60-tych, w ramach ogólnokrajowego projektu budowy jednolitej, nowoczesnej osnowy geodezyjnej, wykonano pomiary również dla miasta Łodzi. Nowa sieć triangulacyjna, dla obszaru centralnej części miasta, w znacznej mierze pokryła się ze starą, założoną w latach 1930-1935.

W wyniku nowych pomiarów i obliczeń, współrzędne punktów sieci triangulacyjnej uległy niewielkim zmianom. Otrzymany w ten sposób układ współrzędnych otrzymał nazwę „Układ ŁAM” (ŁAM – Łódzka Aglomeracja Miejska).

Lokalny układ obowiązywał dla wykonywanych prac geodezyjnych do dnia 20.07.2009 r., gdy został wprowadzony, jako obowiązujący dla miasta Łodzi układ współrzędnych „2000”.

W latach 1970-tych przystąpiono również do opracowania jednolitej dla całego miasta mapy sytuacyjno-wysokościowej, w skali 1:500, w kroju sekcyjnym. Podstawę do jej opracowania stanowiły arkusze mapy założonej w latach 30-tych.

W latach 1958-1966 została założona w mieście Łodzi ewidencja gruntów i budynków. Zawierała ona część kartograficzną, czyli mapę ewidencyjną i jej matrycę oraz część opisową w postaci rejestrów - „stara ewidencja”. Każda dzielnica miasta stanowiła odrębną jednostkę ewidencyjną podzieloną na 930 obrębów.

W latach 1971-1981 założono nową ewidencję gruntów i budynków, zgodnie z Zarządzeniem Ministrów Rolnictwa i Gospodarki Komunalnej z dnia 20 lutego 1969 r.. Zachowano podział na jednostki ewidencyjne, ale zmianie uległ podział na obręby. W „nowej ewidencji gruntów i budynków” utworzono 188 obrębów. Ewidencja składała się również z części kartograficznej i części opisowej. Część kartograficzną stanowiła, prowadzona ręcznie mapa ewidencyjna w skali 1:1000 oraz zarysy pomiarowe granic, prowadzone w formie szkicu w przybliżonej skali. Część opisową stanowił rejestr gruntów i skorowidze prowadzone manualnie.

W 1990 r. dla celów prowadzenia części opisowej ewidencji gruntów wprowadzono program komputerowy, który usprawnił prowadzenie rejestru gruntów i wprowadzanie zmian.

2.2. Układ współrzędnych „1965”

Miasto Łódź, w czasie swojego szybkiego rozwoju, powiększało się kilkakrotnie o tereny przyległe. Ostatnia inkorporacja przyległych do Łodzi terenów nastąpiła z dniem 1 stycznia 1988 r. i wyniosła 7890 ha [3]. W jej wyniku powierzchnia miasta powiększyła swój obszar do 29325 ha [3].

Przyłączone tereny pochodziły:

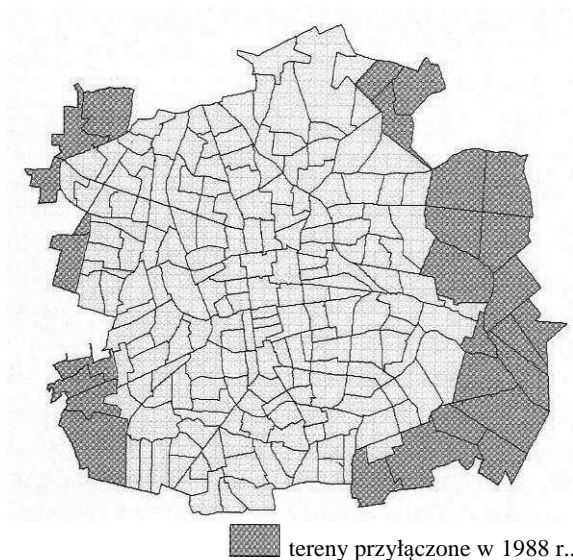
- z gmin - Aleksandrów Łódzki, Stryków, Zgierz, Brójce, Pabianice, Rzgów, Andrespol, Nowosolna,
- z miasta Konstantynów Łódzki.

Dla przyłączonych terenów opracowania geodezyjne były prowadzone w układzie „1965”, w skali 1:1000 i 1:2000.

Ewidencja gruntów i budynków na terenach przyłączonych, składająca się z części kartograficznej i części opisowej, prowadzona była w sposób tradycyjny.

Wprowadzony w 1990 r. program komputerowy dla części opisowej ewidencji gruntów objął również obszar przyłączony do miasta.

Dla prac geodezyjnych wykonywanych na terenach przyłączonych do miasta, układ współrzędnych „1965” obowiązywał do dnia 20.07.2009 r, gdy został wprowadzony, jako obowiązujący dla miasta Łodzi, układ współrzędnych „2000”.



Rys. 3. Lokalizacja terenów przyłączonych do miasta Łodzi w 1988 r.

Fig. 3. Location of sites connected to the city of Łódź in 1988

2.3. Układ współrzędnych „2000”

Modernizację ewidencji gruntów i budynków oraz sporządzenie mapy zasadniczej miasta Łodzi w formie elektronicznej rozpoczęto w latach 90-tych dla dzielnicy Śródmieście.

Jednak kompleksowe działania rozpoczęto w 2001 r., gdy przystąpiono do założenia ewidencji lokali oraz modernizacji ewidencji gruntów i budynków na obszarze miasta Łodzi.

Celem wszczętego postępowania było:

- 1) korygowanie granic nieruchomości,
- 2) ujednoczenie ewidencji ze stanem faktycznym i zapisami w księgach wieczystych,
- 3) pełna informatyzacja ewidencji.

Równocześnie prowadzono prace związane z założeniem mapy numerycznej będącej przekształceniem analogowej mapy zasadniczej.

Działania te były finansowane z budżetu miasta Łodzi, ale również zostały pozyskane środki unijne w ramach projektu „System Informacji o Terenie dla miasta Łodzi”.

Celem głównym podjętych działań było szybkie udostępnianie wiarygodnej informacji o przestrzeni miasta jego mieszkańcom, przedsiębiorcom, inwestorom zewnętrznym i urzędem. Szybkie udostępnianie informacji jest możliwe przy wykorzystaniu nowoczesnych środków informatycznych.

Całość prac została wykonana w aplikacjach:

- 1) EGBiL – ewidencja gruntów, budynków i lokali,

2) Geo-Info V – numeryczna mapa zasadnicza, jako zintegrowany System Informacji Przestrzennej, w którym wszystkie dane geometryczne i opisowe gromadzone są w jednej relacyjnej bazie danych.

Wprowadzenie układu współrzędnych „2000” z dniem 20.07.2009 r. zostało dokonane dla całego miasta w zakresie ewidencji gruntów i budynków oraz w części miasta dla mapy zasadniczej.

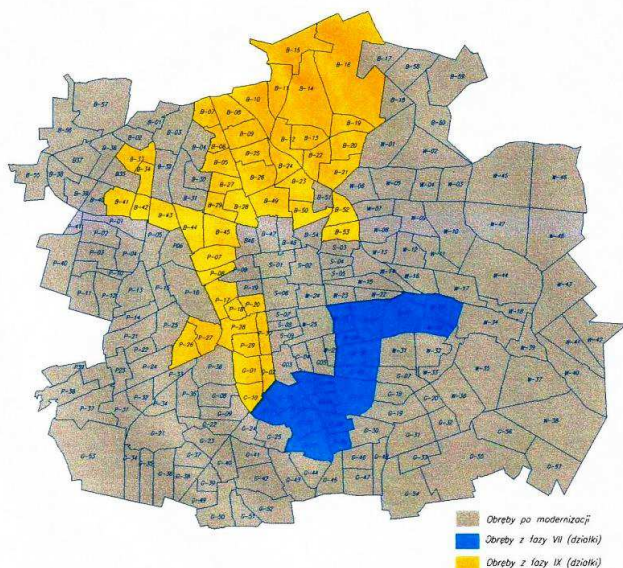
W lipcu 2009 r. wykonano transformację bazy numerycznej dla 215 obrębów m. Łodzi. Wśród nich 146 zawierało pełną treść ewidencji gruntów i budynków, natomiast 69 obrębów zawierało tylko dane dotyczące działek. Transformacji dokonano zgodnie z warunkami technicznymi na wykonanie konwersji (transformacji) map numerycznych obszaru miasta Łodzi z układu lokalnego „ŁAM” do układu „2000/18”, opracowanymi przez firmę ALGORES-SOFT z siedzibą w Rzeszowie.

Algorytm transformacji pojedynczego punktu uwzględniał dwa kroki obliczeniowe:

- 1) przekształcenie zasadnicze, według ustalonego wielomianu określającego generalny związek transformacyjny między układami „ŁAM” i „2000/18”,
- 2) korekta posttransformacyjna Hausbrandta, eliminująca lokalne deformacje układu pierwotnego nieobjęte przekształceniem zasadniczym.

Transformacji dokonano z kontrolą aplikacji, która miała na celu:

- 1) obliczenie odchylek transformacji dla wszystkich punktów dostosowania,
- 2) sprawdzenie, czy w zasadniczym etapie transformacji przekształcenie ŁAM=>2000/18 i odwrotne 2000/18=>ŁAM prowadzi dokładnie do współ-



Rys. 4. Szkic podziału miasta na obręby geodezyjne

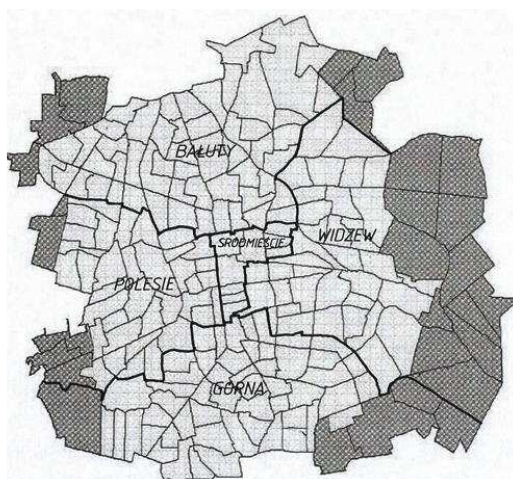
Fig. 4. Sketch division of the city for surveying districts

rzędnych wejściowych w układzie ŁAM (z dokładnością do błędu zaokrąglenia współrzędnych).

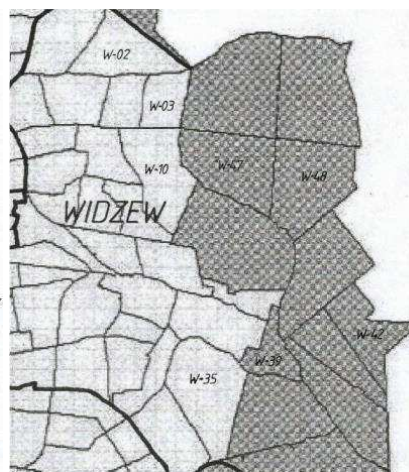
Wykonano również kontrolę ilościową i jakościową obiektów ewidencyjnych przed i po transformacji – działki ewidencyjne i budynki.

3. Analiza zmian powierzchni gruntów w wybranych obrębach geodezyjnych miasta Łodzi, powstała w wyniku transformacji z układu „ŁAM” na układ „2000”

Do szczegółowej analizy wybrano 8 obrębów zlokalizowanych w dzielnicy Widzew - położonych na terenach, gdzie obowiązywał układ współrzędnych „ŁAM” i układ „1965” [4, 5]. Obręby te pokazano na rysunkach nr 5 i 6.



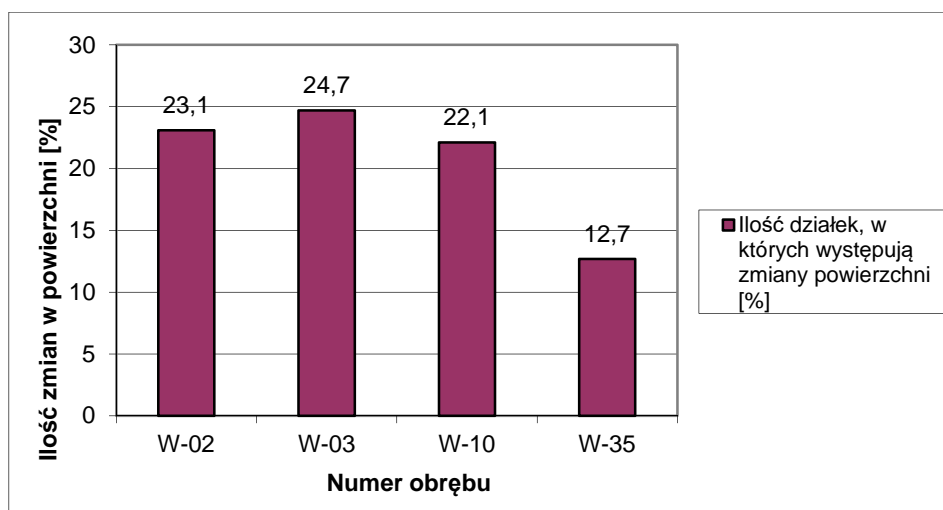
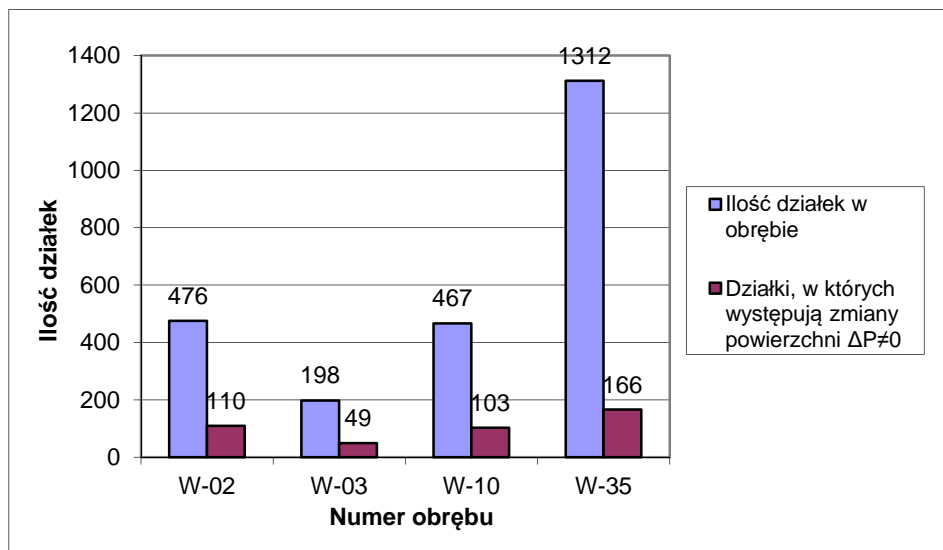
Rys. 5. Szkic podziału miasta na dzielnice
Fig. 5. Sketch division of the city into districts



Rys. 6. Szkic fragmentu dzielnicy Widzew z oznaczeniem wybranych obrębów geodezyjnych

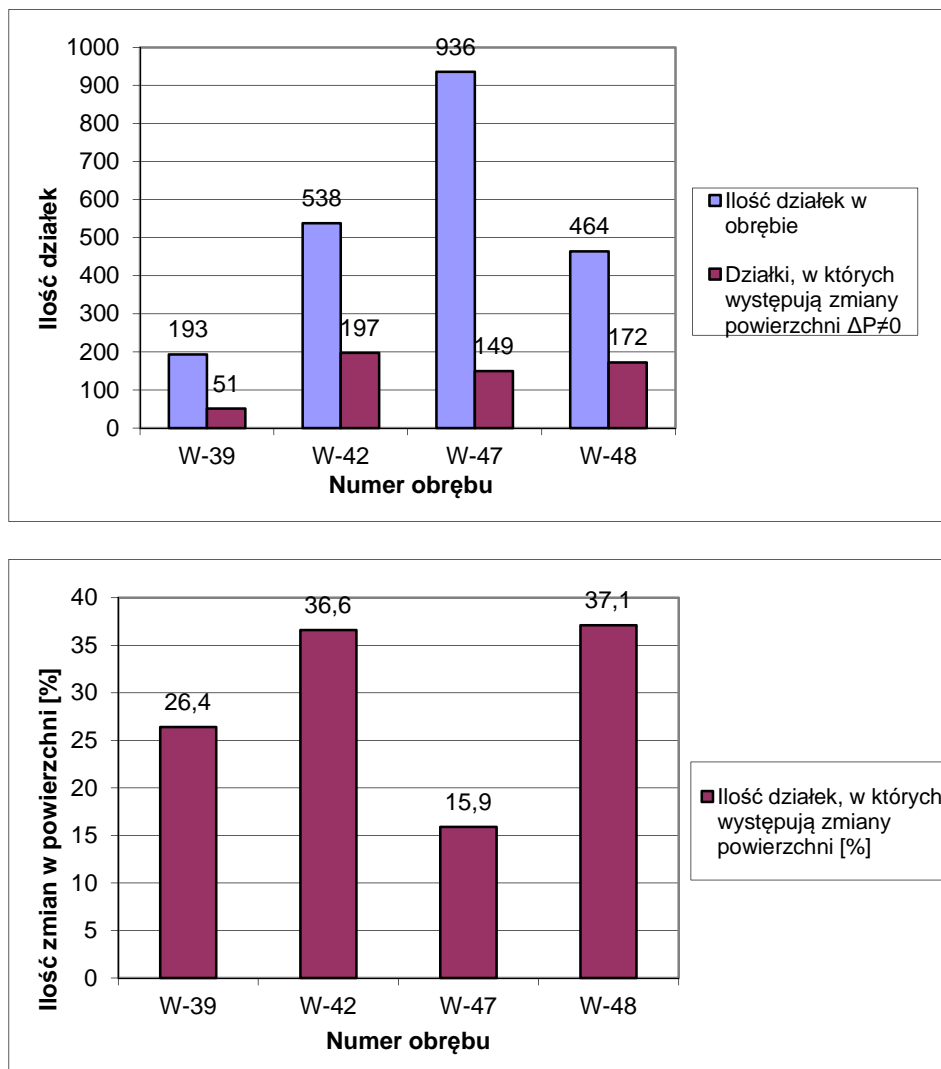
Fig. 6. Sketch portion of the district Widzew with the designation of selected surveying districts

Na rysunkach 7÷10 przedstawiono analizę zmian w powierzchni dla wybranych obrębów geodezyjnych.



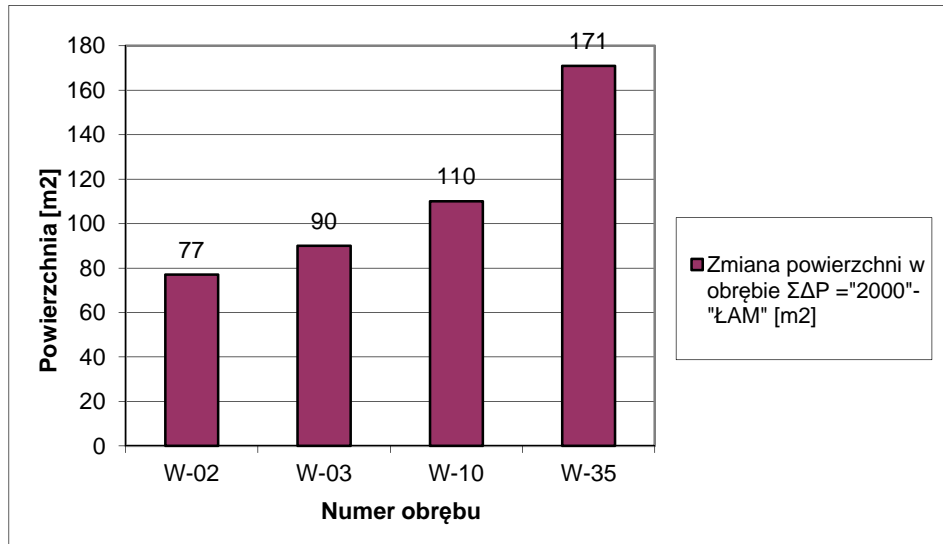
Rys. 7. Analiza zmian w powierzchni działek dla obrębów geodezyjnych, dla których dotychczas obowiązywał układ współrzędnych „ŁAM”

Fig. 7. Analysis of changes in land areas for surveying districts, which previously force the coordinate system "ŁAM"



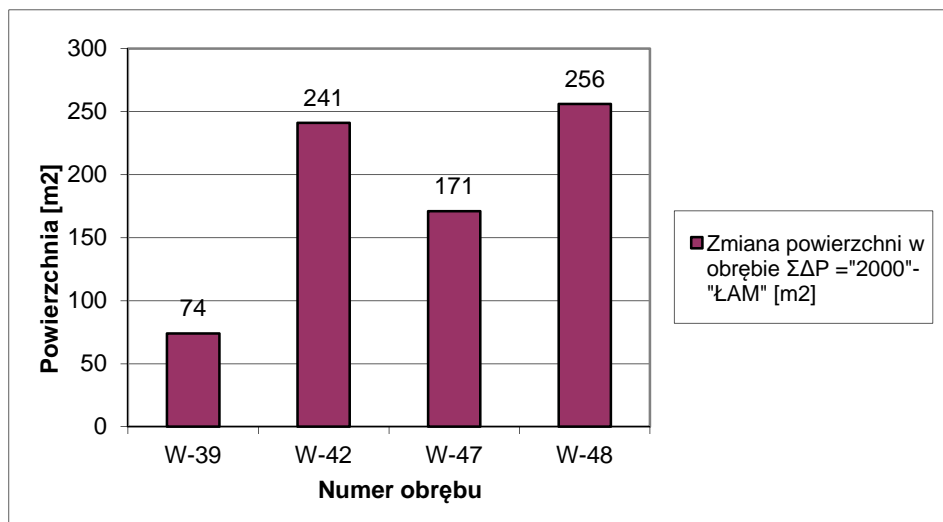
Rys. 8. Analiza zmian w powierzchni działek dla obrębów geodezyjnych, dla których dotychczas obowiązywał układ współrzędnych „1965”

Fig. 8. Analysis of changes in land areas for surveying districts, which previously force the coordinate system "1965"



Rys. 9. Analiza wielkości zmian w powierzchni dla wybranych obrębów geodezyjnych – dotychczasowy układ współrzędnych "ŁAM"

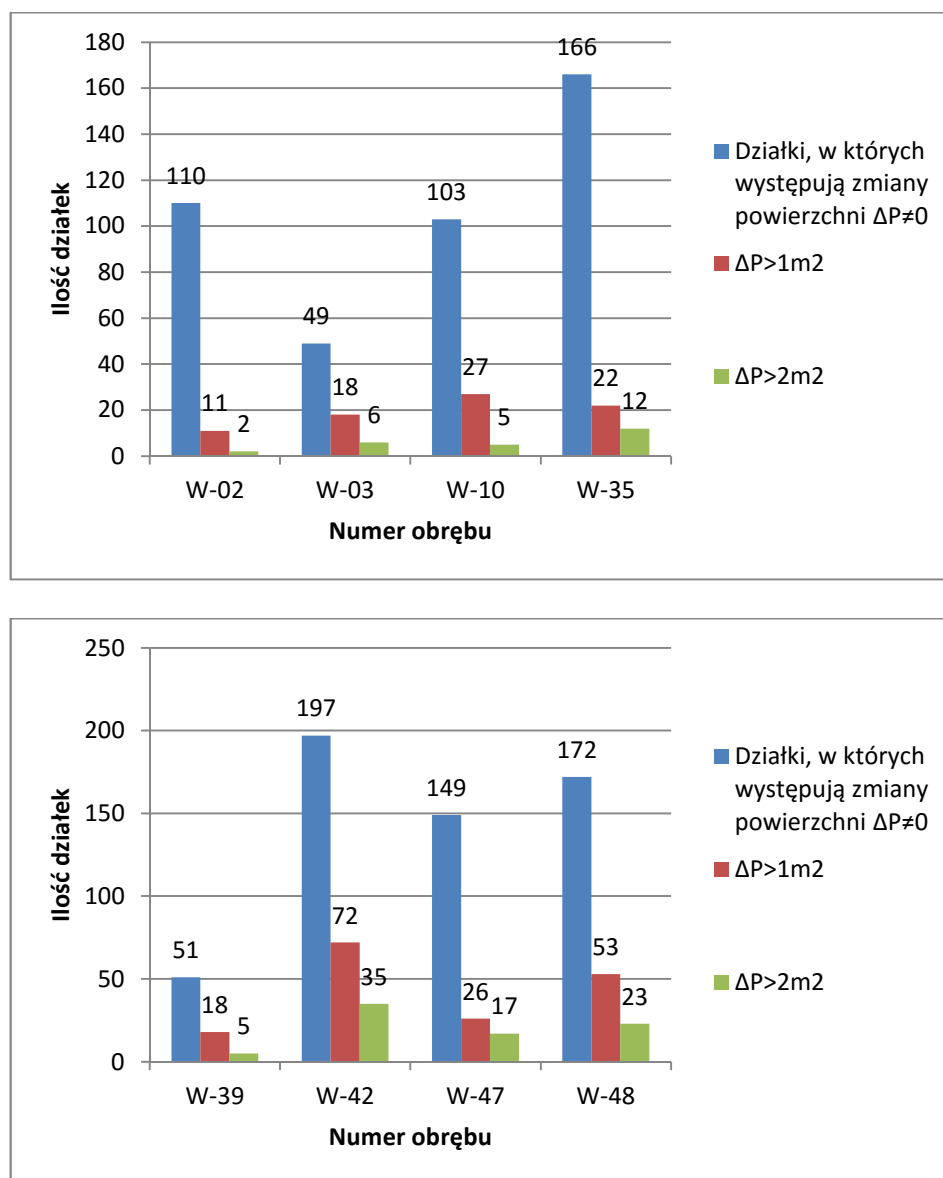
Fig. 9. Analysis of change the size of the surface at selected districts surveying - the current coordinate system "ŁAM"



Rys. 10. Analiza wielkości zmian w powierzchni dla wybranych obrębów geodezyjnych – dotychczasowy układ współrzędnych "1965"

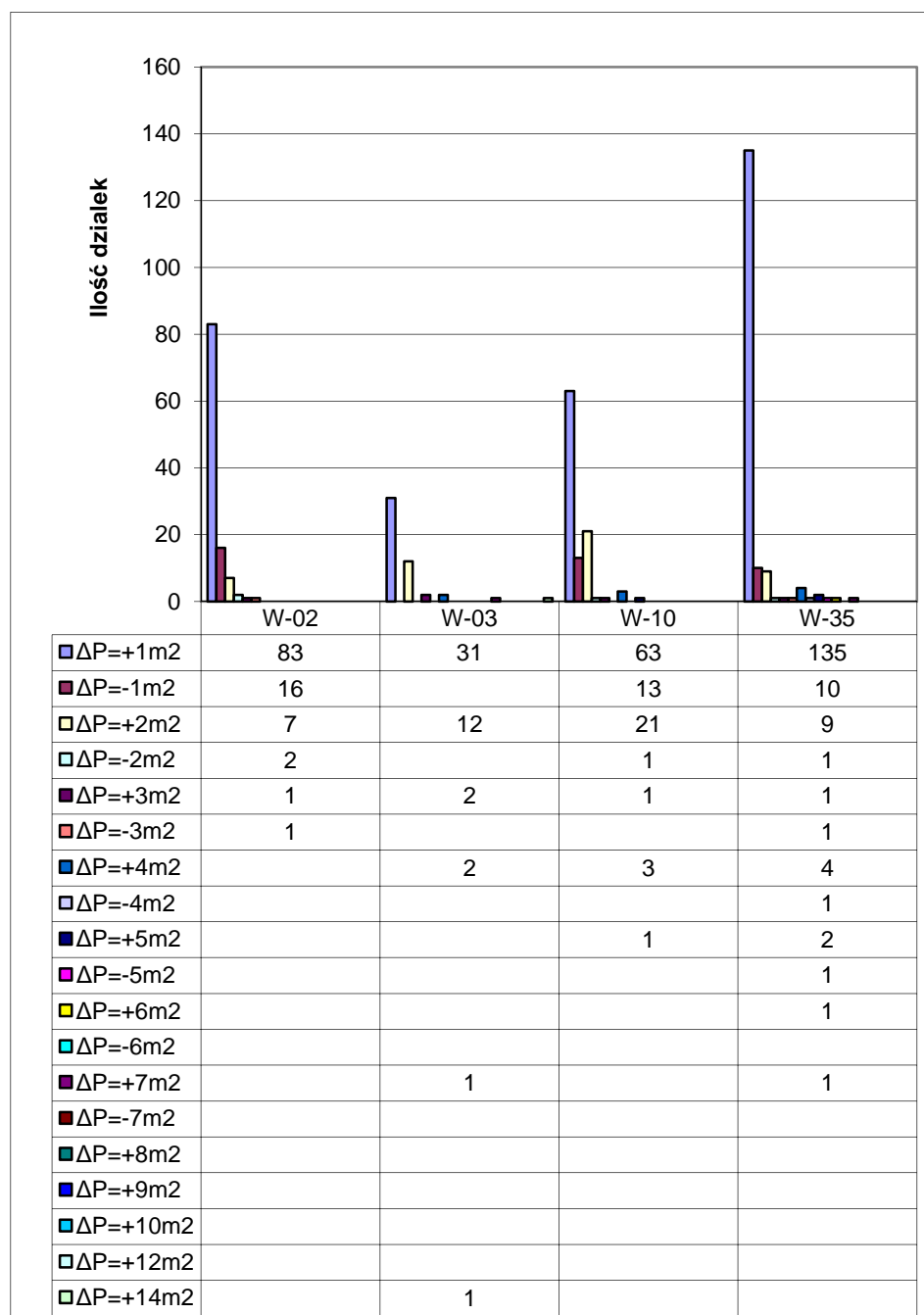
Fig. 10. Analysis of change the size of the surface at selected districts surveying – the current coordinate system "1965"

Rysunki 11-13 przedstawiają analizę ilościową w powierzchni działek, z uwzględnieniem wielkości zmian.



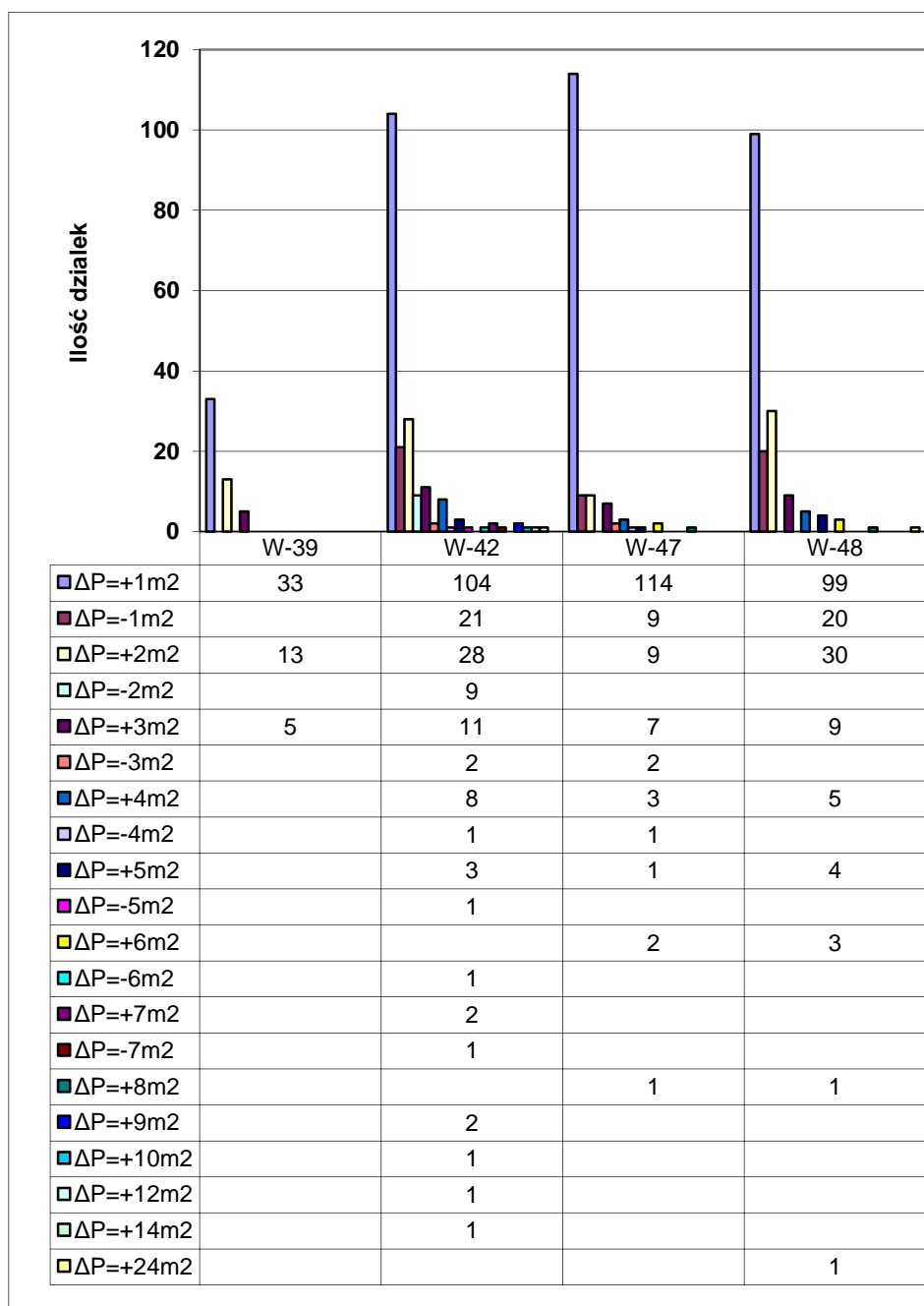
Rys. 11. Analiza ilościowa zmian w powierzchni, z uwzględnieniem wielkości zmiany

Fig. 11. Quantitative analysis of changes in the surface, taking account of changes



Rys. 12. Zestawienie wszystkich zmian w powierzchni dla wybranych obszarów geodezyjnych

Fig. 12. A list of all the changes in the surface at selected districts surveying



Rys. 13. Zestawienie wszystkich zmian w powierzchni dla wybranych obrębów geodezyjnych

Fig. 13. A list of all the changes in the surface at selected districts surveying

Na podstawie przedstawionej analizy i wykresów stwierdzono, że na 883 działkach nastąpił przyrost powierzchni a na 115 działkach powierzchnia uległa zmniejszeniu. Zmiany te zostały wprowadzone do Ewidencji Gruntów, Budynków i Lokali prowadzonej dla miasta Łodzi dla analizowanych obrębów geodezyjnych.

Jest to pierwszy artykuł obejmujący analizę zmian powierzchni miasta Łodzi wynikającej ze zmiany układów współrzędnych. Z przeprowadzonej analizy wynika, iż powierzchnia miasta zwiększyła się.

Podobne analizy były wykonywane dla Krakowa [6]. Powierzchnia miasta po dokonaniu transformacji z układu współrzędnych „1965” na układ „2000” uległa zmniejszeniu.

4. Wnioski

Wprowadzenie układu współrzędnych prostokątnych „2000” dla miasta Łodzi spowodowało ujednoczenie wykonywanych opracowań geodezyjnych. Dla terenów położonych na styku dawnych układów „ŁAM” i „1965” została opracowana mapa numeryczna w jednolitym układzie współrzędnych prostokątnych.

Z przeprowadzonej analizy zmian powierzchni działek, dla których dokonano transformacji układów współrzędnych „ŁAM” i „1965” na układ „2000”, w poszczególnych obrębach geodezyjnych wynika, że:

- 1) powierzchnia działek w większości analizowanych przypadków wzrosła,
- 2) powierzchnia wszystkich analizowanych obrębów geodezyjnych zwiększyła się,
- 3) większe różnice w powierzchni wystąpiły dla obrębów, dla których dotychczas obowiązywał układ współrzędnych „1965”,
- 4) ilość zmian w powierzchni działek jest większa dla obrębów, dla których dotychczas obowiązywał układ współrzędnych „1965”,
- 5) przeważają zmiany powierzchni o wielkości $\pm 1\text{m}^2$.

Literatura

- [1] Czochański M., Kośka T., Kowalski G.: Zarys dziejów geodezji w Łodzi, Monografie Politechniki Łódzkiej, Łódź 2009.
- [2] Szambelan Z.: Pomiary miasta Łodzi w latach 1918-1939, część I Lokalna triangulacja, Geodeta Magazyn Geoinformacyjny nr 4(155), kwiecień 2008.
- [3] Rozwój terytorialny Łodzi, Urząd Miasta Łodzi, Biuro Informacji i Komunikacji Społecznej, Łódź 2010.
- [4] Materiały archiwalne Łódzkiego Ośrodka Geodezji: Operat geodezyjno-prawny część I - Założenie mapy numerycznej, przeliczenie układu „ŁAM” na układ „2000”, przeliczenie wstępne.

- [5] Materiały archiwalne Łódzkiego Ośrodka Geodezji: Operat geodezyjno-prawny - Przeliczenie układu „LAM” na układ „2000”, ewidencja gruntów i budynków.
- [6] Banasiak P., Bagnicki J.: Kraj większy, Kraków mniejszy, Geodeta Magazyn Geoinformacyjny nr 3(178), marzec 2010.

CHANGES OF COORDINATE SYSTEMS IN THE PRACTICE OF SURVEYING THE CITY OF ŁÓDŹ

Summary

The paper discusses the rectangular coordinate systems of the city of Łódź, which were used in studies of geodetic and cartographic data. The changes of coordinate systems and their objectives of these changes as a result of the growing needs of the city were discussed, as well as the changes in the domestic economy and in legal regulations. An analysis of the changes that brought the introduction of a uniform for the whole country coordinate system "2000" was conducted.

The coordinate system "2000" was introduced in place of previously used in Łódź systems "LAM" and "1965", by making the transformation of the numerical base for 215 surveying districts of the city of Łódź. Among them, 146 contain the full content of the register of land and buildings, while 69 concessions contained only data plots. The transformation was made in accordance with the technical conditions for the performance of conversion maps, in the area of the city of Łódź. A detailed analysis was made for the registration of objects, which are plots surveying. An analysis of changes in the area of plots for selected surveying districts, which brought the introduction of the coordinate system "2000." It was found that on 883 plots there was a growth area and on 115 plots of land the area decreased. These changes were introduced into the Register of Land, Buildings and Premises conducted for the city of Łódź analyzed for surveying districts.

This is the first article which includes an analysis of the changes of the city of Łódź resulting from the change of coordinate systems. The analysis shows that the size of the city increased. An introduction of rectangular coordinate system "2000" for the city of Łódź resulted in unification of the performed geodetic surveys.

Keywords: coordinate systems, transformation, land, area

Przesłano do redakcji: 30.08.2016 r.

Przyjęto do druku: 15.09.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.141

Jolanta FIEDUCIK¹

FOTOWOLTAIKA SKONCENTROWANA, OSIĄGNIĘCIA I PERSPEKTYWY ROZWOJU

W artykule przeanalizowano możliwość wykorzystania promieniowania słonecznego do wytwarzania energii elektrycznej, ze szczególnym uwzględnieniem roli skoncentrowanego słonecznego. Przedstawiono najnowsze osiągnięcia w zakresie parametrów określających wydajności konwersji energii słonecznej na energię elektryczną w różnych rodzajach systemów fotowoltaicznych przy zastosowaniu koncentratorów promieniowania słonecznego. Skoncentrowana fotowoltaika (CPV), przy użyciu wielowarstwowych ogniw fotowoltaicznych, pozwala na zwiększenie wydajności i obniżenie kosztów instalacji. W artykule przeanalizowano także zastosowanie zintegrowanych mikroogniw fotowoltaicznych wykorzystujących skoncentrowane promieniowanie słoneczne. Zastosowanie systemów sterowania panelami fotowoltaicznymi zapewnia podwyższenie wydajności instalacji fotowoltaicznych. Scharakteryzowano obecny stan fotowoltaiki na Świecie, oraz przedstawiono perspektywy rozwoju.

Słowa kluczowe: skoncentrowana fotowoltaika CPV, ogniwa wielozłączowe, soczewki, zwierciadła, trakery słoneczne jedno i dwuosiowe

1. Istota fotowoltaiki skoncentrowanej

Jednym z istotnych obszarów przetwarzania energii słonecznej na inne rodzaje energii jest fotowoltaika. Fotowoltaika pozwala na bezpośrednie uzyskanie z energii promieniowania słonecznego, niezwykle wygodnej formy energii, jaką jest energia elektryczna. Techniki przetwarzania energii stosowane w fotowoltaice opierają się na różnych systemach oraz metodach konwersji energii słonecznej. Ostatnio, szczególnie intensywnie rozwijana jest technika przetwarzania energii słonecznej na energię elektryczną oparta o skoncentrowane promieniowanie słoneczne (CPV–Concentrated Photovoltaic) [1, 2]. Dodatkowo, w technice opartej o skoncentrowane promieniowanie słoneczne wykorzystuje się wielowarstwowe ogniwa fotowoltaiczne, które powodują, że wydajność przetwarzania energii słonecznej na elektryczną jest większa około 2,5 raza niż to ma miejsce w klasycznych jednozłączowych ogniwach fotowoltaicznych. Ogniwa

¹ Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk Technicznych, Katedra Elektrotechniki, Energetyki, Elektroniki i Automatyki, ul. Oczapowskiego 11 10-900 Olsztyn, jolanta.fieducik@uwm.edu.pl

wielowarstwowe zbudowane są z kilku warstw różnych półprzewodników [3]. Wykorzystują one znacznie szerszy zakres promieniowania słonecznego, niż ogniwa jednowarstwowe. Powoduje to zwiększenie wydajności pojedynczych ogniw fotowoltaicznych z około 15% [4] do około 46% [5], w przypadku ogniw wielozłączowych. Ogniwa wielowarstwowe są jednak znacznie droższe od ogniw jednowarstwowych o takiej samej powierzchni i stąd koncentracja promieniowania słonecznego na niewielkich powierzchniach takich ogniw jest w końcowym rezultacie ekonomicznie bardziej efektywna niż otrzymywanie energii elektrycznej z jednozłączowych ogniw fotowoltaicznych o dużej powierzchni. Także koncentracja promieniowania słonecznego na niewielkich i wydajnych ogniwach jest bardziej efektywna niż budowa kosztownych wielowarstwowych ogniw fotowoltaicznych o dużych powierzchniach bez koncentracji promieniowania słonecznego. Koszt układu skupiającego promieniowanie słoneczne w formie zwierciadła lub soczewki o dużej powierzchni jest znacznie niższy niż koszt wytworzenia wielowarstwowego ogniwa fotowoltaicznego o dużej powierzchni. Zasada działania CPV opiera się na skupieniu promieniowania słonecznego na małej powierzchni wielowarstwowego ogniwa fotowoltaicznego z wykorzystaniem soczewek tradycyjnych, soczewek Fresnela lub zwierciadeł parabolicznych. W systemach fotowoltaicznych typu CPV, koncentracja natężenia promieniowania słonecznego C jest wielokrotnością natężenia naturalnego promieniowania słonecznego. Stopień koncentracji promieniowania słonecznego może być znaczny i w praktyce dochodzi do wartości $C = 2000x$. Nie zawsze stopień koncentracji promieniowania słonecznego musi być tak wysoki. W systemach fotowoltaicznych o niskiej koncentracji (LCPV – Low Concentrated Photovoltaic) na ogół wykorzystuje się klasyczne ogniwa krzemowe o nieco wyższej wydajności. W systemach o wysokiej i bardzo wysokiej koncentracji promieniowania słonecznego, wykorzystuje się wielozłączowe ogniwa fotowoltaiczne, które pierwotnie opracowane zostały do zastosowań w instalacjach kosmicznych. Koszty wykonania ogniw wielozłączowych są wysokie, ale wykorzystanie tych ogniw w systemach CPV o wysokiej koncentracji pozwala uzyskać niższe koszty produkcji energii elektrycznej w przeliczeniu na kWh, niż w klasycznych ogniwach [6]. W rzeczywistych układach z tzw. śledzeniem dwuosiowym, można uzyskać wysoką wydajność takich modułów dochodzącą do 27% [7] w stosunku do typowych modułów na bazie krystalicznego krzemu o wydajności około 20,4% lub 20,8% dla ogniw cienkowarstwowych z tellurku kadmu [8-12].

2. Koncentracja promieniowania słonecznego

Systemy wytwarzające energię elektryczną z promieniowania słonecznego wykorzystują promieniowanie padające bezpośrednio, promieniowanie skoncentrowane lub przetworzone, jak to ma miejsce w przypadku koncentratorów luminescencyjnych lub termo fotowoltaicznych [13, 14].

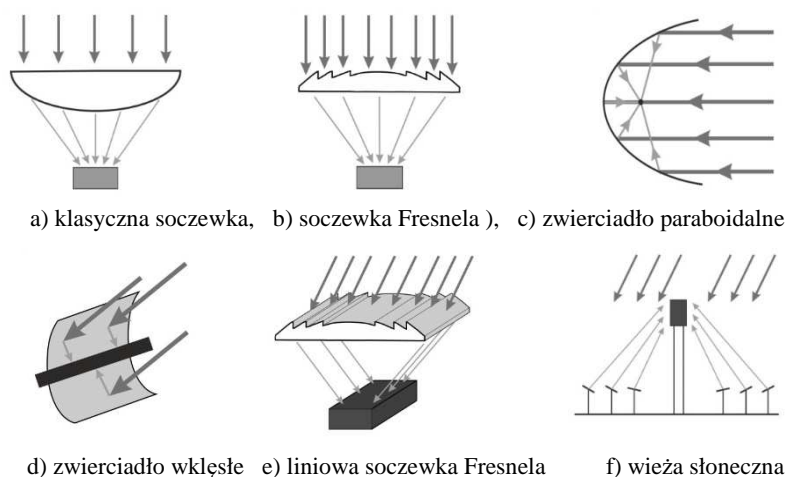
Ogniwa fotowoltaiczne wykorzystujące promieniowanie słoneczne mogą być:

- umieszczone równoległe do powierzchni Ziemi,
- umieszczone pod pewnym kątem lub,
- podążające za ruchem Słońca i ustawione zawsze prostopadle do kierunku padania promieniowania słonecznego.

Wymienione powyżej ustawienia powierzchni ogniw fotowoltaicznych są stosowane dla ogniw o powierzchniach zbliżonych do powierzchni areafu, na którym zostały zainstalowane. Inną, alternatywną metodą wytwarzania energii elektrycznej z promieniowania słonecznego jest skupienie tego promieniowania z całej powierzchni padania, na niewielkiej powierzchni przetwornika promieniowania słonecznego na energię elektryczną. Może to być element fotowoltaiczny lub odpowiedni system termodynamiczny wytwarzający prąd elektryczny. W tym ostatnim przypadku mamy do czynienia ze skoncentrowaną fotowoltaiką (CPV) lub skoncentrowaną elektrownią słoneczną (concentrated solar power CSP) [6, 15, 16]. Podstawowe systemy optyczne używane do koncentracji promieniowania słonecznego wykorzystują klasyczne soczewki, soczewki Fresnela [17, 18], zwierciadła płaskie i wklęsłe - paraboliczne, zwierciadła wklęsłe liniowe [19, 20].

W budowanych systemach fotowoltaicznych, koncentracja promieniowania słonecznego dochodzi do wartości będącej wielokrotnością natężenia naturalnego promieniowania słonecznego. Natężenie promieniowania słonecznego w miejscu położenia ogniw fotowoltaicznych, po tak silnym skupieniu dochodzi, więc do olbrzymiej bezwzględnej wartości wynoszącej około $2 \cdot 10^6 \text{ W/m}^2$.

Aby systemy koncentrujące energię słoneczną mogły właściwie funkcjonować, konieczne jest aby precyzyjnie nadążały za ruchem Słońca. W systemach tych używa się najczęściej wielozłączowych ogniw fotowoltaicznych. Ogniw fotowoltaiczne używane w systemach z koncentratorami muszą być chłodzone.



Rys. 1. Podstawowe metody koncentracji promieniowania słonecznego na podstawie [21]

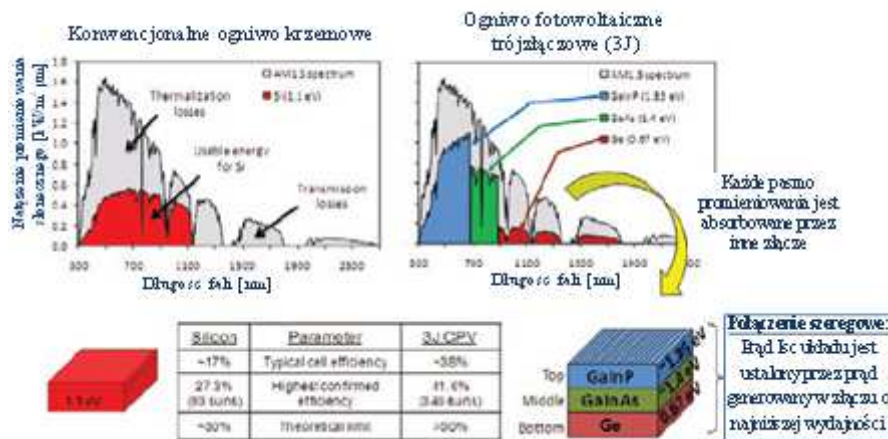
Fig. 1. Basic methods of concentration of solar radiation based on [21]

3. Wielozłączone ogniwa fotowoltaiczne

Multyzłączone ogniwa słoneczne pochłaniają więcej światła słonecznego niż w przypadku konwencjonalnych ogniw krzemowych. Każda komórka multyzłączonego ogniwa jest wykonana i przeznaczona do wychwytywania konkretnej długości fali promieniowania słonecznego. Zwiększa to liczbę fotonów, promieniowanie świetlne jest absorbowane i przekształcane w prąd. Taka konstrukcja i właściwości fizyczne ogniwa pozwalają uzyskać dużą wydajność, ponieważ wykorzystuje się praktycznie całą część widma promieniowania słonecznego, które przenosi prawie całą energię oraz zapobiega się stratom energii promieniowania wewnątrz ogniw na termalizację nośników ładunku, co ma istotne znaczenie w istniejących stratach energii promieniowania w ogniwach jednowarstwowych [22, 23].

Uzyskane na tej drodze ogniwa mogą mieć bardzo dużą wydajność, zwłaszcza w skupionym promieniowaniu słonecznym. Teoretyczna wydajność dla fotowoltaicznych ogniw zawierających nieskończenie dużą ilość złącz jest szacowana na wartość około 68%, przy użyciu nieskoncentrowanego promieniowania słonecznego i na około 87%, przy użyciu skoncentrowanego promieniowania słonecznego [25]. W 2015 roku najwyższa wydajność energetyczna ogniwa wielozłączonego, wynosiła 46% [5]. Omawiane powyżej systemy dotyczyły powierzchni skupiających promieniowanie słoneczne do jednego metra kwadratowego lub większej.

W celu ułatwienia procesów technologicznych i użytkowych zbudowano ogniwa o niewielkich wymiarach.



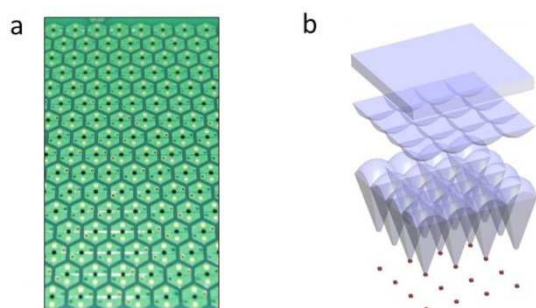
Rys 2. Schemat układu ogniwa konwencjonalnego Si i trójzłączonego InGaP/InGaAs/Ge na podstawie [24], budowa ogniwa wraz z informacjami o przerwie energetycznej poszczególnych ogniw i zakres widmowy, w którym aktywnie wytwarza energię elektryczną poszczególne ogniwo

Fig. 2 Diagram of cell-layer conventional Si cell and InGaP / InGaAs / Ge based on [24], the design of the cells together with information about the band gap of each cell and spectral range, which is actively producing electricity each cell

4. Zintegrowane mikroogniwa fotowoltaiczne wykorzystujące skoncentrowane promieniowanie słoneczne

W poprzednim paragrafie dyskutowane były ogniwa wielozłączowe z systemami ogniskującymi o wymiarach od kilku centymetrów do jednego metra dla pojedynczego ogniwa. Systemy takie mogą być podatne na wiatr i nie zawsze praktyczne w użyciu. W celu ominięcia tych problemów technicznych, często buduje się systemy zawierające koncentrator i ogniwo o małych wymiarach. Ogniwo wielozłączowe ma w takim przypadku wielkość rzędu mikronów, a soczewka koncentrująca to promieniowanie jest milimetrycznych rozmiarów [26]. Mikroogniwa fotowoltaiczne (MEPV) wykorzystujące skoncentrowane promieniowanie słoneczne są nową technologią i nie muszą mieć systemów chłodzących. Do produkcji zintegrowanych mikroogniw fotowoltaicznych wykorzystuje się technologie stosowane w przemyśle półprzewodnikowym do produkcji układów scalonych o bardzo dużej skali integracji oraz systemów do wytwarzania elementów optyki w mikroskali. Liniowe rozmiary ogniw PV mogą osiągać wartości od 100 do 300 μm i w przyszłości zminimalizują koszty produkcji modułów. Miniaturyzacja tych ogniw stwarza nowe możliwości w konstrukcji systemów, w których możliwe będzie zredukowanie kosztów wytwarzania 1Wp energii elektrycznej do 1\$ [27, 28]. Aby osiągnąć ten cel wydajność energetyczna modułów fotowoltaicznych powinna osiągnąć wartość powyżej 35%. CPV umożliwia wykorzystanie modułów o dużej wydajności, ale podnosi znacząco dodatkowe koszty dla wytwarzania śledzenia i optyki, związane z wymiarami obiektów z pojedynczymi ogniwami wielozłączowymi. MEPV, wykorzystujące niższe koszty ogniw i optyki powinny zdecydowanie zmniejszyć koszty wytwarzania, wykorzystując wiedzę i technologię budowy po wykorzystaniu dotychczasowych doświadczeń z układów scalonych [29]. Architektura systemu MEPV składa się z sześciokątnych ogniw fotowoltaicznych o maksymalnej odległości od wierzchołka do wierzchołka rzędu pomiędzy 100 μm , - 1000 μm rys. 3a. Zintegrowane mikroogniwa fotowoltaiczne MEPV tworzą układ scalony z soczewkami z tworzywa sztucznego, a całość pokryta jest warstwą szkła rys. 3b.

MEPV mogą być wykorzystane do produkcji elastycznych modułów fotowoltaicznych przetwarzających sztuczne lub naturalne światło na energię elektryczną. Takie elastyczne moduły mogą być gięte, profilowane, aby zmieścić się praktycznie na każdej, niezbyt płaskiej powierzchni, bez pęknięcia i złamania [31]. Umożliwia to umieszczanie takich modułów na różnych elementach budynków, pojazdów, urządzeniach elektroniki użytkowej lub ubraniu. W słoneczny dzień przetworzone na energię elektryczną promieniowanie świetlne może być wykorzystane do bezpośredniego zasilania urządzeń lub gromadzone w akumulatorach. Takie układy pozwalają obniżyć koszty modułów dzięki minimalizacji zużycia materiałów półprzewodnikowych. W dodatku zintegrowana optyka umożliwia wykorzystanie mikroogniw PV o wysokiej wydajności do zwiększenia wydajności energetycznej i obniżenia kosztów pozostałych składników elementów systemu [32].

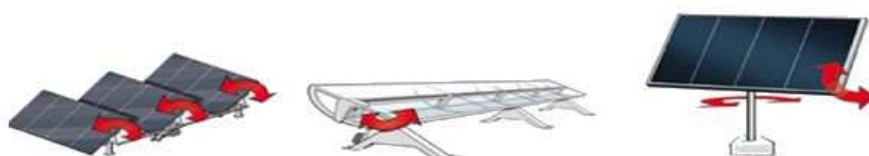


Rys. 3. Schemat zintegrowanego mikroogniwa MEPV na podstwie [30], a) układ w formie układu scalonego składa się z 216 mikroogniw c-Si PV, gdzie każde ma 720 μm szerokości i 20 μm grubości. Każda czarna kropka jest jednym mikroogniwem PV, b) poglądowa ilustracja zintegrowanego mikroogniwa MEPV z optyką

Fig. 3. Integrated microcells MEPV diagram based on [30]

5. Systemy sterowania koncentratorami energii słonecznej

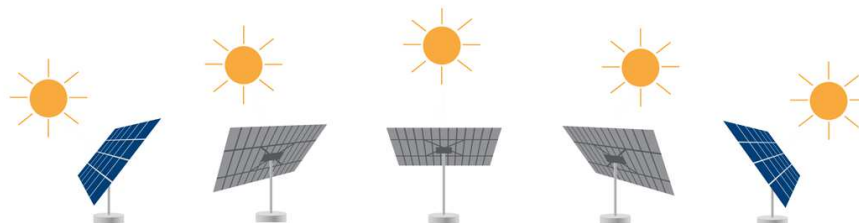
Ogniwa fotowoltaiczne osiągają najwyższą wydajność, kiedy są ustawione prostopadłe do kierunku promieniowania słonecznego. Można to zrealizować stosując układy sterowania pozycją paneli w sposób ciągły śledząc ruch pozorny Słońca. Takie układy nadążne zwane tracker'ami mogą realizować zmianę położenia płaszczyzny paneli w jednej lub w dwóch osiach. Zasadę działania takich układów przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Zasada działania układów nadążnych w jednej lub w dwóch osiach [32]

Fig. 4. Operational procedure for lag circuits with one or two axes [32]

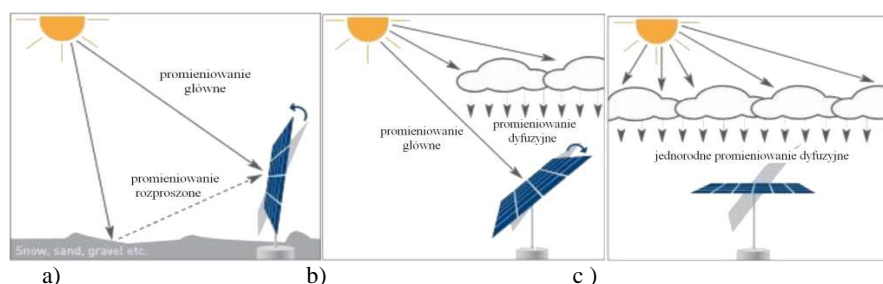
Zmiana położenia Słońca wymusza na układzie nadążnym zmianę położenia płaszczyzny ogniw fotowoltaicznych tak, aby osiągnąć najwyższą wydajność przetwarzania promieniowania słonecznego [33]. W słoneczny dzień i przy braku promieniowania odbitego rys. 5 sterowanie układu nadążnego wykorzystuje promieniowanie bezpośrednie.



Rys. 5. Działania układu nadążnego przy promieniowaniu bezpośrednim w słoneczny dzień na podstawie [32]

Fig. 5. Operational procedure for lag circuits one or two axes based on [32]

Gdy występuje promieniowanie bezpośrednie i rozproszone rys. 6a układ nadążny ustawia płaszczyznę paneli fotowoltaicznych tak, aby maksymalizować całkowitą moc promieniowania (bezpośredniego i rozproszonego) docierającego do układu. W dni z częściowym lub całkowitym zachmurzeniem układ nadążny będzie optymalizować całkowitą moc promieniowania bezpośredniego i dyfuzyjnego rys. 6b lub promieniowania dyfuzyjnego rys. 6c.



Rys. 6. Działanie układu nadążnego przy promieniowaniu rozproszonym i dyfuzyjnym na podstawie [32]

Fig. 6. Servo system performance with direct exposure to sun radiation based on [32]

Na rys. 7 przedstawiono przykładowe konstrukcje tracker'ów z zamontowanymi panelami słonecznymi.

Zastosowanie układów nadążnych zwiększa uzysk energii dzięki redukcji strat wynikających z kąta padania promieni słonecznych innego niż prostopadły, a w przypadku układów o dwóch osiach, straty te są minimalne. Zastosowanie układów nadążnych zwiększa od 20% do 40% [17, 18] wydajność przetwarzania energii promieniowania, w zależności od poziomu nasłonecznienia na danym obszarze i pory roku. W przypadku większego nasłonecznienia, trackery istotnie podnoszą efektywność w porównaniu z konstrukcjami stacjonarnymi[35]. Ukła-



Rys. 7. Konstrukcje tracker'a z panelami słonecznymi [34]

Fig. 7. Structures tracker with solar panels [34]

dy o podwójnej osi stosowane powinny być przy wysokiej koncentracji promieniowania (PV HCPV) - 100 Słońc lub większej - natomiast w niskich koncentracjach (2-100 Słońc) mogą być użyte układy o jednej osi. Dla modułów CPV układy nadążne powinny być bardzo precyzyjne i błąd ustawienia nie powinien przekraczać $1,0^\circ$, podczas gdy dla typowych modułów PV dokładność ustawienia do 3° nie wpływa praktycznie na wydajność energetyczną. Na dokładność śledzenia mogą mieć wpływ zmiany temperatury, wiatr, kondensacja, zabrudzenie czujników, czy też zużycie w trakcie eksploatacji układów mechanicznych lub elektrycznych [36, 37].

6. Wydajność systemów fotowoltaiki skoncentrowanej

Firmy z branży fotowoltaiki na całym świecie ciągle pracują nad podwyższeniem wydajności swoich ogniw. W 2015 roku rekordowa sprawność polikrystalicznego PV zbudowanego na bazie krzemu wyniosła 21,25% [5]. Wydajność komercyjnych modułów polikrystalicznych wynosi 15,6-16,1% bez koncentracji promieniowania słonecznego. Natomiast wydajność monokrystalicznego ogniwa fotowoltaicznego obecnie wynosi około 25% [5].

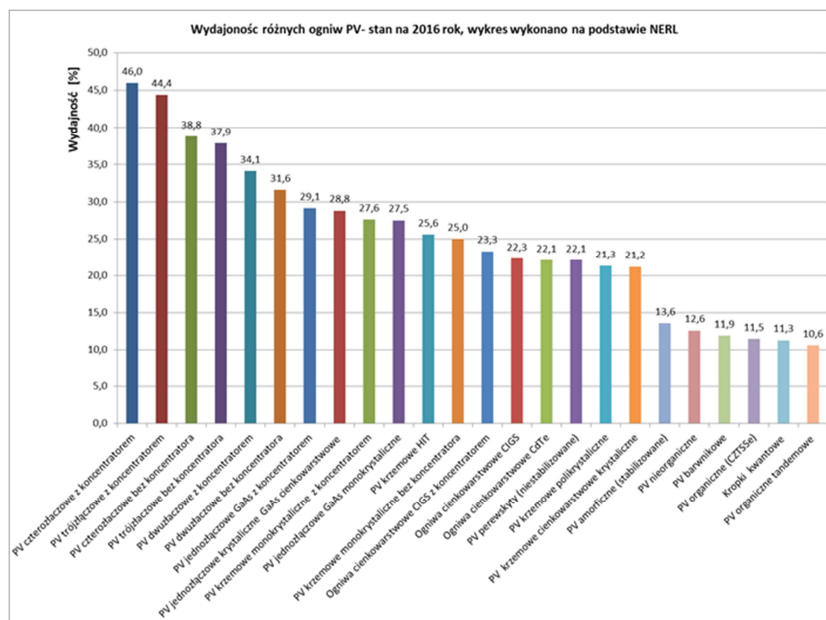
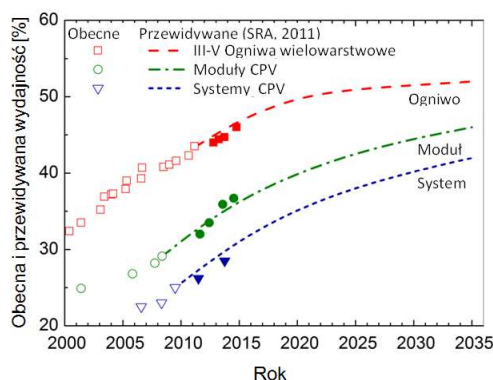
Istnieje także możliwość zamontowania ogniw fotowoltaicznych po stronie przeciwnej do naświetlanej. Technologia dwustronnych modułów fotowoltaicznych jest nowym kierunkiem w rozwoju PV. Taką możliwość daje generowanie energii nie tylko przez przednią stronę modułów, ale także przez tylną – dzięki wykorzystaniu światła odbitego (tzw. efekt albedo). Producenci modułów fotowoltaicznych w tej technologii podają, że mogą one generować nawet o 30% więcej energii niż moduły jednostronne [38].

Sprawność czteroźłączowego ogniwa skoncentrowanego CPV wyniosła maksymalnie 46%, przy zastosowaniu soczewek Fresnela [5]. Wysoka koncentracja promieniowania słonecznego HCPV nadaje się do obszarów o wysokim natężeniu promieniowania bezpośredniego [39]. Poprzez koncentrację z odpowiednią optyką skupia się promieniowanie słoneczne na małych powierzchniach ogniw słonecznych. Standardem stają się poziomy natężenia powyżej $C=400 \times$. Wydajność ogniwa jest zależna od kilku czynników, takich jak napięcie obwodu otwartego, prądu zwarcia oraz czynnika FF. Każdy z tych czynników zależy od oświetlenia. Dla ogniw wydajność wraz z oświetleniem różnie rośnie od około 300 do 800 Słońc, a potem zwykle maleje [40-43].

Obok na rys. 8 przedstawiono obecne i oczekiwane wydajności ogniw, modułów i systemów skoncentrowanej fotowoltaiki CPV [44].

Rys. 8. Wydajność ogniw MJ, modułów i systemów CPV obecnie i w przyszłości na podstawie [45]

Fig. 8. CPV performance now and in the future based on [45]



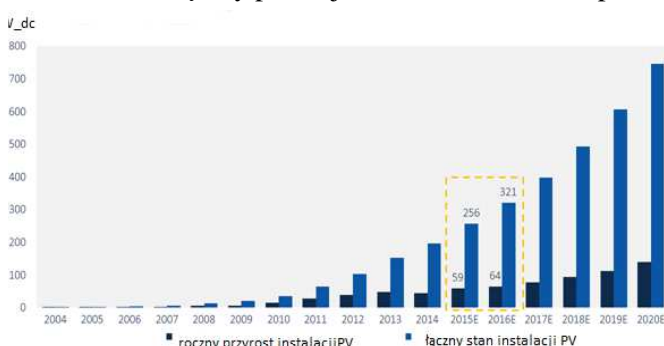
Rys. 9. Wydajności różnych ogniw PV na podstawie [5, 46]

Fig. 9. Performance of different PV cells based on [5, 46]

Reasumując ogniwa CPV wielozłączowe osiągają wydajność 46%, a systemy z wielozłączowymi CPV wytwarzające użyteczny prąd zmienny posiadają łączną wydajność około 30%, natomiast klasyczna fotowoltaika w systemach około 13%. Jest to około 2,5 razy mniej.

7. Elektrownie CPV na świecie

W Polsce w ostatnim czasie liczba elektrowni fotowoltaicznych PV wciąż wzrasta, ale ciągle nie ma instalacji fotowoltaicznych skoncentrowanych CPV. W roku 2015 w Polsce powstały elektrownie fotowoltaiczne PV o mocy ok. 50 MW, a ich łączny potencjał w Polsce wzrósł do ponad 74 MW, podczas gdy na



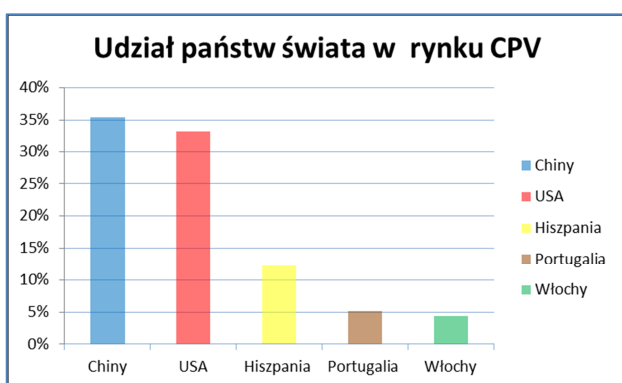
koniec 2014 r. wynosił 21 MW, a na koniec 2013 r. zaledwie 1,9 MW [47].

Światowy rynek produkcji energii elektrycznej z PV od 2004 do 2020 roku przedstawiono na rys. 10.

Rys. 10. Wykres produkcji energii z PV na świecie i perspektywy rozwoju na podstawie [48]

Fig. 10. Chart production of electricity from PV in the world based on [48]

Przewiduje się, że zainstalowana moc skoncentrowanej fotowoltaiki CPV na świecie wzrośnie ponad czterokrotnie do 1,3 GW do 2020 roku, z 282,5 MW w 2014 roku [49]. Poniżej na rys. 11 przedstawiono udział państw w których są zainstalowane CPV w zależności od mocy całkowitej w MW. Rynek producen-



tów paneli CPV jest zdominowany przez firmy z Chin i USA, które posiadają w nim udział na poziomie odpowiednio 35,4% i 33,3%. Trzecie miejsce w tej analizie zajmują firmy z Hiszpanii 12,2%, a czwarte i piąte firmy z Portugalii i Włoch 5,1% i 4,3% [50].

Rys. 11. Udział państw świata w rynku CPV na podstawie [50]

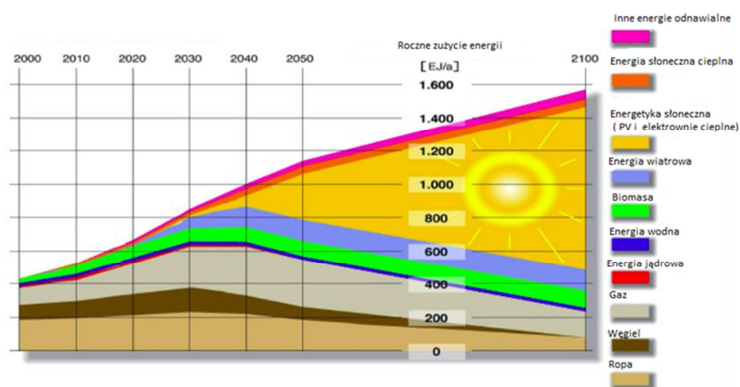
Fig. 11. Participation of the world market for CPV based on [50]

8. Podsumowanie

Rozwój fotowoltaiki w Polsce i na Świecie jest konieczny i naturalny. Firmy produkujące moduły fotowoltaiczne będą nadal walczyć o każdą dziesiątą część procenta wydajności. Należy podkreślić, że spore znaczenie ma redukcja strat na poziomie ogniwo-panel, technologie obustronnych paneli, trackerów i systemów skupiających promieniowanie słoneczne [51].

Dynamiczny rozwój nowych technologii w branży fotowoltaicznej zapewni wzrost wydajności całych instalacji. Ze względu na cenę i ograniczenia w wolnej powierzchni preferowane będą instalacje skoncentrowane CPV [52].

Poniżej, na rys.12 przedstawiono wykres z prognozami globalnego wykorzystania źródeł energii.



Rys. 12. Prognoza globalnego wykorzystania źródeł energii na podstawie [53]

Fig. 12. The forecast for global use of renewable Energy based on [53]

Jak wynika z prognoz jedna czwarta energii w 2050 roku będzie wykorzystywana z energii słonecznej [54, 55].

Szacuje się, że pokrycie zaledwie 0,5% powierzchni kraju panelami PV pozwoliłoby w całości zaspokoić zapotrzebowanie na energię elektryczną.

Literatura

- [1] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE) and US National Renewable Energy Laboratory (NREL), Current Status of Concentrator Photovoltaic (CPV) Technology(Freiburg, Germany and Golden, CO: 2016), pp. 6-7.
- [2] Zhang H.L. and others: Concentrated solar plants: review and design methodology. Renewable and Sustainable energy reviews 22, 2013, pp. 466–481.
- [3] Choubey P. C., Qudhia A. and Dewangan R.: A Review: Solar Cell Current Scenario and Future Trends, Recent Research in Science and Technology, 4(8): 2012, pp. 99–101.
- [4] Review and Comparison of Different Solar Energy Technologies, GENI, 2011.

- [5] Green M.A., Emery K., Hishikawa Y., Warta W.: Solar cell efficiency tables (version 47), *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, Volume 24, 2016, pp. 3–11.
- [6] Scott and others: Cost Analysis for Flat-Plate Concentrators Employing Microscale Photovoltaic Cells, *Photovoltaic Specialist Conference (PVCS)*, 2013 IEEE, 39th, pp. 3431–3434.
- [7] De Simón-Martín M., Alonso-Tristán C. and Montserrat Díez-Mediavill: Performance Indicators for Sun-Tracking Systems: A Case Study in Spain. *Energy and Power Engineering*, 2014, vol. 6, pp. 292-302.
- [8] Marszałek, K. Stapiński, T.: Rozwój cienkowarstwowych ogniw fotowoltaicznych, *Prace Instytutu Elektrotechniki, Rocznik 2014, Z. 266, Strony 199—206*.
- [9] Wu X.: High-efficiency Polycrystalline CdTe Thin-film Solar Cells, *Sol. Energ.*, vol. 77, 803-814, 2004.
- [10] Mattson B.: CIGS Solar Cells, *Solar Power World*, 2016.
- [11] Weisse J. M.: *Thermoelectric Generators, Introduction to the Physics of Energy*, 2010.
- [12] Kurtz S.: Opportunities and Challenges for Developing of a Mature Concentrating Photovoltaic Power Industry, *NREL Technical Report NREL/TP-520-43208*, 2009.
- [13] Godlewski J.: Fotowoltaika wysokich oświetleń, *Czysta Energia 1/2014*, pp. 30-31.
- [14] Kaysir M. D., Fleming S., MacQueen R.W., et al.: Luminescent solar concentrators utilizing stimulated emission, *Optics Express Vol. 24*, 2016, pp. A497-A505.
- [15] Lorenzin N., Abánades A.: A review on the application of liquid metals as heat transfer fluid in Concentrated Solar Power technologies, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 41, 2016, pp. 6990–6995.
- [16] Romero M., González-Aguilar J.: Solar thermal CSP technology, *Energy and Environment*, 2014, Volume 3, pp. 42–59.
- [17] Hongn M., Larsen F. S., Gea M., Altamirano M.: Least square based method for the estimation of the optical end loss of linear Fresnel concentrators, *Solar Energy 111*, 2015, pp. 264–276.
- [18] Rajae M., Ghorashi S.M.B.: Experimental measurements of a prototype high-concentration Fresnel lens and sun-tracking method for photovoltaic panel's efficiency enhancement, *Journal of Theoretical and Applied Physics*, vol. 9, 2015, pp. 251-259.
- [19] Fieducik J., Godlewski J.: Ekonomiczne i środowiskowe aspekty skoncentrowanej fotowoltaiki, *Przegląd Elektrotechniczny nr 9/2015*, pp 24-26.
- [20] Dumiszewska, E. Knyps, P. Wesołowski, M. Strupiński, W.: Wielozłączone ogniwa słoneczne, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2014, Tom R. 90, nr 5, str. 215—221.
- [21] Khamooshi M. i inni: A Review of Solar Photovoltaic Concentrators, *International Journal of Photoenergy*, vol. 2014, p.17.
- [22] King R. R.: 40% Efficient Metamorphic GaInP/GaInAs/Ge Multijunction Solar Cells, *Appl. Phys. Lett.* 90, 183516. 2007.
- [23] Kurtz S.: Multijunction Solar Cells for Conversion of Concentrated Sunlight to Electricity, *Optics Express* 18, 2010, p. 73.
- [24] Yoon H., Banin Y.: *Refractive Primary Optics Based on All-Glass Lens*. Solergy, 2011.
- [25] De Vos A.: Detailed balance limit of the efficiency of tandem solar cells, *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol,13, 1980, pp. 839-846.

- [26] Bardhan R. A., Arup D., Mrinmoyee Ch. et al.: Black silicon solar cell: analysis optimization and evolution towards a thinner and flexible future, *Nanotechnology* 2016, Volume: 27 pp. 5302-5302.
- [27] Paap S., Gupta V., Cruz-Campa J. L., Okandan M., Sweatt W., and others: Cost Analysis for Flat-Plate Concentrators Employing Microscale Photovoltaic Cells, 2013, *Photovoltaic Specialists Conference* pp. 3431-3434.
- [28] Cost Analysis of Solar Photovoltaics, *Raport International Renewable Energy Agency*, 2012.
- [29] Lentine, A. Nielson G., Okandan M., Sweatt W.C. and others: Optimal cell connections for improved shading, reliability, and spectral performance of microsystem enabled photovoltaic (MEPV) modules. 35th IEEE photovoltaic specialists conference, 2010, *IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, pp. 3048-3054.
- [30] Paap S., Nat S., Gupta V., Cruz-Campa J.S., Okandan M. more authors: Cost analysis for flat-plate concentrators employing microscale photovoltaic cells, 2013, *IEEE 39th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*. pp. 3431 – 3434.
- [31] Garboushian V. and others: Integrated high-concentration PV, Near-term alternative for low-cost large scale solar electric power, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 47,1997, pp. 315–323.
- [32] <http://www.degerenergie.de/en/higher-yield-how.html> {dostęp 24.05.2016 r.}.
- [33] <http://www.czasopismologistyka.pl/artykuly-naukowe/send/333-artykuly-na-plycie-cd-1/7572-artykul>{dostęp 24.05.2016 r.}
- [34] <http://odnawialnezrodlaenergii.pl/energia-sloneczna-aktualnosci/item/1098-trackery-solarne-czy-warto-sie-zdecydowac> {dostęp 24.05.2016 r.}.
- [35] Fathabadi H.: Novel high efficient offline sensorless dual-axis solar tracker for using in photovoltaic systems and solar concentrators, 2016, *Renewable Energy* Volume 95, pp. 485–494.
- [36] Carpanelli M., Borelli, G., Verdilio D., De Nardis D., Migali F., Cancro C., Graditi G.: Characterization of the Ecosole HCPV Tracker and Single Module Inverter, 11th International conference on concentrator photovoltaic systems, *AIP Conference Proceedings*, Volume: 1679, 2015.
- [37] Luque-Heredia I., Magalhães P., Muller, M.: CPV Tracking and Trackers, *Handbook of Concentrator Photovoltaic Technology*, Algora C., Rey-Stolle I. 2016.
- [38] <http://panele-fotowoltaiczne.pl/technologie-fotowoltaiczne/dwustronne-panele-fotowoltaiczne-na-ile-podnosza-oplalnosc-inwestycji>{dostęp 24.05.2016 r.}.
- [39] Micheli, L., Fernandez E.F., Almonacid F., Mallick T.K., Tapas K., Smestad G.P.: Performance, limits and economic perspectives for passive cooling of High Concentrator Photovoltaics, *Solar energy materials and solar cells*, Volume, 153, 2016, pp. 164-178.
- [40] Wang Z., Zhang H., Zhao W., Zhou Z., Chen M.: The Effect of Concentrated Light Intensity on Temperature Coefficient of the InGaP/InGaAs/Ge Triple-Junction Solar Cell, *The Open Fuels & Energy Science Journal* 8, 2015, pp. 106-111.
- [41] Messmer E.R.: Cell Efficiency vs. Module Power Output: Simulation of a Solar Cell in a CPV Module. Chapter 11. 2013.
- [42] Bunea G, Wilson K, Meydbray Y, Campbell M, Ceuster DD.: Low Light Performance of Mono-Crystalline Silicon Solar Cells, In: 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conference, 2006, pp. 1312–1314.

- [43] McConnell R., Fthenakis V. Concentrated Photovoltaics. Third Generation Photovoltaics. 2012.
- [44] Domínguez, C., Herrero, R. and Antón, I.: Characterization of CPV Modules and Receivers, in Handbook of Concentrator Photovoltaic Technology, 2016.
- [45] Philipps S. P., Bett A., W., Horowitz K. and Kurtz S.: Current Status of Concentrator Photovoltaic (CPV) Technology, CPV Report, Fraunhofer ISE, NREL, January 2015.
- [46] <http://cdn.phys.org/newman/gfx/news/hires/2016/1-claimsforsol.jpg> {dostęp 16.07.2016r.}.
- [47] <http://www.teraz-srodowisko.pl/media/pdf/aktualnosci/2208-Raport-rozwoj-PV.pdf> {dostęp 16.07.2016r.}.
- [48] http://www.greentechmedia.com/content/images/articles/gtmglobal_install.png {dostęp 24.05.2016 r.}.
- [49] <http://renewables.seenews.com/news/global-cpv-capacity-to-hit-1-3-gw-by-2020-globaldata-495389> {dostęp 16.07.2016 r.}.
- [50] <http://pyportal.pl/nawosci/5755/raport-liczba-instalacji-cpv-osiagnie-w-2020-roku-1gw> {dostęp 24.05.2016 r.}.
- [51] Międzynarodowa Agencja Energii Odnawialnej IRENA, Perspektywy rozwoju energii odnawialnej w Polsce 2015.
- [52] Zimmermann S., Helmers H., Tiwari M.K., Michel B. Paredes S. Wiesenfarth M. Bett A.W., Poulikakos D.: A high-efficiency hybrid high-concentration photovoltaic system, International Journal of Heat and Mass Transfer, 2015, Volume: 89. pp. 514-521.
- [53] solarwirtschaft.de {dostęp 24.05.2016 r.}.
- [54] Wang U.: The Rise of Concentrating Solar Thermal Power, Renewable Energy World, 2011.
- [55] Antonini A.: Photovoltaic Concentrators-Fundamentals, Applications, Market & Prospective, Solar Collectors and Panels, Theory and Applications, 2011.

Podziękowanie: Pragnę wyrazić serdeczne podziękowania Panu Profesorowi Janowi Godlewskiemu za cenne uwagi i naukowe dyskusje, które przyczyniły się do powstania niniejszej publikacji.

CONCENTRATED SOLAR, ACHIEVEMENTS AND OUTLOOK

Summary

The article examines the possibility of using solar energy to generate electricity, with a particular focus on the role of the concentrated solar radiation. Describes the latest developments in the field of parameters that specify a conversion efficiency of solar energy into electricity in different types of photovoltaic systems using solar concentrators. Concentrated photovoltaics (CPV), using multilayer photovoltaic cells, allow an increase in performance and reduces the cost of installation. The article also examines the use of the integrated multi PV microcell utilizing concentrated solar radiation. Usage of navigated PV module systems provides an increase in performance of the photovoltaic installation. The article describes the current state of photovoltaics all over the world, and shows the prospects for future development.

Keywords: concentrated photovoltaics CPV, cells multi-junction, lenses, mirrors, solar tracker one- and two-axis

Przesłano do redakcji: 28.07.2016 r.

Przyjęto do druku: 15.09.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.142

Klaudia KUJAWSKA¹
Janusz RAK²

ANALIZA I OCENA STRAT WODY WODOCIĄGU MIASTA MIELCA

W celu obniżenia kosztów związanych z uzdatnianiem i dostarczaniem wody, należy przeprowadzać działania modernizacyjne, opierając je na analizie dotyczącej strat wody. W pracy przedstawiono analizę i ocenę strat wody, przeprowadzoną na podstawie danych udostępnionych przez Zakład Wodociągów i Kanalizacji w Mielcu. Otrzymane dane dotyczą struktury sieci wodociągowej miasta Mielca oraz bilansu ilościowego wody w latach 2012-2014. Na tej podstawie wyznaczono podstawowe wskaźniki strat wody według International Water Association. Wyznaczono następujące wskaźniki strat wody: procentowy (WS), jednostkowy start rzeczywistych (RLB), objętości wody niedochodowej (MRWB), start nieuniknionych (UARL), infrastrukturalny indeks wycieków (ILD). Na podstawie kategorii podanych przez IWA, możemy zauważyć, że w roku 2014 mielecka sieć wodociągowa zaliczała się do sieci o bardzo dobrym stanie technicznym. Otrzymane wartości wskaźników strat wody w mieleckim systemie wodociągowym są porównywalne do wartości wskaźników uzyskanych w innych systemach zbiorowego zaopatrzenia w wodę w Polsce.

Słowa kluczowe: straty wody, wskaźniki strat wody, zużycie wody, system zaopatrzenia w wodę

1. Wprowadzenie

Mielec to miasto o powierzchni 46,89 km², położone w południowo-wschodniej Polsce, w województwie podkarpackim. Liczba mieszkańców wynosi około 61 000. Miasto słynie przede wszystkim z branży lotniczej i motoryzacyjnej. Na przełomie lat 1937 – 1939 powstały tutaj Polskie Zakłady Lotnicze, co zapoczątkowało rozwój ekonomiczno-przemysłowy Mielca. Granicę zachodnią omawianego obszaru tworzy zlewnia rzeki Wisłoki, która jest głównym źródłem wody dostarczanej mieszkańcom miasta Mielca i wsi Złotniki. Woda pobierana jest za pomocą ujęcia brzegowo-komorowego Wojśław,

¹ Klaudia Kujawska, Politechnika Rzeszowska

² Autor do korespondencji / corresponding author: Janusz Rak, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17 8651449, e-mail: rakjan@prz.edu.pl

którego wydajność planowana wynosi 26352 m³/d. Dodatkowym źródłem zaopatrzenia w wodę jest ujęcie lewarowe o wydajności projektowanej 7200 m³/d. Pobierana woda dostarczana jest do Stacji Uzdatniania Wody zlokalizowanej w Mielcu przy ul. Wolności 29, gdzie następuje szereg procesów mających na celu uzyskanie wody o odpowiedniej jakości [1-3].

Celem pracy jest przedstawienie analizy i ocena strat wody w wodociągu mieleckim w latach 2012-2014.

2. Metody i dane wyjściowe

Analizując zużycie wody przez odbiorów porównuje się kilka okresów rozliczeniowych, dzięki czemu istnieje możliwość wykrycia pewnych nieprawidłowości, które mogą świadczyć o przeprowadzeniu błędnych pomiarów, bądź o stratach wody [4]. Pomocne jest wówczas opracowanie wskaźników strat wody, do obliczenia których niezbędne są następujące wielkości [5-9]:

- woda wprowadzona do sieci – V_{wt} ,
- zużycie na potrzeby własne – V_{wl} ,
- woda sprzedana – V_{sp} ,
- woda sprzedana na potrzeby gospodarstw domowych – V_{spgd} ,
- straty wody – V_{str} ,
- długości sieci: sieć magistralna – M, sieć rozdzielcza – R, całkowita długość – R+M, podłączenia wodociągowe – PW,
- liczba przyłączy wodociągowych – LPW.

Tabela 1 przedstawia bilans wykorzystania wody dysponowanej przez Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej w Mielcu w latach 2012-2014.

W tabeli 2 zestawiono długości sieci wodociągu mieleckiego w latach 2012-2014.

Tabela 1. Bilans wykorzystania wody w latach 2012 – 2014, na podstawie [3]

Table 1. Balance water use in 2012 – 2014, based on [3]

Rok	Woda wtłoczona do sieci	Woda sprzedana	Woda zużyta na cele własne	Straty wody	Woda sprzedana gospodarstwom domowym
	V_{wt}	V_{sp}	V_{wl}	V_{str}	V_{spgd}
[m ³ /rok]					
2012	3499800	2691800	505300	302700	2122100
2013	3574100	2651800	605600	316700	2093100
2014	3550400	2697700	629800	222900	2113800

Tabela 2. Długości sieci wodociągu eksploatowanego przez MPGK w Mielcu w latach 2012-2014, na podstawie [3]

Table 2. Length of the water supply system operated by MPGK in Mielec in 2012-2014, based on [3]

Rok	Długość sieci magistralnej M [km]	Długość sieci rozdzielczej R [km]	Razem M+R [km]	Długość połączeń wodociągowych PW [km]	Razem L [km]	Liczba połączeń LPW [szt.]
2012	29,7	164,6	194,3	104,9	299,2	5381
2013	29,7	167,7	197,4	106,4	303,8	5457
2014	29,7	170,3	200	107,8	307,8	5527

3. Wskaźniki strat wody wg International Water Association

Analiza strat wody została przeprowadzona z wykorzystaniem wskaźników zalecanych przez IWA. Należą do nich [5]: procentowy wskaźnik strat – WSW oraz wskaźniki określające straty w podsystemie dystrybucji: jednostkowy wskaźnik strat rzeczywistych – RLB, wskaźnik objętości wody niedochodowej – NRWB, infrastrukturalny indeks wycieków – ILI oraz bilans strat nieuniknionych – UARL.

Procentowy wskaźnik strat

Jest to wskaźnik służący do określenia udziału strat wody w objętości wody wprowadzonej do sieci:

$$WSW = \frac{V_{str}}{V_{wtł}} \cdot 100\% \quad (1)$$

Jednostkowy wskaźnik strat rzeczywistych

Wyznaczenie tego wskaźnika wymaga określenia dobowej wartości rzeczywistych strat z bilansem wodnym oraz liczby połączeń wodociągowych [4,5]. Wyróżnione zostały następujące wersje wskaźnika RLB:

$$RLB_1 = \frac{V_{str}}{(M+R)365} \text{ [m}^3\text{/km}\cdot\text{d]} \quad (2)$$

$$RLB_2 = \frac{V_{str} \cdot 1000}{LPW} \text{ [dm}^3\text{/d} \cdot \text{połączenie wodociągowe]} \quad (3)$$

Jeżeli liczba przyłączy przypadająca na kilometr sieci wynosi mniej niż 20, zaleca się stosowanie wskaźnika RLB_1 , natomiast, gdy wynosi ona minimum 20 stosuje się wskaźnik RLB_2 .

Wskaźnik objętości wody niedochodowej

$$NRWB = \frac{V_{wtł} - V_{sp}}{V_{wtł}} \cdot 100\% \quad (4)$$

Bilans strat nieuniknionych

Na roczną objętość wody, którą określa się jako straty nieuniknione składają się następujące składniki [4]:

- wycieki nieuniknione na przewodach sieci (nie uwzględniając przyłączy) – $18 \text{ dm}^3/\text{km}\cdot\text{d}\cdot\text{mH}_2\text{O}$ ciśnienia,
- nieuniknione wycieki na podłączeniach (do granicy nieruchomości) – $0,8 \text{ dm}^3/\text{przyłącze} \cdot \text{d} \cdot \text{mH}_2\text{O}$ ciśnienia,
- nieuniknione wycieki na podłączeniach (od granicy nieruchomości do głównego wodomierza) – $25 \text{ dm}^3/\text{km}\cdot\text{d}\cdot\text{mH}_2\text{O}$ ciśnienia.

$$UARL = [18 \cdot (M+R) + 25 \cdot PW + 0,8 \cdot LPW] \cdot 0,365 \cdot p \text{ [m}^3/\text{rok]} \quad (5)$$

gdzie: p – średnie ciśnienie w strefie pomiarowej [mH_2O];

p = około $40 \text{ mH}_2\text{O}$;

$0,365$ – współczynnik przeliczeniowy na m^3 i na rok.

Infrastrukturalny indeks wycieków

Dzięki temu współczynnikowi możliwe jest przeprowadzenie porównania i oceny działań, jakie podejmuje się, aby obniżyć straty wody [4,5].

$$ILI = \frac{V_{str}}{UARL} [-] \quad (6)$$

W tabeli 3 przedstawiono kategorie i charakterystyczne wartości wskaźnika, umożliwiające przeprowadzenie prawidłowej oceny stanu technicznego wodociągu.

Tabela 3. Kategorie wartości wskaźnika według IWA, ILI, AWWA oraz WBI Banding System, na podstawie [10]

Table 3. Categories of IWA, IMI, AWWA and WBI Banding System, based on [10]

Zakres i kategoria wg IWA	Kategorie ILI	Zakres wg WBI Banding System		Zakres 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 ≥ 3,0 stan niedopuszczalny	stan niedopuszczalny	ILI > 16,0	ILI > 8,0	ILI > 8,0

Obliczenia wskaźników strat wody wg IWA – rok 2012

Obliczenia wykonano na podstawie danych z tabeli 1 i tabeli 2.

- procentowy wskaźnik strat

$$WSW = \frac{302700}{3499800} \cdot 100 = 8,6 \%$$

- jednostkowy wskaźnik strat rzeczywistych

$$RLB_1 = \frac{302700}{194,3 \cdot 365} = 4,3 \text{ m}^3/\text{km} \cdot \text{d}$$

$$RLB_2 = \left(\frac{302700 \cdot 1000}{5381} \right) / 365 = 154,1 \text{ dm}^3/\text{d} \cdot \text{podłączenie wodociągowe}$$

- wskaźnik objętości wody niedochodowej

$$NRWB = \frac{3499800 - 2691800}{3499800} \cdot 100 = 23,1 \%$$

- bilans strat nieuniknionych

$$UARL = [18 \cdot 194,3 + 25 \cdot 104,9 + 0,8 \cdot 5381] \cdot 0,365 \cdot 40 = 152200,6 \text{ m}^3/\text{rok}$$

- infrastrukturalny indeks wycieków

$$ILI = \frac{302700}{152200,6} = 2$$

Wskaźniki zalecane do porównania według IWA dla pozostałych lat wyznaczono analogicznie, a wyniki zamieszczono w tabeli 4.

Tabela 4. Wskaźniki strat wody dla wodociągu mieleckiego w latach 2012 - 2014, na podstawie [2,3]

Table 4. Water loss rates of water supply system in Mielec in 2012 – 2014, based on [2,3]

Wskaźnik Rok	WSW [%]	RLB ₁ [m ³ /km · d]	RLB ₂ [dm ³ /d · PW]	NRWB [%]	UARL [m ³ /rok]	ILI [-]
2012	8,6	4,3	154,1	23,1	152200,6	2
2013	8,9	4,4	159	25,8	154450,5	2,1
2014	6,3	3,1	110,5	24	156462,4	1,4

4. Jednostkowe wskaźniki strat wody

W celu dokładnego przedstawienia funkcjonowania systemu zaopatrzenia w wodę wyznacza się jednostkowe wskaźniki strat wody, do których należą [26]:

Ilość wody wprowadzanej do sieci

$$q_{wtł} = \frac{V_{wtł} \cdot 1000}{LM \cdot 365} [\text{dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}] \quad (7)$$

Ogólna ilość sprzedanej wody

$$q_{sp} = \frac{V_{sp} \cdot 1000}{LM \cdot 365} [\text{dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}] \quad (8)$$

Ilość wody sprzedanej na potrzeby gospodarstw domowych

$$q_{\text{spgd}} = \frac{V_{\text{spgd}} \cdot 1000}{LM \cdot 365} [\text{dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}] \quad (9)$$

Ilość strat wody

$$q_{\text{str}} = \frac{V_{\text{str}} \cdot 1000}{LM \cdot 365} [\text{dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}] \quad (10)$$

Ilość wody wykorzystywanej na cele własne wodociągu

$$q_{\text{wt}} = \frac{V_{\text{wt}} \cdot 1000}{LM \cdot 365} [\text{dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}] \quad (11)$$

Ilość wody niedochodowej

$$q_{\text{nd}} = \frac{(V_{\text{wti}} - V_{\text{sp}}) \cdot 1000}{LM \cdot 365} [\text{dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}] \quad (12)$$

Obliczenia jednostkowych ilości wody – rok 2012

Liczba mieszkańców korzystających z sieci wodociągowej w 2012 wynosiła 60967. Do wykonania obliczeń wykorzystano dane zawarte w tabeli 1.

- ilość wody wprowadzanej do sieci

$$q_{\text{wti}} = \frac{3499800 \cdot 1000}{60967 \cdot 365} = 157,3 \text{ dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}$$

- ogólna ilość sprzedanej wody

$$q_{\text{sp}} = \frac{2691800 \cdot 1000}{60967 \cdot 365} = 121,0 \text{ dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}$$

- ilość wody sprzedanej na potrzeby gospodarstw domowych

$$q_{\text{spgd}} = \frac{2122100 \cdot 1000}{60967 \cdot 365} = 95,4 \text{ dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}$$

- straty wody

$$q_{\text{str}} = \frac{302700 \cdot 1000}{60967 \cdot 365} = 13,6 \text{ dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}$$

- ilość wody wykorzystywanej na cele własne wodociągu

$$q_{\text{wt}} = \frac{505300 \cdot 1000}{60967 \cdot 365} = 22,7 \text{ dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}$$

- ilość wody niedochodowej

$$q_{\text{nd}} = \frac{(3499800 - 2691800) \cdot 1000}{60967 \cdot 365} = 36,3 \text{ dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}$$

Obliczone dotyczące jednostkowych ilości wody dla pozostałych lat wykonano analogicznie, a wyniki umieszczono w tabeli 5.

Tabela 6 zawiera natomiast zestawienie wartości jednostkowego wskaźnika obciążeń hydraulicznych sieci, wskaźnika strat odnoszący się do całkowitej długości sieci oraz rzeczywistych strat wody w latach 2012 – 2014. Do obliczeń wykorzystano następujące wzory:

Tabela 5. Zestawienie jednostkowych wskaźników ilości wody w latach 2012 - 2014

Table 5. Summary of unit indicators of the amount of water in 2012 -2014

		Rok		
		2012	2013	2014
Liczba mieszkańców korzystających z wodociągu LM		60967	60828	60564
Jednostkowy wskaźnik ilości wody [dm³/mk. · d]	q_{wt}	157,3	161,0	160,6
	q_{sp}	121,0	119,4	122,0
	q_{spgd}	95,4	94,3	95,6
	q_{str}	13,6	14,3	10,1
	q_{wl}	22,7	27,3	28,5
	q_{nd}	36,3	41,5	38,6

Tabela 6. Jednostkowe wskaźniki hydraulicznych obciążeń oraz rzeczywiste straty wody w latach 2012 – 2014, na podstawie [2,3]

Table 6. Indicators of individual hydraulic loads and real water losses in 2012 – 2014, based on [2,3]

Rok	q_o [m ³ /km · d]	q_{strL} [m ³ /km · d]	V'_{str} [m ³ /rok]	q'_{strL} [m ³ /km · d]
2012	49,3	2,8	150499,4	1,4
2013	49,6	2,9	162249,5	1,5
2014	48,6	2	66437,6	0,6

Wskaźnik obciążenia hydraulicznego

$$q_o = \frac{V_{wt}}{L_{M+R} \cdot 365} \text{ [m}^3\text{/km} \cdot \text{d]} \tag{13}$$

Wskaźnik strat wody dla całkowitej długości sieci

$$q_{strL} = \frac{V_{str}}{L \cdot 365} \text{ [m}^3\text{/km} \cdot \text{d]} \tag{14}$$

Rzeczywiste straty wody

$$V'_{str} = V_{str} - UARL \text{ [m}^3\text{/rok]} \tag{15}$$

Ponadto w tabeli zamieszczono również wskaźnik jednostkowy strat wody dla całkowitej długości sieci z uwzględnieniem strat rzeczywistych, obliczony według zależności (16).

$$q'_{\text{strL}} = \frac{V'_{\text{str}}}{L \cdot 365} [\text{m}^3/\text{km} \cdot \text{d}] \quad (16)$$

Do wyznaczenia wskaźników na podstawie wzorów (13), (14), (15), (16) wykorzystano dane zawarte w tabelach 1, 2 oraz 4. Obliczenia dla roku 2012 przedstawiają się następująco:

- wskaźnik obciążenia hydraulicznego

$$q_0 = \frac{3499800}{194,3 \cdot 365} = 49,3 \text{ m}^3/\text{km} \cdot \text{d}$$

- wskaźnik strat wody dla całkowitej długości sieci

$$q_{\text{strL}} = \frac{302700}{299,2 \cdot 365} = 2,8 \text{ m}^3/\text{km} \cdot \text{d}$$

- rzeczywiste straty wody

$$V'_{\text{str}} = 302700 - 152200,6 = 150499,4 \text{ m}^3/\text{rok}$$

$$q'_{\text{strL}} = \frac{150499,4}{299,2 \cdot 365} = 1,4 \text{ m}^3/\text{km} \cdot \text{d}$$

Obliczenia dla lat 2013 i 2014 wykonano analogicznie, a wyniki zostały umieszczone w tabeli 6.

5. Podsumowanie

- Procentowy udział strat wody w ilości wody wprowadzonej do mieleckiego wodociągu w latach 2012 – 2014 mieścił się w zakresie 6,3% ÷ 8,9%.
- W odniesieniu do długości sieci wartość jednostkowego wskaźnika strat rzeczywistych zawierał się w przedziale 3,1 ÷ 4,4 m³/km · d. Biorąc pod uwagę liczbę przyłączy wodociągowych wskaźnik ten osiągał wartości z zakresu 110,5 ÷ 159 dm³/d · PW. W obu przypadkach widoczny jest początkowy niewielki wzrost wartości obliczeniowej, po czym z roku 2013 na 2014 następuje zmniejszenie wskaźnika.
- W latach 2012 – 2014 procentowy udział objętości wody nie przynoszącej dochodów utrzymywał się na w miarę stałym poziomie w granicy 23,1 ÷ 25,8%.
- W latach 2012 – 2014 wartości wskaźnika ILI mieściły się w zakresie 2,1 ÷ 1,4%. Na podstawie kategorii podanych przez IWA, możemy zauważyć, że w roku 2014 mielecka sieć wodociągowa zaliczała się do sieci o bardzo dobrym stanie technicznym, natomiast w latach wcześniejszych był średni (2013 r.) i dobry (2012 r.). Biorąc pod uwagę zakresy ustanowione przez WBI dla rozwijających się krajów oraz AWWA stan wodociągu w podanym okresie czasu był bardzo dobry. Natomiast w przypadku krajów rozwiniętych w roku 2012 i 2014 sieć posiadała bardzo dobry stan, a w 2013 r. był on dobry.
- Objętości wody zużywanej na poszczególne cele w przeliczeniu na jednego konsumenta przedstawiają szczegółową sytuację eksploatacyjną sieci wodociągowej eksploatowanej przez MPGK w Mielcu. Najmniejsze wartości odnotowano w przypadku jednostkowych ilości strat. Mieściły się one w zakresie 10,1 ÷ 14,3 dm³/mk. · d. Biorąc pod uwagę objętości wody wykorzystywanej

przez jednego mieszkańca w gospodarstwie domowym były one około 7,5-krotnie większe i zawierały się w przedziale $94,3 \div 95,6 \text{ dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}$.

- W latach 2012 – 2013 wartości jednostkowego wskaźnika obciążeń hydraulicznych utrzymywały się na stałym poziomie. Natomiast wskaźnik strat wody odnoszący się do całkowitej długości sieci wahał się w granicy $2 \div 2,8 \text{ m}^3/\text{km} \cdot \text{d}$.
- W analizowanym okresie czasu można zaobserwować początkowy niewielki wzrost strat rzeczywistych, a następnie dwukrotny spadek do wartości $66437,6 \text{ m}^3/\text{rok}$. Przyczyną tak dużej różnicy może być poprawa stanu technicznego rurociągów, a co za tym idzie zmniejszenie ubytku wody w wyniku przecieków.

Literatura

- [1] Kowalczyk A., Mielec, w: Nowicki Z. (red.), Informator Państwowej Służby Hydrogeologicznej. Wody podziemne miast Polski. Miasta powyżej 50000 mieszkańców. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 2009, s. 219-235.
- [2] Kujawska K., Praca magisterska: Analiza i ocena zaopatrzenia w wodę miasta Mielca. Rzeszów 2016.
- [3] Materiały udostępnione przez Zakład Wodociągów i Kanalizacji w Mielcu.
- [4] Piechurski F., Sposoby zmniejszania strat wody. Rynek Instalacyjny, nr 11 i 12, 2011, s. 74-76, 72-75.
- [5] Rak J., Problematyka ryzyka w wodociągach. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2014.
- [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, z. 61 (1/2015), s. 225-232 DOI: 10.7862/rb.2014.15.
- [7] Rak, J., Pietrucha-Urbanik, K. New directions for the protection and evolution of water supply systems - smart water supply. Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury - Journal of Civil Engineering, Environment And Architecture. JCEEA, z. 62 (3/I/2015), pp. 365-373. DOI: 10.7862/rb.2015.121.
- [8] Rak J., Tunia A., Analiza i ocena strat wody w wodociągu Rzeszowa. Instal 2012, 5, s. 42-45.
- [9] Studziński A., Pietrucha-Urbanik K. Preventive maintenance and reliability of water supply system elements. Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury - Journal of Civil Engineering, Environment And Architecture. JCEEA, z. 62 (3/I/2015), pp. 429-436. DOI: 10.7862/rb.2015.126.
- [10] Pietrucha-Urbanik K., Studziński A.: Analiza strat wody wodociągu krośnieńskiego. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 10/2012, s. 452-454.

ANALYSIS AND ASSESSMENT OF WATER LOSSES IN WATER SUPPLY SYSTEM IN MIELEC

Summary

In order to reduce the costs associated with water treatment and supply, modernization should be performed on the basis of water losses analysis. In the paper analysis and assessment of water losses, performed on the basis of data provided by the Department of Water and Sewer in Mielec was presented. The obtained data relate to the structure of the water supply system of the Mielec city and the quantitative water balance in the years 2012-2014. According to provided data, the water losses indicators were appointed according to International Water Association. The basic indicators of water loss were established and referenced to the proposed indicators by the International Water Association. (IWA), as: percentage (WS), Infrastructure Leakage Index (RLB), the water volume-profit (MRWB), Unavoidable Annual Real Losses (UARL), infrastructure leakage index (ILI). On the basis of the categories specified for IWA, it can be noted that in 2014 water supply network in Mielec was the networks with very good technical condition. Received values of water losses in Mielec water supply system are comparable to the values of indicators obtained in other systems of collective water supply in Poland.

Keywords: water losses, water losses indicators, water consumption, water supply system

Przesłano do redakcji: 10.03.2016 r.

Przyjęto do druku: 15.09.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.143

Paulina MICHALAK¹

NATURALNA PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ RADONU – POCHODZENIE, ZAGROŻENIA ORAZ SPOSOBY REDUKCJI JEGO STĘŻEŃ W BUDYNKACH MIESZKALNYCH

W artykule przedstawiono obecną wiedzę na temat promieniotwórczości radonu i związanych z nim zagrożeń, głównie chorób nowotworowych. Radon i produkty jego rozpadu wchłaniane przez układ oddechowy człowieka wykazują działanie niekorzystne przede wszystkim na płuca. Mają one też największy udział w narażeniu radiacyjnym mieszkańców Ziemi. Podwyższone stężenia radonu obserwuje się w budynkach mieszkalnych. Powszechnie obecny w środowisku gaz przenika do budynków z podłoża, w wyniku różnicy ciśnień i temperatur. Migracja radonu z gruntu do pomieszczeń mieszkalnych odbywa się poprzez mikroszczeliny, pęknięcia i otwory konstrukcyjne w fundamentach lub nieszczelności otworów instalacyjnych. Ciepłe powietrze znajdujące się wewnątrz nagrzanego budynku działa jak pompa ssąca, wciągając radon z gleby, niższych kondygnacji budynku oraz ze ścian zewnętrznych. W artykule opisano sposoby minimalizacji jego poziomu w obiektach budowlanych, zarówno tych już istniejących jak i nowo projektowanych. Budowa geologiczna danego terenu okazuje się mieć istotny wpływ na stężenia radonu w gruncie, co się przekłada na jego zawartość wewnątrz budynków. Dokonano także analizy aktualnej sytuacji radiacyjnej kraju pod kątem występowania podwyższonego stężenia radonu. Najbardziej narażone na podwyższone stężenia radonu m.in. domy posadowione na obszarach płytkiej eksploatacji złóż rudy i węgla oraz w rejonach intensywnej eksploatacji górniczej. Na terenie Polski występuje stosunkowo niewiele takich obszarów. Przeprowadzone tam analizy wykazują jednak możliwość przekroczenia w budynkach mieszkalnych dopuszczalnego przez prawo poziomu radonu.

Słowa kluczowe: radioaktywność, zabezpieczenia, grunt, obiekty budowlane

1. Wstęp

Radioaktywność dotyczy każdego z nas, wszystko co nas otacza, promieniuje. W 1896 r. zjawisko promieniotwórczości odkrył francuski fizyk Herni Becquerel, a w 1903 r. przyznano nagrodę Nobla naszej rodaczce Marii Skłodowskiej-Curie, która wraz ze swoim mężem Piotrem Curie prowadziła dalsze

¹ Paulina Michalak, Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Budownictwa, ul. Z. Szafrana 1, 65-516 Zielona Góra, p.michalak@ib.uz.zgora.pl

badania nad pierwiastkami promieniotwórczymi, odkrywając dwa nowe – polon i rad. Od czasu wręczenia nagrody, minęło zaledwie ponad 100 lat, w czasie których poczyniono wiele dalszych obserwacji i badań. Odkryto też użyteczne zastosowania dla promieniowania. Jednym z najbardziej oczywistych jest użycie go w celach diagnostycznych i terapeutycznych (diagnostyka rentgenowska, tomografia komputerowa, radioterapia), a także zapoczątkowane przez Hevesy'ego w 1911 r. wykorzystanie znaczników promieniotwórczych, które dzisiaj używa się do śledzenia procesów przemysłowych w wykrywaniu nieszczelności, czy badaniu zużycia materiałów. Promieniowanie jonizujące znalazło swoje zastosowanie także w przemyśle, rolnictwie, geologii, ochronie środowiska oraz w badaniach naukowych. Wymieńmy tu tylko kilka przykładów: radiacyjna sterylizacja sprzętu medycznego, higienizacja i utrwalanie, modyfikacja właściwości materiałów. Na zasadzie detekcji promieniowania jonizującego działają mierniki poziomu cieczy, gęstościomierze, grubościomierze.

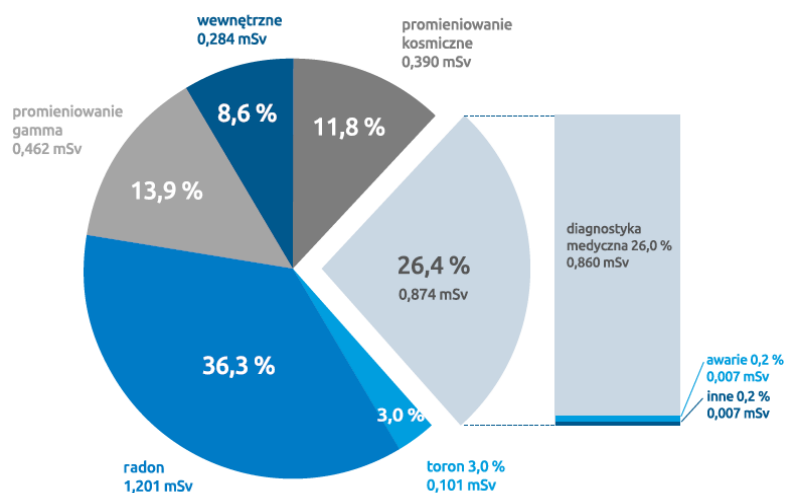
Wszelkie obawy społeczeństwa i lęki przed promieniowaniem jonizującym najczęściej (i słusznie) związane są z masową produkcją i próbami broni jądrowej przez mocarstwa atomowe, co stanowi olbrzymie zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi, a także może prowadzić do skażenia środowiska. Natomiast przetwarzanie energii jądrowej w reaktorach jądrowych nowej generacji na potrzeby produkcji energii elektrycznej (która aktualnie pokrywa już 17% całego światowego zapotrzebowania) nie powinno budzić obaw ze strony społeczeństwa, gdyż jest to jedna z najbardziej zaawansowanych i bezpiecznych technologii w przemyśle [1].

Opisane wyżej źródła promieniowania stworzone przez człowieka wnoszą dużo mniejszy wkład do rocznej dawki skutecznej promieniowania jonizującego otrzymywanej przez statystycznego mieszkańca Polski niż promieniowanie pochodzące ze źródeł naturalnych, na które składka się promieniowanie kosmiczne oraz promieniowanie radionuklidów naturalnych [2]. Szczegółowy udział różnych źródeł promieniowania przedstawiono na rys. 1.

Powszechnie obecny w środowisku radon pochodzenia naturalnego – jego izotopy (Rn-222) i toron (Rn-220) a także produkty ich rozpadu mają największe znaczenie w narażeniu radiacyjnym mieszkańców Ziemi. Dawka jaką otrzymał statystyczny mieszkaniec Polski w 2014 r. (tylko od radonu i toronu) wyniosła 1,30 mSv, z czego aż 95% to dawka wynikająca z obecności wewnątrz obiektów budowlanych [2].

2. Źródła radonu w budynkach

Stężenia radonu w powietrzu atmosferycznym na otwartym terenie są niskie. W 2011 r. wynosiły od 3,3 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ w Łodzi do 15,8 $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ w Krakowie [3]. W domach stężenia te mogą być znacznie wyższe i osiągać wartości nawet do kilku tysięcy Bq/m^3 (rejon Jeleniej Góry i Krakowa) [4]. Jest to spowodowane m.in. tzw. „efektem kominowym”, który polega na przedostawaniu się radonu do budynku w wyniku różnicy ciśnień i temperatur.



Rys. 1. Udział różnych źródeł promieniowania jonizującego w średniej rocznej dawce skutecznej, na podstawie [2]

Fig. 1. Share of various sources of ionizing radiation in the average annual effective dose, based on [2]

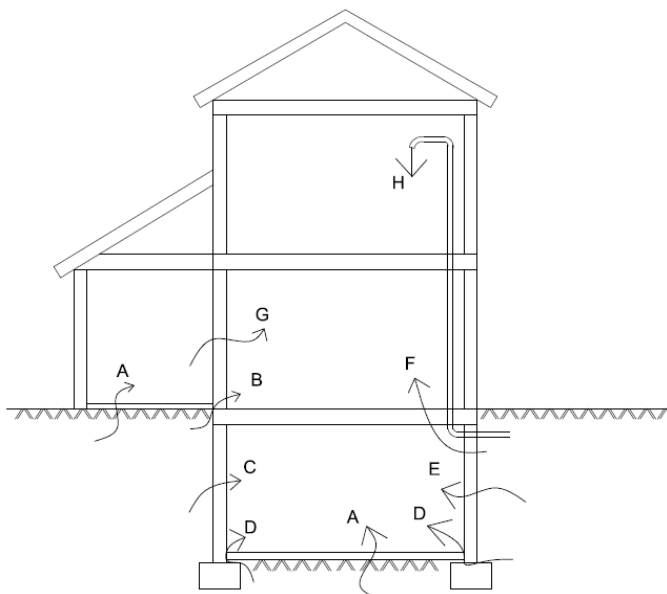
Radon i pochodne jego rozpadu odpowiadają za promieniowanie alfa wewnątrz budynków. Jest to promieniowanie o małej przenikliwości ale dużej zdolności jonizującej. Jego głównymi źródłami są przede wszystkim podłoże gruntowe oraz materiały budowlane z jakich jest zbudowany obiekt. W mniejszym stopniu źródłem radonu może być powietrze atmosferyczne, woda wodociągowa oraz gaz naturalny (ziemny), co zilustrowano w tabeli 1.

Migracja radonu z gruntu do pomieszczeń mieszkalnych odbywa się poprzez mikroszczeliny, pęknięcia i otwory konstrukcyjne w fundamentach lub nieszczelności otworów instalacyjnych. Ciepłe powietrze znajdujące się wewnątrz

Tabela. 1. Źródła radonu w modelowym budynku murowanym, na podstawie [5]

Table. 1. Sources of indoor radon in the model brick building, based on [5]

Źródło radonu	Mechanizm wnikania	Prędkość wnikania [Bq/m ³ /h]	Udział [%]
Podłoże gruntowe	dyfuzja, konwekcja	27,5	56
Materiały budowlane	emanacja, ekshalacja	10,0	21
Powietrze atmosferyczne (zewnątrzne)	transport	10,0	20
Woda wodociągowa	deemanacja	1,0	2
Gaz naturalny ziemny	spalanie	0,3	1



Rys. 2. Sposoby wnikania radonu do budynku mieszkalnego: A – szczeliny w fundamentach, B – połączenia konstrukcyjne, C i E – pory i pęknięcia w fundamentach, D – połączenia podłóg i ścian, F – nieszczelności w przewodach, G – materiały budowlane, H – woda używana w domu, na podstawie [6]

Fig. 2. Ways of entry radon into building: A – cracks in the foundations, B – connections of structural, C and E – pores and cracks in the foundations, D – floor and wall connections, F – leaks in the pipes, G – building materials, H – water used in the home, based on [6]

nagrzanego budynku działa jak pompa ssąca, wyciągając radon z gleby, niższych kondygnacji budynku oraz ze ścian zewnętrznych. Drogi wnikania radonu do budynku mieszkalnego przedstawiono na rys. 2.

Radon jest gazem szlachetnym, powstaje bezpośrednio w wyniku rozpadu promieniotwórczego pierwiastka radu (Ra-226), zawartego w skorupie ziemskiej. Rad z kolei powstaje jako produkt przemian promieniotwórczych uranu lub toru, które są składnikami skał magmowych, metamorficznych oraz pochodzenia osadowego. Stężenia radonu w wybranych formacjach geologicznych przedstawiono w tabeli nr 2.

Budowa geologiczna terenu może mieć istotny wpływ na zawartość radonu wewnątrz budynku. Potwierdzają to dane raportu rocznego Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki według których, najwyższe stężenia izotopu Ra-226 w glebie w 2014 r. zaobserwowano w województwie dolnośląskim – 128,3 Bq/kg, a jego średnia roczna wyniosła 41 Bq/kg. Drugie co do wielkości było województwo małopolskie – 57,6 Bq/kg, średnia roczna – 33,7 Bq/kg. Są to tereny bogate w złoża rud uranu oraz węgla kamiennego i brunatnego. Ich eksploatacja, a także szkody górnicze nią spowodowane, wpływają na dezintegrację warstw górotworów.

Tabela. 2. Stężenia radonu w wybranych formacjach geologicznych, na podstawie [7]

Table. 2. Concentrations of radon in selected geological formations, based on [7]

Materiał	Stężenie Ra-226 [Bq/kg]		Stężenie Ra-228 [Bq/kg]	
	średnia	zakres	średnia	zakres
Skały magmowe				
Sjenity	692	4-8930	5	2-3560
Granity	78	1-372	111	0,4-1025
Dioryty	40	1-285	49	2-429
Bazalty	11	0,4-41	10	0,2-36
Gabro	10	0,1-71	9	0,1-61
Skały posadowienia osadowego				
Wapień	25	0,4-223	7	0-45
Węgle	26	-	-	-
Piaskowce	19	-	-	-
Iły, iłolupki	50	14-198	35	8-223
Skały metamorficzne				
Gnejsy	50	1-1835	60	0,4-421
Łupki	37	1-657	49	0,4-368

Badania naukowe przeprowadzone na terenach Górnośląskiego Zagłębia Górniczego [8] dowodzą wysokiej korelacji pomiędzy stężeniami radonu w gruncie, a warunkami geologiczno-górnicznymi tego terenu. Wykazano, że podwyższone stężenia radonu obserwuje się m.in. w domach posadowionych na obszarach płytkiej eksploatacji złóż rudy i węgla oraz w rejonach intensywnej eksploatacji górniczej, gdzie migracja radonu do budynku jest ułatwiona poprzez naruszenie struktury gruntów, a także ewentualne uszkodzenia budynków. Przeprowadzone w 492 budynkach badania wykazały średnie stężenie radonu na parterze budynków mieszkalnych na poziomie 46 Bq/m³, a w piwnicach 77 Bq/m³. Najwyższe odnotowane stężenia dochodziły do 490 Bq/m³ na parterze i do 860 Bq/m³ w piwnicach.

Zgodnie z obowiązującą Dyrektywą Rady UE z dnia 5 grudnia 2013 r. [9], ujednolicającą prawodawstwo w państwach członkowskich w oparciu o najnowsze badania naukowe, ustanowiony został poziom odniesienia średniego rocznego stężenia radonu nie wyższy niż 300 Bq/m³ z możliwością zmiany tej wartości uzasadnioną warunkami krajowymi. Oznacza to, że dopuszczalna w Dyrektywie Rady UE wartość w niektórych przypadkach może być znacznie przekroczona.

3. Zagrożenia

Radon i produkty jego rozpadu wchłaniane są przez układ oddechowy człowieka wykazują działanie niekorzystne przede wszystkim na płuca [10]

Zatrzymane tam radioaktywne cząsteczki ulegają dalszym rozpadom emitując promieniowanie alfa oraz znikome promieniowanie gamma. Prowadzi to do uszkodzeń komórek płuc poprzez uszkodzenia DNA i mutacje, które mogą być bezpośrednią przyczyną zachorowania na raka płuc.

W latach 20. XX w. po raz pierwszy wyrażono przypuszczenie, że rozpoznany w XIX w. u niemieckich górników nowotwór płuc ma związek z narażeniem ich na wdychanie radonu. Dziś istnieją wystarczające dowody wskazujące na kancerogenne działanie radonu w stężeniach na które narażeni są górnicy w kopalniach [11]. W ostatnim czasie, obserwuje się wzrost zainteresowania występowaniem radonu w budynkach mieszkalnych i związanymi z tym zagrożeniami. Przeprowadzone badania wciąż jednoznacznie nie określiły korelacji pomiędzy występującym w pomieszczeniach budynków mieszkalnych promieniotwórczym gazem, a wzrostem liczby zachorowań na raka płuc [1]. W związku z powyższym, obecność radonu w obiektach budowlanych, szczególnie ich dolnych kondygnacjach jest od kilkunastu lat przedmiotem zainteresowań naukowców. Problemem spornym jest średni poziom jego występowania w budownictwie mieszkalnym i wpływ takiej ilości na zwiększenie ryzyka chorób nowotworowych.

Czynnikiem mającym dodatkowo niekorzystny wpływ na ryzyko zachorowania jest palenie tytoniu. W tabeli 3 przedstawiono porównanie ryzyka wystąpienia raka płuc wynikającego z ekspozycji na promieniowanie jonizujące z ryzykiem wynikającym z palenia tytoniu. Jak wynika z tych danych, prawdopodobieństwo zachorowania jest znacznie wyższe w przypadku palenia tytoniu niż z ekspozycji na promieniowanie. Jednakże uważa się, że oba czynniki są ze sobą synergiczne. Oznacza to, że u człowieka palącego papierosy, narażonego jednocześnie na wysokie stężenia radonu, ryzyko indukcji raka płuc znacząco wzrasta.

Tabela. 3. Porównanie wystąpienia raka płuc wynikającego z ekspozycji na promienie jonizujące z ryzykiem wynikającym z palenia tytoniu, na podstawie [12]

Table. 3. Comparison of lung cancer resulting from exposure to ionizing radiation risk arising from smoking, based on [12]

Względne ryzyko raka płuc	Liczba papiero- sów palona dziennie	Radon	
		kopalnie [WLM] ²	mieszkania [Bq/m ³]
1,0	0	0	<40
4,6	1-9	735	4 500
7,5	10-19	1325	8 100
13,1	20-39	2470**	15 000**
16,6	≥40	3180**	19 600**

² WL (ang. Working Level) – jeden WL odpowiada dowolnej kombinacji krótkożyciowych pochodnych radonu w jednym litrze powietrza, które w trakcie rozpadu wyzwalają $1,3 \times 10^5$ MeV w postaci energii cząstek alfa. Jednostka służąca do oceny ekspozycji na pochodne radonu. WLM (ang. Working Level Month) – ekspozycja na stężenie 1 WL przez 170 godzin (1 miesiąc) pracy. 1 WLM odpowiada $2,08 \times 10^{-5} \text{ J/m}^3$ [Praca zbiorowa 2001]

4. Sposoby redukcji stężeń radonu w budynkach

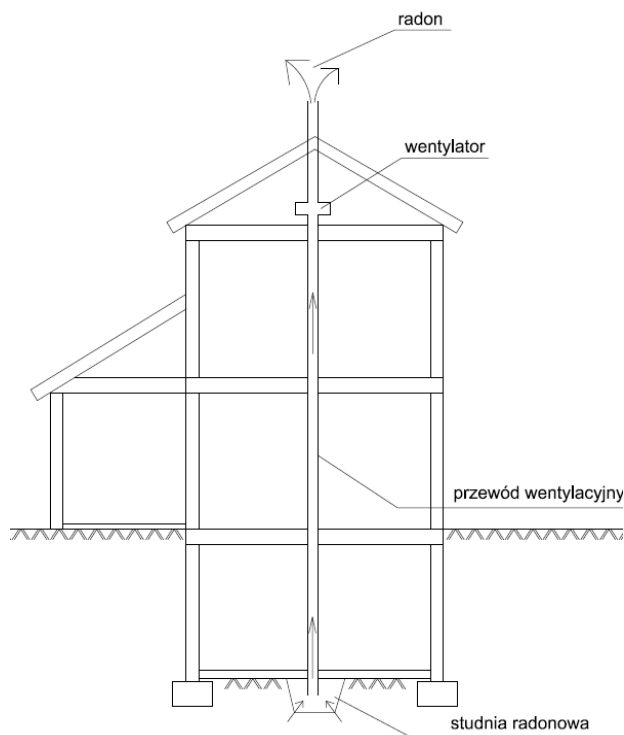
W krajach takich jak Anglia, Szwecja, Norwegia czy USA znaczna część zamieszkującego tam społeczeństwa może być narażona na bardzo wysokie stężenia radonu w swoich mieszkaniach (przekraczające nawet średnią roczną dawkę efektywną ustaloną przez międzynarodowe organizacje dla górników). Problem jest na tyle poważny, że na terenach wysokiego narażenia na promieniowanie często stosuje się techniki zabezpieczania przed radonem, tzw. budownictwo „radon safe”. W Polsce szacuje się, że około 10% powierzchni kraju to tereny wysokiego ryzyka radonowego, są to obszary południowo-zachodnie, południowe i południowo-wschodnie. W ich przypadku powinno się rozważyć zabezpieczanie nowo stawianych budynków przed radonem jeszcze na etapie budowy, bądź wdrożyć techniki redukcji stężeń radonu w obiektach już istniejących.

Zabezpieczenia proponowane na etapie projektowania budynku [6]:

- szczelna płyta fundamentowa o odpowiedniej grubości zaizolowana za pomocą: geomembran z tworzyw sztucznych, materiałów bitumicznych, wypraw hydrofobizujących oraz zapraw bezskurczowych,
- częściowa wymiana gruntu pod fundamentem oraz wymuszona wentylacja przestrzeni pod płytą fundamentową za pomocą rury montowanej przed wylaniem fundamentu,
- uszczelnienie konstrukcji na połączeniu płyty ze ścianą fundamentową (monolit),
- uszczelnienie przepustów w fundamencie doprowadzających media do budynku
- wybieranie materiałów budowlanych mających odpowiednie dokumenty dopuszczające je do stosowania w budownictwie: atest higieniczny, aprobaty.

Zmiany proponowane w budynkach istniejących [6]:

- usunięcie źródła radonu po przez wymianę gruntu wokół budynku,
 - uszczelnienie fundamentu przy podłogach, połączeniach ze ścianami fundamentowymi oraz przy przepustach doprowadzających media,
 - zastosowanie odpowiednich systemów wentylacji,
 - podwyższenie ciśnienia wewnątrz budynku do wartości wyższej niż na zewnątrz np. zastosowanie wentylacji mechanicznej,
 - zastosowanie pułapki radonowej będącej wgłębieniem w gruncie pod budynkiem z wentylatorem wyciągającym powietrze poza obrys budynku (rys.3)
- Jest to najskuteczniejsza metoda usuwania radonu w przypadku stwierdzonych przekroczeń jego stężenia.



Rys. 3. Schemat działania studni radonowej

Fig. 3. Scheme of working radon well

5. Podsumowanie

Radon i produkty jego rozpadu występujące w wysokich stężeniach w budynkach mieszkalnych mogą być zagrożeniem dla zdrowia ich mieszkańców. Wiedza na temat progu szkodliwości radonu na zdrowie nie jest jeszcze jasno sprecyzowana i udokumentowana. Wynika to z mnogości czynników mających wpływ na prawdopodobieństwo wystąpienia chorób nowotworowych. Na terenie Polski występuje stosunkowo niewiele obszarów o podwyższonym ryzyku radonowym. Przeprowadzone tam analizy wykazują jednak możliwość przekroczenia w budynkach mieszkalnych poziomu radonu dopuszczalnego przez Dyrektywę Rady UE [9]. W związku z powyższym należy prowadzić dalsze badania nad promieniowaniem jonizującym w budownictwie mieszkalnym. Należy również zabezpieczać nowopowstające budynki pod kątem przenikania promieniotwórczego gazu z gruntów oraz modernizować pod tym kątem budynki już istniejące.

Literatura

- [1] Praca zbiorowa: Człowiek i promieniowanie jonizujące, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
- [2] Państwowa Agencja Atomistyki: Raport roczny. Działalność Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki oraz ocena stanu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce w 2014 roku, Warszawa 2015.
- [3] Główny Inspektorat Ochrony Środowiska: Atlas radiologiczny Polski 2011, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 2012.
- [4] Janik M.: Przenikanie radonu z gruntu do budynku. Modelowanie komputerowe i weryfikacja w budynkach mieszkalnych, praca doktorska, Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk, Kraków 2005.
- [5] Raport Komitetu Naukowego ONZ-UNSCEAR: The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations, 1993.
- [6] Korzeniowska-Rejmer E.: Radon w gruncie i techniki redukcji jego stężenia w obiektach budowlanych, Czasopismo Techniczne Ś, Środowisko, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, nr 1/2008.
- [7] Państwowa Agencja Atomistyki: Dane zebrane na podstawie pomiarów Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej wykonywanych na zlecenie Głównego Inspektora Ochrony Środowiska (GIOŚ), 2006.
- [8] Wysocka M.: Zależność stężeń radonu od warunków geologiczno-górnictwowych na terenie górnośląskiego zagłębia węglowego, Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko, nr 3/2002.
- [9] Dyrektywa Rady Unii Europejskiej z dnia 5 grudnia 2013 r. ustanawiająca podstawowe normy bezpieczeństwa w celu ochrony przed zagrożeniami wynikającymi z narażenia na działanie promieniowania jonizującego oraz uchylająca dyrektywy 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom/2003/122/Euratom.
- [10] Nazaroff W.: Nero A.: Radon and its Decay products in indoor air, John Wiley and Sons 1988.
- [11] International Agency for Research on Cancer (IARC): Summaries and Evaluations - Radon, tom 43, 1988.
- [12] UNSCEAR Report 2000, vol. II, Effects, United Nations, New York 2000.

NATURAL RADIOACTIVITY OF RADON, ORIGIN, RISKS AND TECHNIQUES OF REDUCING ITS CONCENTRATIONS IN RESIDENTIAL BUILDINGS

Summary

The article presents the current knowledge about radioactive radon and related risks, especially cancer. Radon and its decay products absorbed by the human respiratory system exhibit non-preferred effects, primarily on the lungs. They also have the largest share of exposure to radiation on Earth's inhabitants. Elevated radon concentration is observed in residential buildings. The gas widely present in the environment passes into buildings from the soil due to the difference of pressures and temperatures. Migration of radon from the soil to the living areas is done by mi-

crocracks, cracks and holes in the foundation or structural holes in installation. The warm air inside the heated building acts as a suction pump, pulling radon from the soil, the lower floors of the building and the walls. This article describes how to minimize its level in buildings, both existing and newly designed. The geological structure of the area appears to have a significant effect on the concentration of radon in ground, which results in the higher content inside buildings. The analysis of the current radiation situation of the country for the presence of elevated levels of radon was also made. Most exposed to elevated levels of radon are among the others houses sited in areas of shallow mining ore and coal, and in areas of intensive mining. On the Polish territory there is relatively few such areas. Analysis conducted there shows, however, that the level of radon could be exceeded in residential areas.

Keywords: radioactivity, protections, soil, building objects

Przesłano do redakcji: 30.08.2016 r.

Przyjęto do druku: 15.09.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.144

Maria MRÓWCZYŃSKA¹

DEFORMACJE KONSTRUKCJI KOMINA STALOWEGO W ASPEKCIE ZASTOSOWANIA GRUPOWEJ OBRÓBK DANYCH

Zasadniczym elementem technologii geodezyjnych jest dziedzina przetwarzania informacji, której dynamiczny rozwój wzbogaca klasyczne algorytmy obliczeń numerycznych, stanowiących podstawę finalnego wyznaczenia produktu prac inżynierskich. W kontekście modelowania procesów przemieszczeń i odkształceń pojawia się ciekawy temat przetwarzania informacji bazującego na sztucznej inteligencji, w szczególności na sztucznych sieciach neuronowych, które mają zdolność modelowania bardzo złożonych procesów. Sztuczne sieci neuronowe powstały na podstawie badań prowadzonych w dziedzinie sztucznej inteligencji. Szczególne znaczenie miały prace dotyczące działania systemu nerwowego istot żywych oraz budowy modeli struktur występujących w mózgu. Sztuczne sieci neuronowe ze względu na ich nieliniowy charakter reprezentują wyrafinowaną technikę modelowania i są zaliczane do metod inteligencji obliczeniowej. Funkcje pełnione przez sieć pozwalają uzyskać korzystne rezultaty praktyczne w obszarze takich zagadnień jak: aproksymacja, interpolacja, rozpoznawanie i klasyfikacja wzorców, kompresja, predykcja i wiele innych. Zastosowanie sieci neuronowych wprowadza jednak do rozwiązania trudny do określenia błąd metody, dlatego zauważono konieczność poszukiwania rozwiązań alternatywnych opartych na przetwarzaniu danych empirycznych. Przykładem takiego rozwiązania jest metoda grupowej obróbki danych (ang. *Group Method of Data Handling* –GMDH) należąca do klasy algorytmów ewolucyjnych.

W artykule przedstawiono podstawowe założenia metody grupowej obróbki danych z zasadami budowy i uczenia statycznych sieci neuronowych o wielu wyjściach i jednym wejściu. Sieć GMDH została wykorzystana do modelowania deformacji osi geometrycznej komina stalowego, służącego do odpowietrzania podziemnych zbiorników z gazem, w procesie eksploatacji. Komin jest objęty pomiarami kontrolnymi prowadzonymi podczas jego eksploatacji z częstotliwością co 1 rok.

Słowa kluczowe: sztuczna inteligencja, grupowa obróbka danych, wychylenia od pionu

¹ Maria Mrówczyńska, Uniwersytet Zielonogórski, ul. Z. Szafrana 1, 65-516 Zielona Góra, 683282636, m.mrowczynska@ib.uz.zgora.pl

1. Wstęp

Sztuczne sieci neuronowe znajdują zastosowanie do rozwiązywania wielu problemów z zakresu różnych dziedzin nauki przede wszystkim, ze względu na prostą implementację oraz zdolność aproksymacji bez konieczności formułowania zależności pomiędzy danymi wejściowymi a danymi wyjściowymi [1, 2]. Sieci obarczone są jednak błędem metody, który jest trudny do określenia i wyeliminowania, a wynikającym z arbitralnego przyjęcia struktury sieci. Wykorzystując sieci neuronowe do modelowania skomplikowanych zagadnień błąd ten ma znaczący wpływ na ostateczny rezultat uczenia. Dlatego też zaproponowano rozszerzenie procesu uczenia również na połączenia pomiędzy neuronami. Przykładem takiego rozwiązania może być metoda grupowej obróbki danych (ang. *Group Method of Data Handling* – GMDH), której koncepcja została opracowana przez Iwachnienko [3; 4]. Sieć GMDH należy do grupy sieci samoorganizujących się, a jej struktura, tworzona samoczynnie na podstawie zbiorów danych uczących i testujących, jest strukturą hierarchiczną składającą się z wielomianowych modeli cząstkowych [5]. Taki tok postępowania prowadzi do uzyskania ostatecznej struktury wynikowej sieci pozwalającej na uzyskanie sygnału wyjściowego, który jest najlepszy biorąc pod uwagę przyjęte kryterium identyfikacji. Sieć GMDH zapewnia wysoką dokładność uzyskiwanych wyników oraz praktyczną użyteczność algorytmu [4].

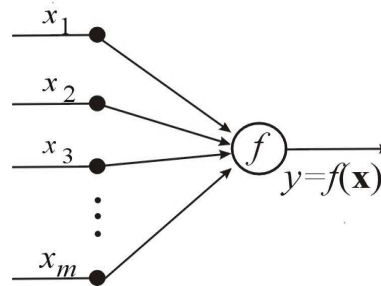
W prezentowanej pracy metoda grupowej obróbki danych została wykorzystana do modelowania deformacji osi geometrycznej komina stalowego służącego do odpowietrzania podziemnych zbiorników z gazem, na podstawie cyklicznie wykonywanych pomiarów począwszy od 2007 roku.

2. Sieć neuronowa GMDH

Zminimalizowanie błędu metody wynikającego z arbitralnie przyjętej architektury sieci na etapie projektowania, można uzyskać poprzez połączenie procesu uczenia z wyznaczeniem optymalnej struktury sieci neuronowej. Metoda grupowej obróbki danych GMDH polega na zastąpieniu całościowego modelu sieci neuronowej strukturą hierarchiczną, która zbudowana jest z wielomianowych modeli cząstkowych. Sama sieć jest konstruowana poprzez łączenie określonej liczby m pojedynczych neuronów (rys. 1) przetwarzających sygnał wejściowy \mathbf{x} w sygnał wyjściowy y zgodnie z zależnością opisaną funkcją przejścia f :

$$y = f(\mathbf{x}) = f(x_1, x_2, \dots, x_m) \quad (1)$$

przy założeniu, że przynajmniej dwa sygnały wejściowe ze wszystkich możliwych x_1, x_2, \dots, x_m stanowią pobudzenie.



Rys. 1. Budowa neuronu typu GMDH (opracowanie własne)

Fig. 1. The structure of a GMDH type neuron (prepared by the author)

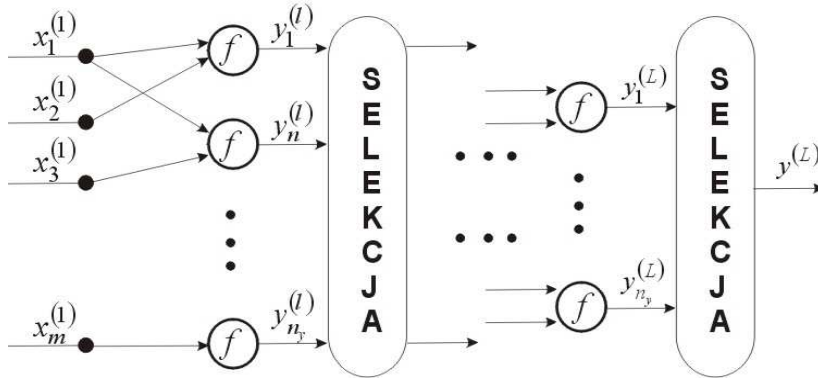
Funkcja przejścia (1) nie powinna być zbyt rozbudowana, ponieważ wydłużyłoby to czas uczenia, komplikowało sam proces uczenia oraz nie pozwalało na precyzyjne określenie błędu uczenia. Algorytm dopuszcza różne formy funkcji przejścia f , ale najczęściej funkcja przejścia jest przybliżeniem N -tego stopnia wielomianu Kołmogorowa-Gabóra definiowanego jako [6]

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i x_i + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{ij} x_i x_j + \dots \quad (2)$$

gdzie a_0, a_i, a_{ij} są parametrami wielomianu. Przy założeniu, że stopień wielomianu $N=2$, postać funkcji przejścia zapiszemy jako:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_{11} x_1^2 + a_{22} x_2^2 + a_{12} x_1 x_2. \quad (3)$$

Synteza sieci GMDH polega na iteracyjnym estymowaniu parametrów poszczególnych modeli cząstkowych oraz łączeniu ich za pomocą odpowiednio dobranych metod selekcji (rys. 2). W pierwszej iteracji budowana jest warstwa wejściowa neuronów, które są opisane za pomocą funkcji aktywacji (1) z uwzględnieniem wszystkich kombinacji sygnałów wejściowych x_i .



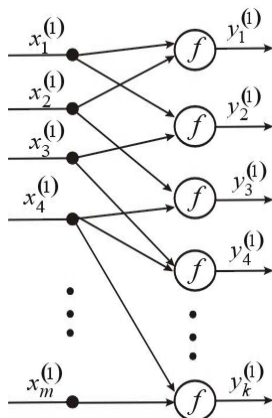
Rys. 2. Synteza sieci neuronowej typu GMDH (opr. własne wg Korbicz, 2009)

Fig. 2. The synthesis of a GMDH type network (prepared by the author, based on Korbicz, 2009)

Neurony w warstwie wejściowej (rys. 3) są opisane przez funkcje aktywacji zawierające nieznanne parametry wielomianu Iwachnienki, optymalizowane dla każdego neuronu za pomocą metody najmniejszych kwadratów lub innej reguły uczenia [4].

Kolejnym krokiem jest włączenie nowoutworzonej warstwy do sieci. Jest to poprzedzone procesem selekcji neuronów, który ma za zadanie wyeliminować te elementy, dla których na podstawie przyjętego kryterium stwierdzono zbyt duży błąd przetwarzania $E(y)$. Możemy wyróżnić następujące metody przeprowadzenia selekcji [4]:

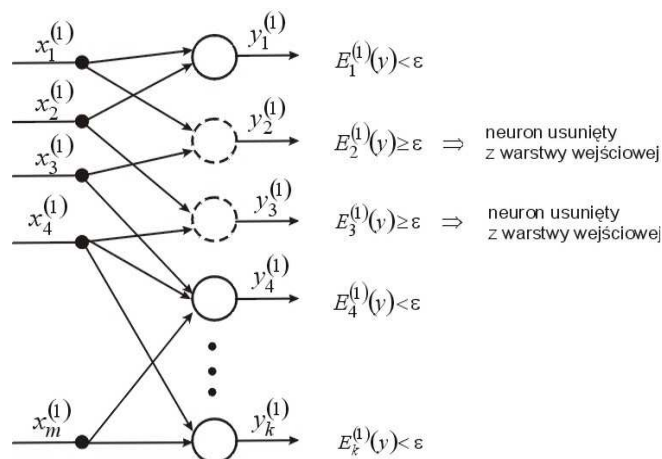
- metoda stałych populacji,
- metoda optymalnych populacji,
- metoda malejących populacji.



Rys. 3. Warstwa wejściowa sieci GMDH (opr. własne wg Duch i inni, 2000)

Fig. 3. The input layer of a GMDH (prepared by the author, based on Duch et al., 2000)

W prezentowanej pracy wykorzystano wszystkie wymienione wyżej procedury selekcji, przy czym najkorzystniejsze wyniki uzyskano z zastosowaniem metody optymalnych populacji, która polega na odrzuceniu tych neuronów, dla których błąd przetwarzania $E(y)$ osiągnął wartości większe od arbitralnie ustalonego progu ε . Ilustracja procesu selekcji neuronów dla metody optymalnych populacji została przedstawiona na rysunku 4.



Rys. 4. Selekcja neuronów w warstwie wejściowej (opr. własne wg. Duch i inni, 2000)

Fig. 4. The selection of neurons in the input layer (prepared by the author, based on Duch et al., 2000)

W drugiej iteracji jako dane wejściowe wykorzystywane są sygnały wyjściowe z warstwy poprzedniej. W taki sam sposób tworzona jest architektura sieci w dalszych warstwach aż zostanie spełnione kryterium optymalności Q_{opt} [7]. Z pośród wielu definicji funkcji kryterium optymalności, w pracy zastosowano kryterium zbieżności definiowane jako [4].

$$Q_{opt} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{y}_i - y_i \right)^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2} \quad (4)$$

gdzie: n – liczebność zbioru danych, y – znana wartość sygnału wyjściowego, \bar{y} – estymowana wartość sygnału wyjściowego. Kryterium optymalności Q_{opt} pozwala na wyznaczenie błędu przetwarzania pojedynczego neuronu, co stanowi podstawę

do podjęcia decyzji o jego włączeniu do kolejnej warstwy lub odrzuceniu. Cały proces syntezy sieci GMDH jest kontrolowany poprzez odwołanie się do danych zewnętrznych nie biorących udziału w procesie uczenia, czyli do danych zawartych w zbiorze testowym. Jeżeli liczba danych jest dostatecznie duża można wydzielić również zbiór kontrolny mający za zadanie uzyskanie lepszego rozwiązania końcowego.

3. Analiza uzyskanych wyników – przykład liczbowy

Wysmukłe budowle wieżowe charakteryzują się dużą dysproporcją wymiarów, ich wysokość jest dużo większa od wymiarów przekrojów w poprzecznych. Stalowe kominy przemysłowe są lekkie, tanie i łatwe w budowie, lecz ze względu na swoją wiotkość muszą być zabezpieczane przez zastosowanie odciągów lub kratowych ustrojów przestrzennych [8]. Położenie geometryczne osi komina stalowego (emitor przemysłowy) o wysokości 80m wyznaczono metodą otaczających stycznych. Kierunki styczne do ustalonych 7 przekrojów komina zaobserwowano z punktu osnowy pomiarowej za pomocą tachimetru o dokładności nominalnej pomiaru kierunku $m_k = 20^{cc}$. Pomiar wykonano w dwóch położeniach lunety w nawiązaniu do kierunków boków osnowy.

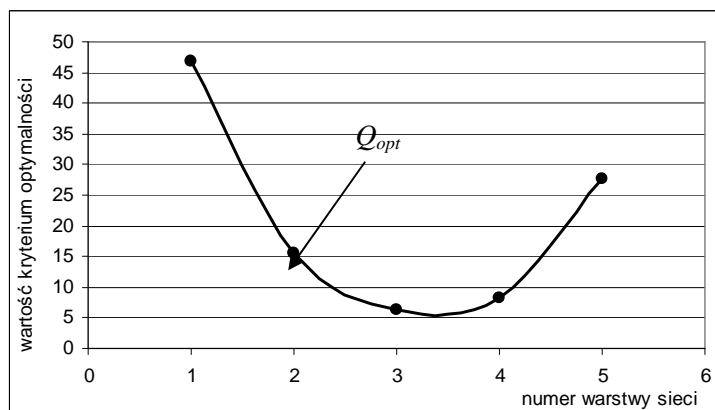
Realizacja numeryczna zadania polegała na wyznaczeniu wartości niewiadomych:

– współrzędnych środków przekrojów (x_s, y_s) ,

– długości promienia r w obserwowanych przekrojach,

z uwzględnieniem charakterystyki dokładności tych parametrów. Wartości niewiadomych wyznaczono metodą najmniejszych kwadratów na podstawie zestawu równań aproksymacyjnych dla każdego obserwowanego przekroju [9], przy założeniu, że błędy obserwacji podlegają rozkładowi normalnemu. Przy takim założeniu i zastosowanej metodzie wyznaczania parametrów, rozkład składowych odchylenia dx, dy podlega rozkładowi normalnemu względem ich wartości oczekiwanych. Odchylenie osi geometrycznej komina p jest określone z błędem wynikającym z obarczonych błędami składowych odchylenia m_x i m_y .

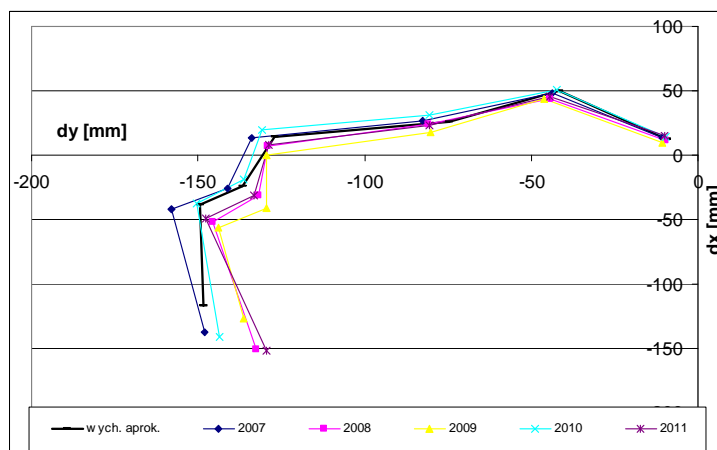
Analizie podano wyniki pomiarów odchylenia od pionu osi geometrycznej komina przeprowadzone w latach 2007-2011. Stosując algorytm GMDH zbudowano optymalną architekturę sieci co pozwoliło na uzyskanie wyników w postaci składowych odchylenia dx, dy . Tak jak zostało wspomniane wcześniej, proces budowy struktury sieci prowadzony jest do momentu aż błąd przetwarzania $E(y)$ zaczyna się zwiększać (rys. 5), wówczas uznajemy, że uzyskana architektura sieci jest optymalna. Na rysunku 6 przedstawiono wyniki działania algorytmu grupowej obróbki danych z wykorzystaniem jako metody selekcji metody optymalnych populacji, charakteryzującej się najmniejszym błędem przetwarzania $E(y)=6,9$ mm. Na rysunkach 7a oraz 7b przedstawiono wyniki działania algorytm-



Rys. 5. Uzyskane wychylenia na podstawie algorytmu GMDH (met. optymalnych populacji)

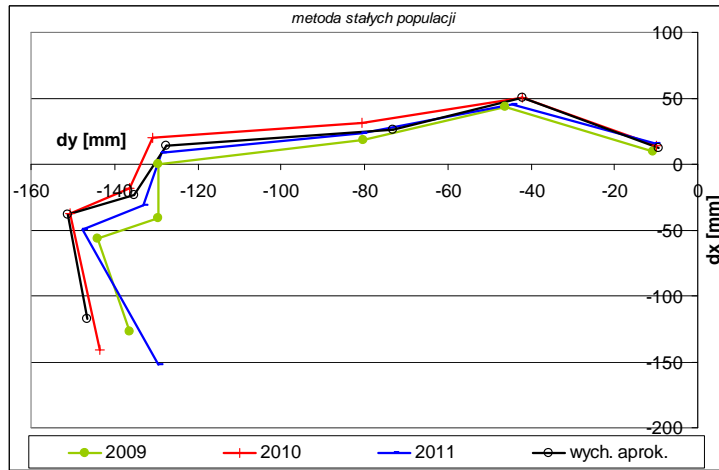
Fig. 5. The deviations obtained from the GMDH algorithm (the method of optimum populations)

mu z wykorzystaniem w procesie selekcji metody stałych populacji (błąd przetwarzania $E(y)=9,8$ mm) oraz metody malejących populacji (błąd przetwarzania $E(y)=10,2$ mm). Na rysunkach 7 i 8 dla ich czytelności zostały przedstawione wychylenia z lat 2009-2011.



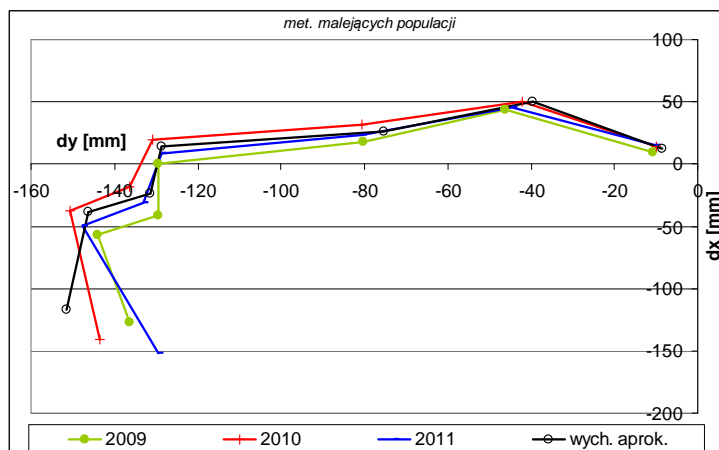
Rys. 6. Uzyskane wychylenia na podstawie algorytmu GMDH (met. optymalnych populacji)

Fig. 6. The results of the operation of the GMDH algorithm (the method of optimum populations)



Rys. 7. Metoda stałych populacji

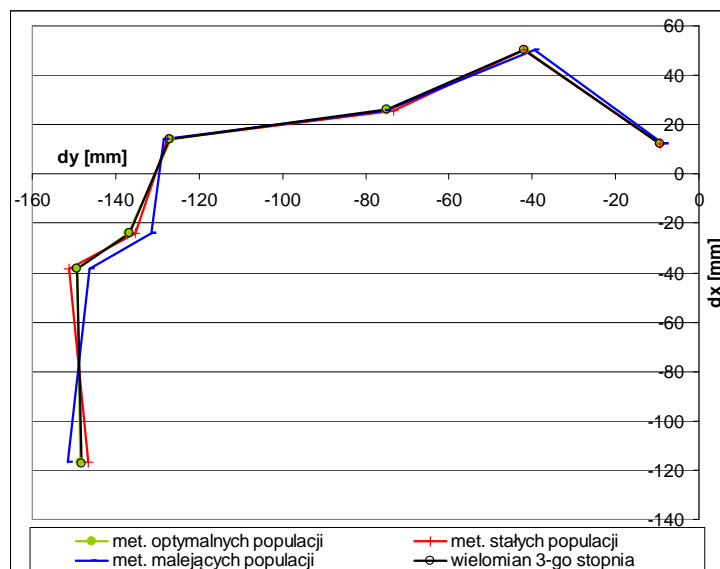
Fig. 7. The method of permanent populations



Rys. 8. Metoda malejących populacji

Fig. 8. The method of decreasing populations

Wyniki aproksymacji z zastosowanie metody grupowej obróbki danych zostały porównane z wynikami uzyskanymi na podstawie aproksymacji wielomianem trzeciego stopnia. Najbliższe wynikom uzyskanym z wykorzystaniem wielomianu trzeciego stopnia są wyniki uzyskane z zastosowaniem jako metody selekcji metody optymalnych populacji (rys. 9).



Rys. 9. Wyniki działania algorytmu z zastosowaniem wybranych metod przeprowadzania selekcji

Fig. 9. The results of the operation of the algorithm with the use of particular selection methods

4. Wnioski

Przedstawiony w artykule algorytm grupowej obróbki danych pozwala na rozwiązywanie problemów, które stanowią ograniczenia dla klasycznych sieci neuronowych. W prezentowanym rozwiązaniu nie ma arbitralnie zakładanej architektury sieci, a sieć GMDH budowana jest w trakcie procesu uczenia co pozwala na poprawę efektywności jej działania. Jednocześnie zastosowanie metod optymalizacji do wyznaczenia parametrów funkcji przejścia prowadzi do parametryczno-strukturalnej optymalizacji sieci neuronowej.

Zaprezentowane rozwiązanie jest efektywne nawet przy niewielkich i ograniczonych zbiorach danych jakimi są wyniki pomiarów geodezyjnych. Zastosowanie algorytmu GMDH do wyznaczenia składowych odchyłeń od pionu komina przemysłowego, pozwoliło na uzyskanie zadawalających rezultatów zbliżonych do wyników uzyskanych z wykorzystaniem klasycznych metod obliczeniowych.

Literatura

- [1] Bishop Ch.M.: Pattern Recognition and Machine Learning. Springer, New York 2006.
- [2] Osowski S.: Sieci neuronowe do przetwarzania informacji. Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.

- [3] Iwachnienko A.G.: Induktivnyj metod samoorganizacji modelej słożonych system. Naukowa Dumka. Kijów 1982.
- [4] Duch W., Korbicz J., Rutkowski L., Tadeusiewicz R.: Sieci neuronowe. Biocybernetyka i inżynieria biomedyczna, tom 6. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT. Warszawa 2000.
- [5] Korbicz J.: Sztuczne sieci neuronowe i ich zastosowanie w elektrotechnice i energetyce. Przegląd Elektroniczny R. 85, Nr 9. Warszawa 2009.
- [6] Iwachnienko A.G.: Polynomial theory of complex systems. IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, Vol.SMC-1, No.4 1971.
- [7] Luzar M.: Przybornik modelowania neuronowego GMDH. Conference Archives PTE-TiS Vol. 28 2010.
- [8] Gocał J.: Geodezja inżynierska – przemysłowa, tom III. Wydawnictwo Akademii Górniczo – Hutniczej. Kraków 2010.
- [9] Czaja J.: Geodezja inżynierska – przemysłowa. Skrypt Uczelniany nr 893 Akademii Górniczo – Hutniczej w Krakowie. Kraków 1983.

THE DEFORMATIONS OF CONSTRUCTION STEEL CHIMNEY IN TERMS OF THE USE OF THE GROUP OF DATA HANDLING

Summary

The field of processing information provided by measurement results is one of the most important components of geodesic technologies. The dynamic development of this field improves classic algorithms for numerical calculations in the aspect of analytical solutions that are difficult to achieve. Algorithms based on artificial intelligence in the form of artificial neural networks, including the topology of connections between neurons have become an important instrument connected to the problem of processing and modelling processes. Artificial neural networks are based on research conducted in the field of artificial intelligence. Of particular importance were the work relating to the operation of the nervous system of living beings and the construction of models of structures that occur in the brain. Artificial neural networks due to their nonlinear character represents a sophisticated modeling technique and are included in the methods of computational intelligence. The functions of the network allow you to get positive results in the area of practical issues such as approximation, interpolation, pattern recognition and classification, compression, prediction, and many others.

This concept results from the integration of neural networks and parameter optimization methods and makes it possible to avoid the necessity to arbitrarily define the structure of a network. This kind of extension of the teaching process is exemplified by the algorithm called the Group Method of Data Handling –GMDH), which belongs to the class of evolutionary algorithms. The article presents a GMDH type network, used for modelling deformations of the geometrical axis of a steel chimney during its operation. The chimney is covered by the control measurements carried out during the operation at intervals of one year.

Keywords: artificial intelligent, group data handling, deviations from the vertical

Przesłano do redakcji: 30.08.2016 r.

Przyjęto do druku: 15.09.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.145

Izabela SKRZYPCZAK¹

Janusz KOGUT²

Lidia BUDA-OŻÓG³

Joanna KUJDA⁴

PROJEKTOWANY OKRES UŻYTKOWANIA A DOCELOWY POZIOM NIEZAWODNOŚCI WEDŁUG RÓŻNYCH ZALECEŃ

Docelowe wartości poziomów (wskaźników) niezawodności według różnych zaleceń normowych krajowych i międzynarodowych nie są spójne. Zalecane wartości wskaźników niezawodności są zwykle podawane dla jednego lub dwóch okresów odniesienia (1 rok i 50 lat), bez wyraźnego odniesienia do projektowanego okresu użytkowania. W artykule podjęto próbę wyjaśnienia związku między wymaganym wskaźnikiem niezawodności i projektowanym okresem użytkowania oraz określenia zależności pomiędzy docelowym poziomem niezawodności dla zadanych konsekwencji zniszczenia a projektowanym okresem użytkowania i stopą dyskontową. Analizowano zalecenia zawarte w PN-EN 1990, PN-ISO 2394 i JCSS: 2001. Probabilistic Model Code. Ze wspomnianych tutaj norm/dokumentów nie wynika wyraźny związek między projektowanym okresem użytkowania i docelowym poziomem niezawodności. Analizując niezawodność w odniesieniu do projektowanego okresu użytkowania można stwierdzić, że zwiększenie jakości i niezawodności powoduje wzrost kosztów realizacji/wybudowania obiektu budowlanego, sprawia jednak, że maleją koszty użytkowania, eksploatacji i straty wynikające np. z pojawiających się uszkodzeń obiektu podczas użytkowania. Dokonując weryfikacji docelowych wskaźników niezawodności według różnych zaleceń normowych, krajowych i zagranicznych, można stwierdzić, że optymalne wskaźniki niezawodności zależą przede wszystkim od stosunku kosztów awarii konstrukcji (koszty nieprawidłowo użytkowanej konstrukcji), natomiast mniej istotny wpływ na projektowany okres użytkowania i docelowy wskaźnik niezawodności według M. Holickego ma wartość stopy dyskonta nieruchomości.

Słowa kluczowe: wskaźnik niezawodności, konsekwencje zniszczenia, koszty

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Izabela Skrzypczak, Politechnika Rzeszowska, Zakład Geodezji i Geotechniki im. Kaspra Weigla, ul. Poznańska 2, 35-959 Rzeszów; tel. 178651010; izas@prz.edu.pl

² Janusz Kogut, Politechnika Krakowska; jkogut@pk.edu.pl

³ Lidia Buda-Ożóg, Politechnika Rzeszowska; lida@prz.edu.pl

⁴ Joanna Kujda, Politechnika Rzeszowska, joannakujda@wp.pl

1. Wprowadzenie

Termin niezawodność, we współczesnych normach do projektowania konstrukcji budowlanych oznacza zdolność konstrukcji do spełnienia określonych wymagań i obejmuje nośność, użyteczność i trwałość konstrukcji [1, 2]. Głównymi celami inżynierii niezawodności są: zapobieganie lub zmniejszenie prawdopodobieństwa bądź częstości uszkodzeń (zniszczenia) projektowanych obiektów, identyfikacja przyczyn uszkodzeń, ustalenie sposobów postępowania w wypadku wystąpienia uszkodzeń oraz opracowanie metod szacowania niezawodności projektowanych obiektów i analizy odpowiednich danych statystycznych [6]. Jednak docelowe poziomy niezawodności zalecane w różnych dokumentach krajowych i międzynarodowych [1-3] są niespójne zarówno pod względem zalecanych wartości jak i kryteriów, zgodnie z którymi właściwe wartości mają być przyjmowane.

2. Zalecenia PN-EN 1990

W Eurokodzie 1990 [1] wyodrębniono wymagania podstawowe oraz dotyczące: niezawodności (zarządzanie niezawodnością), projektowego okresu użytkowania, trwałości i jakości (zarządzanie jakością). Wymagania podstawowe mówią, że konstrukcję należy zaprojektować i wykonać w taki sposób, aby w zamierzonym okresie użytkowania, z należyтым poziomem niezawodności i bez nadmiernych kosztów przejmowała wszystkie oddziaływania i wpływy, których pojawienia się można oczekiwać podczas wykonania i użytkowania, oraz pozostała przydatna do przewidzianego użytkowania.

Projektowy okres użytkowania to przyjęty w projekcie przedział czasu T , w którym konstrukcja lub jej część ma być użytkowana zgodnie z zamierzonym przeznaczeniem i przewidywanym utrzymaniem, bez potrzeby większych napraw. Zalecane wg Eurokodu 1990 [1], orientacyjne wartości T można przyjmować następująco:

- konstrukcje tymczasowe 10 lat,
- wymienne części konstrukcji (np. łożyska, belki podsuwnicowe) 10 - 25 lat,
- konstrukcje rolnicze i podobne 15 - 30 lat,
- konstrukcje budynków i inne „zwykłe” konstrukcje - 50 lat,
- konstrukcje budynków monumentalnych, mosty, wiadukty, itp. - 100 lat.

Z kolei zalecane w załączniku B PN-EN 1990 wartości wskaźników niezawodności podane są dla dwóch okresów referencyjnych 1 rok i 50 lat (patrz tab. 1), bez wyraźnego związku z projektowanym okresem użytkowania, które na ogół różni się od okresu odniesienia. Praktyczne zastosowanie tych wartości, związane jest z rozpatrywanym okresem odniesienia, który może być związany z dostępnością informacji dotyczącej probabilistycznej zmienności podstawowych zmiennych (jednoczesność występowania obciążeń, wiatr, osuwiska, itp.).

Tabela 1. Klasyfikacja niezawodności na podstawie PN-EN 1990 [1]

Table 1. Classification the reliability based on PN-EN 1990 [1]

Klasa niezawodności konstrukcji	Konsekwencje awarii konstrukcji	Wskaźnik niezawodności dla okresu odniesienia		Przykłady budynków i obiektów inżynierii lądowej i wodnej
		1 rok	50 lat	
RC3 - Wysoka	Duże	5,2	4,3	Mosty, obiekty użyteczności publicznej
RC2 - Średnia	Średnie	4,7	3,8	Budynki i konstrukcje zwykłe
RC1 - Niska	Małe	4,2	3,3	Budowle rolnicze

Pojęcie okresu odniesienia jest zatem podstawą do przyjęcia (określenia) projektowanego okresu użytkowania. Dlatego bardzo ważne jest rozróżnienie tych dwóch pojęć, gdy różnica między tymi dwoma pojęciami nie jest zauważalna, mogą pojawić się nieścisłości z określeniem niezawodności konstrukcji. Przypomnijmy, że okres odniesienia to przedział czasowy przyjęty jako podstawa do statystycznego określenia oddziaływań zmiennych i jeśli to możliwe wyjątkowych na konstrukcję.

Należy zauważyć, że wartości β , dla okresu odniesienia 1 roku oraz 50 lat, podanych w tabeli 1, dla każdej klasy niezawodności, odpowiadają tym samym klasom niezawodności konstrukcji. Praktyczne zastosowanie tych wartości, powinno być uzależnione od rozpatrywanego okresu odniesienia, który może być związany z dostępnymi informacjami dotyczącymi zmiennych podstawowych o charakterze losowym dla okresu użytkowania (jednoczesność wystąpienia obciążenia, wiatr, trzęsienia ziemi, ruchy masowe, itp.). Na przykład, biorąc pod uwagę klasę RC2 niezawodności konstrukcji oraz okres odniesienia 50 lat, wskaźnik niezawodności $\beta = 3,8$ powinien być stosowany pod warunkiem, że probabilistyczne modele zmiennych podstawowych są dostępne dla tego okresu. Ten sam poziom niezawodności jest osiągnięty, gdy okres odniesienia zostanie przyjęty jako okres 1 roku, a wartość wskaźnika niezawodności $\beta = 4,7$ została obliczona przy użyciu tych samych modeli teoretycznych jak dla okresu 50 lat.

Zgodnie z Eurokodem 1990 optymalny poziom niezawodności uzyskano biorąc pod uwagę zarówno koszty budowy oraz przewidywane koszty awarii przez cały projektowany okres użytkowania (por. Tab. 1).

3. Zalecenia PN-ISO 2394

Bardziej szczegółowe zalecenia dotyczące docelowej niezawodności podane są w normie PN-ISO 2394 [2], gdzie docelowe wartości wskaźnika niezawodności zostały podane dla całego okresu pracy konstrukcji (bez ograniczeń), więc nie są tylko związane z konsekwencjami awarii, ale zależą również od względnych kosztów środków zapewnienia bezpieczeństwa (patrz Tab. 2).

Tabela 2. Przykłady docelowych wartości wskaźników niezawodności na podstawie normy PN-ISO 2394 [2]

Table 2. Examples of target values of reliability based on PN-ISO 2394 [2]

Względne koszty zapewnienia bezpieczeństwa	Skutki zniszczenia			
	małe	odczuwalne	umiarkowane	wielkie
Wysokie	0,0	1,5	2,3	3,1
Umiarkowane	1,3	2,3	3,1	3,8
Niskie	2,3	3,1	3,8	4,3

Z ekonomicznego punktu widzenia, docelowy poziom niezawodności powinien zależeć od równowagi między skutkami niespełnienia wymagań (np. awarią, zniszczeniem) a kosztem środków zabezpieczających. Formalnie, celem może być minimalizacja całkowitego kosztu w stosunku do czasu/okresu użytkowania, sformułowanego w postaci funkcjonału:

$$C_{tot} = C_b + C_m + \sum P_f C_f \quad (1)$$

gdzie: C_b – koszt wzniesienia budowli
 C_m – przewidywany koszt rozbiórki
 C_f – koszt zniszczenia
 P_f – prawdopodobieństwo zniszczenia w trakcie użytkowania.

Warto podkreślić, że koszty związane z wartością członu $\sum P_f C_f$ mogą zostać pokryte przez firmy reasekuracyjne.

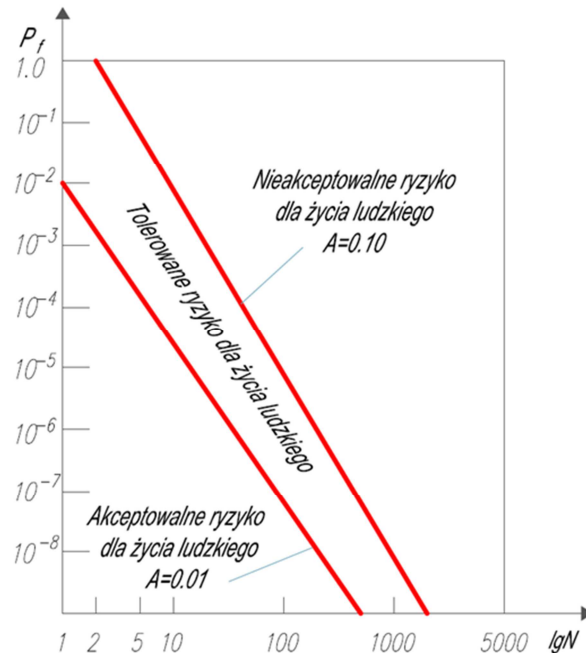
W zalecanej w PN-ISO 2394 [2], formule (1), sumowanie jest wykonywane dla wszystkich niezależnych rodzajów zniszczenia i kombinacji obciążenia. Zalecany funkcjonał jest bardzo uproszczony i może wymagać dalszego rozbudowania, zanim będzie zastosowany w praktyce. Do rozważań ekonomicznych, wymagane może być określenie np. minimalnego poziomu niezawodności, jeżeli bezpieczeństwo ludzi jest zagrożone. Może to prowadzić do zagadnienia optymalizacji z ograniczeniami, przy przyjęciu równania (1), jako funkcji celu oraz równań (2) lub (3) jako ograniczeń:

$$P(f/year)P(d/f) < 10^{-6} year^{-1} \quad (2)$$

$$P(f/year) < A N^\alpha \quad (3)$$

gdzie: N – przewidywana liczba zgonów,
 A i α – są stałymi.

$A = 0,01$ albo $0,1$ i $\alpha = 2$. Modyfikacja stałych liczbowych jest możliwa w szczególnych przypadkach np. jeżeli istnieje plan ewakuacji w sytuacji zagrożenia (rys. 1).



Rys. 1. Diagram ilościowego poziomu akceptowalności ryzyka wg [2]

Fig. 1. Diagram quantify the level of acceptability of risk based on [2]

W normie PN-ISO 2394 [2] podano uproszczoną formułę na określenie całkowitego kosztu zapewnienia niezawodności konstrukcji. Alternatywna postać wzoru, dla probabilistycznej optymalizacji określenia docelowego poziomu niezawodności przy tak określonej funkcji celu, może być zdefiniowana jako wartość całkowitego kosztu zgodnie z formułą:

$$C_{tot}(x, q, n) = C_f \sum_{i=1}^n P_f(x, i) Q(q, i) + C_0 + x C_i \quad (4)$$

gdzie: x – parametr decyzji optymalizacji,

q – roczna stopa dyskontowa,

n – liczba lat,

$P_f(x, i)$ – prawdopodobieństwa awarii w i -tym roku,

$Q(q, i)$ – parametr dyskontowy (wartość bieżąca przyszłych kosztów),

C_0 – koszt początkowy,

C_i – koszt jednostkowy parametru decyzyjnego,

C_f – niewłaściwe oszacowane koszty na poszczególnych etapach realizacji i eksploatacji.

Postać tego wzoru została zaproponowana przez M. Holický'ego i M. Sykorę oraz J. Retiefa m.in. w [4, 5].

W analizie niezawodności konstrukcji, zmienne we wzorze (4) można zdefiniować jako: x - parametr decyzji optymalizacji (parametr odporności konstrukcji), q - roczna stopa dyskontowa (np. $q=0,03$, średnią wartość długości prowadzonej rzeczywistej rocznej stopy dyskontowej w krajach europejskich), n - liczba lat projektowanego okresu użytkowania (np. 30, 100), $P_f(x, i)$ - prawdopodobieństwo awarii w i -tym roku, C_f - koszty nieprawidłowego użytkowania konstrukcji (z powodu przekroczenia np. stanów granicznych użyteczności konstrukcji), $Q(q, i)$ współczynnik dyskontowy w zależności od rocznej q stopy dyskontowej oraz liczba lat n , C_0 - początkowy koszt niezależnych decyzji x , oraz C_1 - koszty na jednostkę parametru x decyzji.

Należy zauważyć, że koszt konstrukcji zgodnie ze wzorem (4) jest stały i zdeterminowany przez wiele lat. W rzeczywistości żywotność konstrukcji dla danego projektowanego okresu użytkowania może być losowa i zależna zarówno od czynników społecznych i jak i fizycznych. Sam projekt realizacji konstrukcji budowlanej może zmierzać do pewnego optimum.

Przyjęcie odpowiedniego poziomu niezawodności konstrukcji jest ważne przede wszystkim wówczas, gdy w razie jej zniszczenia mogą zginąć lub ulec obrażeniom ludzie, wówczas dopuszczalna maksymalna wartość prawdopodobieństwa zniszczenia konstrukcji zależy od warunkowego prawdopodobieństwa śmierci osoby w danej katastrofie konstrukcji zgodnie ze wzorem (2). Wymaganie to dotyczy jednego roku, przy czym bezpieczeństwo ludzi i prawdopodobieństwo śmierci ludzi w budynku podczas katastrofy, należy rozpatrywać jako średnia wartość w okresie odniesienia. Na ogół dopuszczalne jest przyjęcie większego prawdopodobieństwa katastrofy w pewnej części okresu odniesienia, a mniejszej w innej części. Okres odniesienia nie musi być równy okresowi użytkowania konstrukcji. Należy podkreślić, że równanie (2) daje minimalne wymaganie dotyczące bezpieczeństwa ludzi. W wielu przypadkach, w celu uniknięcia sytuacji, w których może zginąć większa liczba osób, należy stosować dodatkowe wymaganie w postaci (3).

4. Zalecenia JCSS: 2001. Probabilistic Model Code

Podobne zalecenia dotyczące poziomów niezawodności zawarte są w normie JCSS: 2001. Probabilistic Model Code [3] (Tabela 3).

Zalecane docelowe wskaźniki niezawodności są związane zarówno z konsekwencjami jak i względnymi kosztami zapewnienia bezpieczeństwa. Są one jednak zdefiniowane dla okresu odniesienia wynoszącemu 1 rok. Klasy konsekwencji w [3] (są podobne do tych, które są zawarte w PN-EN 1990 [1]) i są one połączone współczynnikiem ρ i zdefiniowanym jako stosunek całkowitych kosztów (koszt realizacji obiektu powiększony o bezpośrednie koszty awarii) i kosztów budowy w następujący sposób:

- Klasa 1 - Małe Konsekwencje: wartość $\rho < 2$, zagrożenie dla życia jest małe lub jest jego brak, występują znikome lub nieistotne konsekwencje ekono

Tabela 3. Docelowe wskaźniki niezawodność β (i związane z nimi docelowe konsekwencje zniszczenia) dla okresu odniesienia jednego roku i stanów granicznych podanych w JCSS [3]Table 3. Targets reliability β (and related targets consequences of failure) for the reference period of one year and the limit states based on JCSS [3]

Względne koszty zapewnienia bezpieczeństwa	Małe konsekwencje zniszczenia	Średnie konsekwencje zniszczenia	Duże konsekwencje zniszczenia
Duże	3,1	3,3	3,7
Normalne	3,7	4,2	4,4
Małe	4,2	4,4	4,7

miczne (np. konstrukcje rolnicze, silosy, maszty);

- Klasa 2 - Umiarkowane Konsekwencje: $2 < \rho < 5$, brak jest lub występuje średnie zagrożenie dla życia ludzi lub skutki ekonomiczne są znaczne (np. budynki biurowe, budynki przemysłowe, budynki mieszkalne);
- Klasa 3 - Duże Konsekwencje: $5 < \rho < 10$, zagrożenie dla życia, ze względu na awarię, jest wysokie, lub skutki ekonomiczne są znaczące (np. mosty, teatry, hale widowiskowe, szpitale, budynki wysokie).

W przypadku, gdy $\rho > 10$ oraz konsekwencje należy uznać za ekstremalne zaleca się pełną analizę kosztów i korzyści. W takim przypadku może się okazać, że konstrukcji nie należy budować (realizować).

Normalne klasy konsekwencji zniszczenia powinny być związane:

- ze średnią zmiennością dla całkowitych obciążeń i nośności ($0,1 < V < 0,3$),
- z względnymi średnimi kosztami zapewnienia bezpieczeństwa,
- z kosztami związanymi z projektowanym okresem użytkowania oraz starzenia się konstrukcji (zwykle to koszty ok. 3% budowy).

W przypadku dużych niepewności albo obciążenia lub nośności (współczynniki zmienności większe niż 0,4), jak na przykład realizacja obiektów na terenach zalewowych, osuwiskowych, w opinii autorów, powinny być stosowane klasy niższej niezawodności. Dla dużych niepewności dodatkowe koszty w celu osiągnięcia wysokiej niezawodności mogą być zbyt wygórowane i czasami wręcz ekonomicznie nieuzasadnione.

Zapewnienie jakości (dla nowych konstrukcji) i przeglądy (dla istniejących konstrukcji) wpływają na koszty zapewnienia niezawodności. W większości przypadków działania takie prowadzą do niższej klasy niezawodności. Z drugiej strony, ze względu na kontrole jakości i inspekcje zmniejsza się niepewność i wyższe klasy niezawodności stają się ekonomicznie bardziej uzasadnione. Dla istniejących konstrukcji koszty osiągnięcia wyższego poziomu niezawodności są zazwyczaj wysokie w porównaniu do konstrukcji projektowanych czy nowo realizowanych. Z tego powodu docelowe poziomy dla istniejących obiektów zwykle powinny być niższe.

W przypadku konstrukcji tymczasowych lub elementów wymiennych, dla których okres użytkowania przyjmuje się na poziomie 10 lat, docelowe war-

tości wskaźnika niezawodności β mogą być obniżone np. o jedną lub pół klasy. Podczas ustalania wartości docelowych wskaźnika niezawodności dla stanów granicznych użyteczności (SLS) ważne jest, aby rozróżniać nieodwracalne i odwracalne stany graniczne użyteczności. Wartości docelowe dla SLS mogą być uzyskane na podstawie metody analizy decyzji. Dla nieodwracalnych stanów granicznych użyteczności wstępne wartości docelowe są podane w tabeli 3.

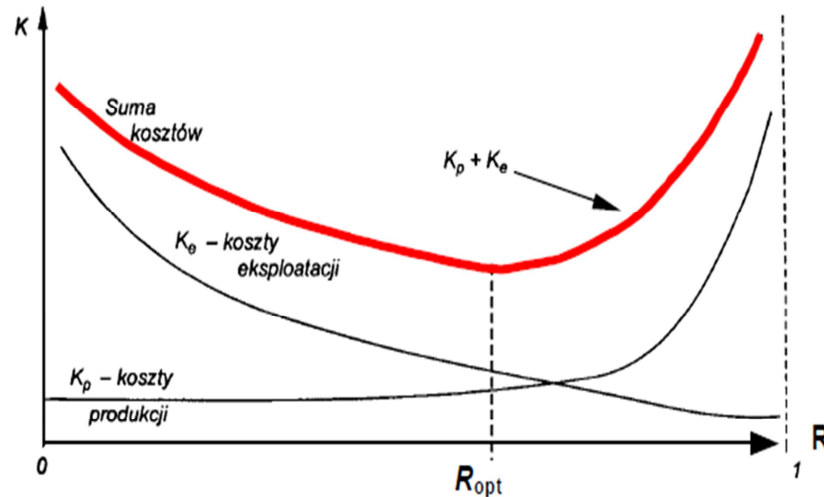
5. Koszty a niezawodność obiektów budowlanych

Na poziom niezawodności oraz dobrą jakość obiektów budowlanych projektowanych na okres użytkowania ma wpływ nie tylko koszt początkowy (koszt wybudowania/realizacji), lecz także oczekiwany koszt jego eksploatacji i utrzymania. Zapewnienie odpowiedniej niezawodności funkcjonowania obiektu jest naczelnym zadaniem jego użytkownika, ale to już projektanci i wykonawcy powinni dążyć do wytworzenia obiektów o optymalnej niezawodności oraz dzięki optymalizacji kosztów, konkurencyjnych pod względem kosztu realizacji. Proces optymalizacji powinien rozpocząć się wraz z początkiem prac nad obiektem i rozciągać się tak, aby uwzględnić wszystkie koszty, które pojawią się w czasie istnienia obiektu. Wszystkie podjęte decyzje dotyczące projektu i realizacji obiektu mają wpływ na jego bezpieczeństwo, niezawodność, użyteczności, a wymagania użytkowników dotyczące eksploatacji ostatecznie określają jego cenę oraz późniejsze koszty utrzymania [8, 10].

Problem analizy kosztów w realizacji obiektów budowlanych był zawsze uwzględniany, ale rzadko analizowany w aspekcie projektowanego okresu użytkowania. Literatura z zakresu analizy kosztów jakości i niezawodności jest liczna. Artykuły, monografie, normy przedstawiają różne aspekty tej analizy [7-11].

Istotnym czynnikiem determinującym koszty obiektu budowlanego projektowanego na okres użytkowania jest jego niezawodność. Z jednej strony niska niezawodność obiektu jest przyczyną strat ekonomicznych, z drugiej strony, zwiększenie niezawodności powoduje zwiększenie kosztów wykonania obiektu, mających m.in. wpływ na koszty użytkowania obiektu. Zależność kosztów od poziomu niezawodności można przedstawić zgodnie z poniższym schematem (rys. 2).

Analizując rys. 2, można zauważyć, że jeśli wydatki na realizację obiektu rosną, to wszystkie parametry związane z zapewnieniem niezawodności też mają tendencję wzrostową, a to z kolei obniża koszty eksploatacji (użytkowania, utrzymania). Przyjmuje się, że koszt eksploatacji obiektu jest odwrotnie proporcjonalny do jego niezawodności. Krzywa kosztu całkowitego istnienia obiektu osiąga minimum, które odpowiada optymalnemu ekonomicznie poziomowi niezawodności. W punkcie tym niezawodność spełnia oczekiwania użytkownika przy określonych kosztach poniesionych na użytkowanie i realizację obiektu (wybudowanie). Aby go określić należy ustalić funkcję celu (np. efektywności ekonomicznej), a także postać matematyczną zależności tej funkcji od poziomu

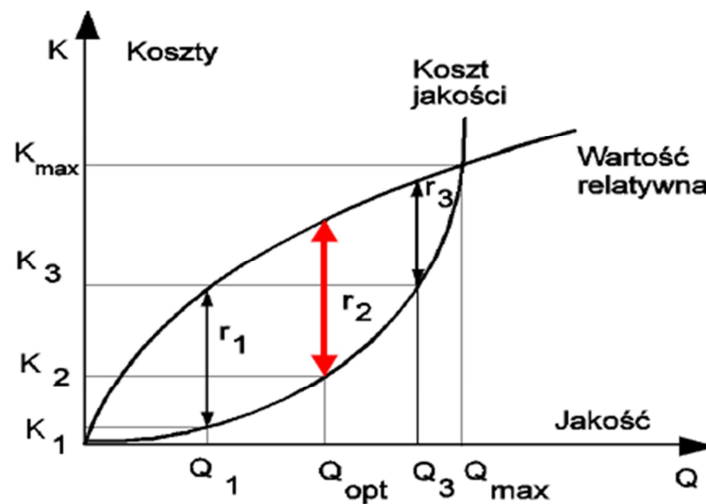


Rys. 2. Zależność niezawodności obiektu budowlanego od kosztów wg [9]

Fig. 2. The dependence the reliability of a building and the cost, based on [9]

niezawodności np. zgodnie ze wzorami (1) do (3) lub zgodnie z formułą zaproponowaną przez M. Holický'ego i współautorów (4).

Niezawodność i wyższa jakość projektowanego obiektu budowlanego wymaga dla jej zrealizowania większych kosztów, lecz podnosi relatywną wartość obiektu (wartość dyskontowa). Można tu mówić o ekonomicznie optymalnej jakości projektowej obiektu budowlanego (rys. 3).



Rys. 3. Zależność kosztów od jakości wg [9]

Fig. 3. The dependence the cost and the quality, based on [9]

Największa część kosztów pojawia się pod koniec okresu istnienia obiektu tj. w końcowym czasie jego eksploatacji. W tej fazie to użytkownik/właściciel dba o zapewnienie odpowiedniej niezawodności obiektu budowlanego. To od niego zależy wysokość kosztów eksploatacji obiektu, jakie poniesie w całym okresie jego użytkowania, a te niewątpliwie w dużej mierze zależą od poziomu niezawodności obiektu ukształtowanego we wcześniejszych fazach istnienia. To właśnie przysłe koszty związane z elementami niezawodności obiektu są najtrudniejsze do oszacowania, przede wszystkim ze względu na losowy charakter pojawiania się uszkodzeń.

Zwiększenie jakości i niezawodności powoduje wzrost kosztów realizacji/wybudowania obiektu budowlanego, sprawia jednak, że maleją koszty użytkowania, eksploatacji i straty wynikające np. z pojawiających się uszkodzeń obiektu podczas użytkowania. Jeśli wyznaczy się zależność sumy kosztów wzniesienia obiektu i kosztów użytkowania od jego niezawodności w zakładanym czasie, to może się okazać, że dla pewnej niezawodności wystąpi minimalna wartość tej sumy. Taką niezawodność można, w opinii autorów, uznać za ekonomicznie optymalną niezawodność obiektu budowlanego.

6. Uwagi końcowe

Ze wspomnianych tutaj norm/dokumentów nie wynika wyraźny związek między projektowanym okresem użytkowania i docelowym poziomem niezawodności. Tak więc, nie jest jasne, jaka wartość docelowego wskaźnika niezawodności powinna być stosowana dla danego projektowanego okresu użytkowania różniącego się od 50 lat (powiedzmy 10 lat).

Dokumenty PN-ISO 3294 [2] i JCSS: 2001 Probabilistic Model Code [3] zalecają wskaźniki niezawodności niższe niż podane w EN 1990 [1], nawet przy małych kosztach względnych środków bezpieczeństwa. Należy zauważyć, że EN 1990 [1] podaje zalecane wskaźniki niezawodności dla dwóch okresów odniesienia 1 do 50 lat, które mogą zostać uznane za cały projektowany okres użytkowania dla zwykłych konstrukcji (analizy przedstawione w [4]). ISO 2394 [2] zaleca wskaźniki dla okresu użytkowania, co związane z jest projektowanym okresem użytkowania, a JCSS: 2001 Probabilistic Model Code [3] określa wskaźniki niezawodności dla okresu odniesienia wynoszącego 1 rok.

Analizując niezawodność w odniesieniu do projektowanego okresu użytkowania można stwierdzić, że zwiększenie jakości i niezawodności powoduje wzrost kosztów realizacji/wybudowania obiektu budowlanego, sprawia jednak, że maleją koszty użytkowania, eksploatacji i straty wynikające np. z pojawiających się uszkodzeń obiektu podczas użytkowania.

Zatem ekonomiczne zagadnienia zapewnienia jakości i niezawodności obiektów budowlanych powinny być analizowane już podczas projektowania, przy czym należy wypracować metody ekonomicznej weryfikacji decyzji jakościowych. Jakość i niezawodność obiektu istotnie zależy od tego, czy obiekt ten

został poprawnie zaprojektowany. Chodzi tu zarówno o jakość samego projektu, jak i zgodność projektu z oczekiwaniami użytkowników/właścicieli/inwestorów. Podsumowując projektowanie nowego obiektu obejmuje wiele czynności, począwszy od specyfikacji wymagań, a kończąc na opracowaniu optymalnego pod względem ekonomicznym rozwiązania konstrukcyjnego.

Literatura

- [1] PN-EN 1990: 2004. Podstawy projektowania konstrukcji. PKN, Warszawa, 2004.
- [2] PN-ISO 2394: 2000 Ogólne zasady niezawodności konstrukcji budowlanych, PKN.
- [3] Joint Committee on Structural Safety. Probabilistic Model Code, publikacja internetowa, 2001, www.jcss.ethz.ch, dostęp 30-06-2016.
- [4] Holicky M., Retief J., Theoretical basis of the target reliability, Proceedings of the 9th IPW, Braunschweig 2011, s. 91-101.
- [5] Sykora M., Holicky M., Diamantidis D., Target reliability for existing civil engineering systems, , Second International Symposium on Stochastic Models in Reliability Engineering, Life Science and Operations Management, DOI 10.1109SMRLO.2016.28, s. 109-114.
- [6] Woliński Sz., Probabilistyczne podstawy współczesnych norm projektowania, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, Zeszyty Naukowe PRz, z. 58, nr 3/2011/1, s. 269-288.
- [7] Aggarwal K.K.: Reliability Engineering. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands 1993.
- [8] Blanchard B.S., Fabrycky W.: Life-Cycle Cost and Economic Analysis. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New York 1991.
- [9] Dhillon B.S.: Quality Control, Reliability, and Engineering Design. Industrial Engineering, New York 1985.
- [10] Dhillon B.S.: Life Cycle Costing. Techniques, Models and Applications. Gordon and Breach Science Publishers, New York 1989.
- [11] Hong T., Han S., Lee S.: Simulation-based determination of optimal life-cycle cost for FRPbridge deck panels. Automation and Constructions, no. 16, s. 140-152, 2007.

THE LEVELS OF RELIABILITY AND PROJECTED LIFETIME DUE TO VARIOUS CODE RECOMMENDATIONS

Summary

The target levels (indicators) of reliability given by the various code recommendations in Poland, both national and international are not consistent. Such recommended values of reliability are usually given for different reference periods (1 year and 50 years), without explicit reference to the designed lifespan of the structure. This paper attempts to clarify the relationship between the required reliability index and the planned lifespan and determine the relationship between the target level of reliability for given consequences of the destruction of projected lifespan and the discount rate of the property. Analyzed the recommendations contained in PN-EN 1990, PN-ISO 2394

and JCSS: 2001. Probabilistic Model Code. These standards /documents do not indicate a clear link between the planned period of use and a target level of reliability. Analyzing the reliability with respect to the proposed period can be said that an increase in the quality and reliability increases the costs of implementation / construction of a building, makes, however, that declining cost of ownership, operation and losses eg. The emerging object damage during use. In such a verification the target indicators of reliability of various code recommendations, one may conclude that the optimal indicators of reliability depend primarily on the cost structure failure (the costs of improper maintenance of structure). On the other hand, less significant impact on the projected lifetime and target reliability index according to M. Holičky has the value of the discount rate of the property.

Keywords: reliability index, the consequences of the destruction, costs

Przesłano do redakcji: 30.08.2016 r.

Przyjęto do druku: 15.09.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.146

Informacje dodatkowe

1. Lista recenzentów współpracujących będzie opublikowana w czwartym numerze *Czasopisma Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*: 63(4/16) oraz na stronie internetowej:
www.oficyna.portal.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/czasopismo-inzynierii-ladowej-s/
(dotychczasowa nazwa: *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska*), strona internetowa:
www.oficyna.portal.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/budownictwo-i/
2. Zasady recenzowania są udostępnione na stronie internetowej:
www.oficyna.portal.prz.edu.pl/zasady-recenzowania/
3. Informacje dla autorów artykułów są udostępnione na stronie internetowej:
[oficyna.portal.prz.edu.pl/informacje-dla-autorów/](http://oficyna.portal.prz.edu.pl/informacje-dla-autorow/)
4. Formularz recenzji jest udostępniony na stronie internetowej:
www.oficyna.portal.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.portal.prz.edu.pl/pl/instrukcja-dla-autorów/](http://www.oficyna.portal.prz.edu.pl/pl/instrukcja-dla-autorow/)
oraz
[www.oficyna.portal.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/czasopismo-inzynierii-ladowej-s/wzakladce „Instrukcja dla autorów”](http://www.oficyna.portal.prz.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/czasopismo-inzynierii-ladowej-s/wzakladce_„Instrukcja_dla_autorow”)
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.portal.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. 63 (4/2016).