

JCEE

Czasopismo
Inżynierii Lądowej,
Środowiska
i Architektury

Journal of Civil
Engineering,
Environment
and Architecture

Kwartalnik
tom XXX
zeszyt 60 (nr 4/2013)
październik-grudzień

(e-ISSN 2300-8903)

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

Wydano za zgodą Rektora

Redaktor naczelny
Wydawnictw Politechniki Rzeszowskiej
prof. dr hab. inż. Leonard ZIEMIAŃSKI

Rada Naukowa
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)

Komitet Redakcyjny
(afiliacja: Polska)

redaktor naczelny

dr hab. inż. Piotr KOSZELNIK, prof. PRz

redaktorzy tematyczni (naukowi)

prof. dr hab. inż. Aleksander KOZŁOWSKI, prof. dr hab. inż. Janusz RAK

redaktor statystyczny

dr hab. inż. Szczepan WOLIŃSKI, prof. PRz

sekretarz redakcji

mgr inż. Katarzyna PIETRUCHA-URBANIK

członkowie

dr inż. Renata GRUCA-ROKOSZ, dr inż. arch. Anna SIKORA

dr inż. Zdzisław PISAREK, dr hab. inż. Lucjan ŚLĘCZKA

Redaktorzy

Marta JAGIEŁOWICZ

James RICHARDS – native English speaker (UK)

Przygotowanie matryc

Mariusz TENDERA

p-ISSN 2300-5130

e-ISSN 2300-8903

Wersja drukowana Kwartalnika jest wersją pierwotną.

Redakcja czasopisma: Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska,
al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, www.oficyna.portal.edu.pl/pl/zeszyty-naukowe/czasopismo-inzynierii-ladowej-s/ (e-mail: kpiet@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. 217

SPIS TREŚCI

Magdalena DROZD, Jolanta WARCHOŁ: Sorbenty stosowane do usuwania Cr(VI) z roztworów wodnych	5
Monika GAŚOWSKA, Janusz URBAŃSKI: Ocena warunków hydraulicznych zmodernizowanego zbiornika wodnego w Leźnicy Wielkiej	21
Michał JANICKI: Stężenia podstawowych zanieczyszczeń w gazach spalinowych powstające podczas spalania słomy i drewna w kotle wsadowym małej mocy	33
Galina KALDA: Perspektywy rozwoju energetyki wiatrowej w Polsce do 2020 roku.....	45
Galina KALDA, Aneta BORKOWSKA: Możliwości wykorzystania energii biomasy w gospodarce polskiej.....	57
Galina KALDA, Tomasz LISZKA: Rozwój hydrologii Magurskiego Parku Narodowego	71
Michał KRUPA: Przemiany przestrzenne Skawiny na tle stosunków gospodarczych w pierwszej połowie XIX wieku	89
Dominika KUŚNIERZ-KRUPA: Rewaloryzacja zabytków dziedzictwa kulturowego małych miast Podkarpacia na przykładzie Sieniawy	97
Natalia MIRONOVA, Galina KALDA, Oleg LISHCHUK: Phytomeliorative influence of the macrophytes of different ecological groups over the oxygene regime in the technogenic lakes of the Small Polissya of Ukraine	113
Witold NIEMIEC, Honorata TRZCIŃSKA, Monika MAKOWIECKA: Promocja gminy jako stymulanta rozwoju jednostek samorządu terytorialnego.....	125

4	
Jolanta PIĘNCZAK, Jolanta WARCHOŁ: Sorbenty stosowane do usuwania B(III) z roztworów wodnych.....	139
Vyacheslav PISAREV, Dorian CZARNIECKI: System klimatyzacji centralnej ze stropami chłodzącymi i gruntowym wymiennikiem ciepła	157
Vyacheslav PISAREV, Krzysztof NOWAK: Analiza współpracy kurtyny powietrznej z gruntową pompą ciepła w okresie całorocznym..	177
Vyacheslav PISAREV, Natalia ZIEMNIAK: System klimatyzacji z promiennikami stropowymi.....	193
Janusz R. RAK: Wybrane uwarunkowania skutecznego działania operatorów systemów komunalnych	205
Recenzenci współpracujący – 2013 r.....	215

Magdalena DROZD¹
Jolanta WARCHOŁ²

SORBENTY STOSOWANE DO USUWANIA Cr(VI) Z ROZTWORÓW WODNYCH

Utrzymujące się w ostatnim stuleciu zapotrzebowanie na chrom i jego związki oraz rosnące zużycie materiałów zawierających ten pierwiastek spowodowało, że koncentracja chromu w środowisku naturalnym wzrasta z roku na rok. Podwyższone zawartości chromu w środowisku naturalnym nie są obojętne dla zdrowia i życia ludzi oraz rozwoju biotycznej części środowiska. Niektóre związki chromu są uznawane za rakotwórcze. W wodzie przeznaczonej do spożycia najwyższe dopuszczalne stężenie chromu ogólnego nie powinno przekraczać 0,05 mg/dm³, a Cr(VI) – 0,02 mg/dm³.

Konwencjonalne metody stosowane do usuwania jonów metali ze środowiska wodnego są to chemiczne strącania, filtracja, wymiana jonowa, wydzielania elektrochemiczne, odwrócona osmoza. Większość z tych metod jest skuteczna i jednocześnie bardzo kosztowna, często wymaga zachowania ścisłych reżimów technologicznych. Metody oparte na zjawisku sorpcji są uważane nie tylko za efektywne, ale też za selektywne. Powszechnie stosowanymi sorbentami są węgle aktywne i syntetyczne wymiennicze jonowe. Ponieważ materiały te są drogie i mało selektywne, ich zastosowanie w procesach, tj. oczyszczania ścieków przemysłowych czy remediacji gleb, jest ekonomicznie nieoptyczne. W związku z tym coraz większe jest zainteresowanie materiałami alternatywnymi mającymi duże powinowactwo do jonów Cr(VI). Są to m.in. węgle aktywne preparowane z lokalnie dostępnych materiałów odpadowych lub półproduktów procesów przemysłowych. Praca stanowi przegląd literatury na temat sorpcji jonów Cr(VI) z roztworów wodnych na węglach aktywnych, dolomicie, żywicach syntetycznych, systemach mikrobiologicznych i sorbentach cyrkonowo-tlenkowych. Przedstawiono charakterystykę najważniejszych przedstawicieli należących do tych grup sorbentów. Omówiono mechanizm sorpcji jonów Cr(VI) oraz czynniki warunkujące jego efektywność.

Słowa kluczowe: sorpcja Cr(VI), dolomit, węgiel aktywny, *Sargassum muticum*, syntetyczne żywice jonowymienne

¹ Magdalena Drozd, Politechnika Rzeszowska

² Autor do korespondencji/corresponding author: Jolanta Warchoń, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. (17) 8651316, e-mail: jwarchol@prz.edu.pl

1. Wprowadzenie

Cr(VI) występuje w środowisku naturalnym w formie rozpuszczalnych i bardzo toksycznych jonów chromianowych (HCrO_4^- albo $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), które mogą przenosić się swobodnie w środowisku wodnym. Ciągłe narażenie na działanie Cr(VI) powoduje m.in. raka przewodu pokarmowego i płuc, zapalenie skóry lub oskrzeli, perforowanie przegrody nosowej, poważne biegunki czy krwawienie [1, 2]. Z kolei oddziaływanie chromu na rośliny objawia się więdnieniem liści, słabym rozwojem korzeni i biomasy. Ilość pobieranego chromu jest uzależniona od jego stężenia w glebie [3]. Głównym źródłem chromu są ścieki pochodzące z przemysłu lotniczego i kosmonautycznego, powlekania elektrolitycznego, wypalania skór $[\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4]$, górnictwa, produkcji farb $[\text{ZnCrO}_4, \text{Cr}_2\text{O}_3, \text{PbCrO}_4]$, nawozów i przemysłu fotograficznego $[\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}, \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7]$ [4]. W glebie chrom występuje średnio w ilości 125 mgCr/dm^3 , w wodzie podziemnej $1 \text{ } \mu\text{gCr/dm}^3$, natomiast w wodzie słodkiej powierzchniowej w zakresie $1 \div 10 \text{ } \mu\text{gCr/dm}^3$. Wyższe stężenia chromu w środowisku naturalnym można spotkać na obszarach bezpośrednio skażonych ściekami (ścieki komunalne, tereny przemysłowe, osady denne w pobliżu antropogennych źródeł zanieczyszczeń) [5, 6].

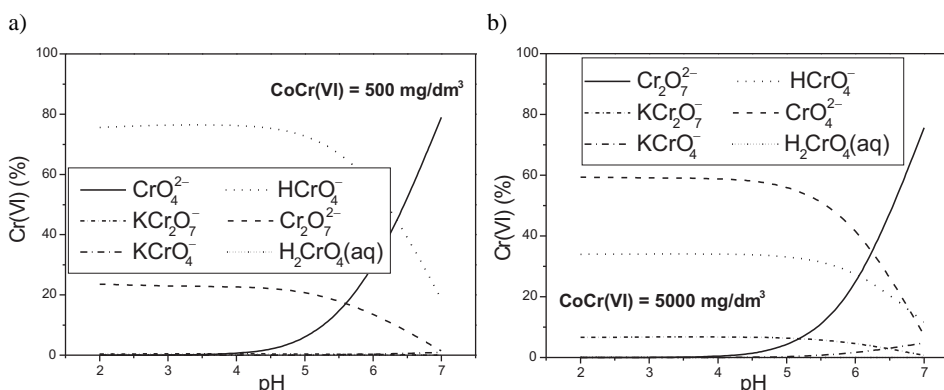
Chrom z roztworów wodnych można usunąć w procesie odwróconej osmozy, filtracji, wymiany jonowej, elektrochemicznego strącania czy ekstrakcji. Praktyczne zastosowanie tych technik wiąże się z poniesieniem odpowiednich nakładów inwestycyjnych oraz nierzadko z koniecznością zachowania odpowiednich reżimów technologicznych. Ważną zaletą procesów sorpcyjnych jest ich prostota, wysoka efektywność i możliwość selektywnego usunięcia wybranych zanieczyszczeń. Powszechnie znanymi sorbentami są węgle aktywne i syntetyczne wymiennicze jonowe. Materiały te są jednak drogie i mało selektywne, dlatego obecnie prowadzone badania naukowe skupiają się na poszukiwaniu alternatywnych materiałów mających duże powinowactwo do jonów metali ciężkich [2].

2. Właściwości Cr(VI)

Chrom w środowisku naturalnym występuje na różnych stopniach utlenienia (od +2 do +6), przy czym stabilne są jedynie formy III- i VI-wartościowe [6]. Postać i forma chromu są determinowane w głównej mierze odczynem pH, przy czym udział form anionowych jest funkcją również stężenia (rys. 1a, b). Chrom jest metalem bardzo reaktywnym. Na obu stopniach utlenienia (III i VI) tworzy liczne kompleksy z cząsteczkami wody i ze związkami organicznymi, tj. $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_{6-n-m}(\text{H}_2\text{O})_n\text{R}_m]^{(3-m)+}$ [5].

W środowisku anaerobowym Cr(VI) redukuje się do Cr(III), a w wodach dobrze utlenionych przeważa Cr(VI) [5]. Najgroźniejszy dla zdrowia jest chrom występujący w postaci jonów chromianowych CrO_4^{2-} i dichromianowych

$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ [7], które w roztworze wodnym istnieją w chemicznej równowadze: $2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ \Leftrightarrow \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{O}$.



Rys. 1. Formy Cr(VI) w funkcji odczynu pH: a) stężenie Cr(VI) = 500 mg/dm³, b) stężenie Cr(VI) = 5000 mg/dm³

Fig. 1. Forms of Cr (VI) as a function of pH: a) the concentration of Cr (VI) = 500 mg/dm³, b) concentration of Cr (VI) = 5000 mg/dm³

3. Sorbenty stosowane do usuwania Cr(VI)

Węgiel aktywny

Komercyjnie dostępne węgle aktywne są otrzymywane na skalę przemysłową na drodze karbonizacji i aktywacji węgla kamiennego, brunatnego, torfu, półkoks lub koksu. W zależności od właściwości surowca wyjściowego zmienia się technologia produkcji węgla aktywnego, jego właściwości, pojemność sorpcyjna, a tym samym zastosowanie i cena [8].

Węgłe aktywne użyte do sorpcji Cr(VI) uzyskuje się m.in. z pestek moreli i łupin migdałowych [9], skorupki kokosa włoskiego [10, 11], skorupki i włókna kokosa włoskiego [12], pyłu węglowego [11], łupin orzecha laskowego [13, 14], opon samochodowych, orzechów *Terminalia Arauna* [15], trocin *Hevea brasiliensis* [16], orzechów *Syzygium jambolanum* [17] czy skorupki krewetek [7] (tab. 1.).

Badania Arulkumara i in. [7] wskazują, że powierzchnia węgla aktywnego uzyskanego ze skorupki krewetek charakteryzuje się krystaliczną strukturą, która po sorpcji chromu staje się porowata. Uzyskane wyniki wskazują, że materiał ten posiada ponaddwukrotnie większą zdolność sorpcyjną względem chromu niż komercyjny węgiel aktywny Filtrasorb-400 [7].

Tabela 1. Pojemność sorpcyjna Cr(VI) na węglu aktywnym spreparowanym z różnych materiałów odpadowych i z węgla kamiennego, na podstawie [18]

Table 1. Sorption capacity Cr (VI) on the activated carbon prepared of different waste materials and coal, based on [18]

Materiał	Pojemność sorpcyjna [mg/g]	pH
Skorupa orzecha kokosowego	20,0	2,5
Skorupa orzecha kokosowego	6,0	3,0÷4,0
Pył węglowy	4,4	3,0÷4,0
Łupina migdałowa	20,0	1,0
Pestki moreli	17,7	2,0
Pestki moreli	170,0	1,0
Opony samochodowe	48,1	2,0
Węgiel kamienny	44,4	2,0
Trociny	1,9	2,0
Włókno kokosowe	38,5	1,5÷2,0

Właściwości sorpcyjne węgla aktywnych są przypisane rozbudowanej wewnętrznej strukturze porów wewnętrznych (podobnej do struktury fullerenu) i obecności grup funkcyjnych (głównie karboksylowych i fenolowych) odpowiedzialnych za wiązanie jonów Cr(VI) [9, 19]. Proces ten może przebiegać według mechanizmu wymiany jonowej, oddziaływań donorowo-akceptorowych i adsorpcji quasi-molekularnej (polegającej na przyciąganiu z roztworu elektrolitu jonów przeciwnego znaku według mechanizmu cząsteczkowego) [8]. Sorpcję Cr(VI) potwierdzono analizą spektroskopową FTIR, w której zaobserwowano obniżenie intensywności oraz przesunięcie pików charakterystycznych dla analizowanego węgla aktywnego grup funkcyjnych [7].

Największą efektywność sorpcji chromu(VI) na węglu aktywnym uzyskano dla niskich odczynów pH. Obecne w środowisku jony H^+ neutralizują negatywny ładunek powierzchni węgla, redukując jednocześnie barierę dyfuzji anionu $HCrO_4^-$. Wraz ze wzrostem odczynu pH ($pH \leq 5,9$) wzrasta ilość jonów OH^- , które obniżają w pierwszej kolejności dyfuzję anionów $HCrO_4^-$, a następnie ($pH 5,9-6,0$) jonów CrO_4^{2-} . Optymalny odczyn pH dla sorpcji Cr(VI) na węglu aktywnym wynosi pH 1,5 [9].

Istnieje możliwość zwiększenia selektywności i efektywności sorpcji węgla aktywnych poprzez modyfikację czy impregnację ich powierzchni sorpcyjnej [20]. Impregnowany kwasem taninowym (rys. 2.) węgiel aktywny (TA-PAC) posiada o 4,8% większe pole powierzchni właściwej i o 6,43% większą pojemność porów niż komercyjnie dostępny węgiel CPAC Szanghaj. Różnica wynika z liczby i rodzaju grup funkcyjnych obecnych na powierzchni adsorpcyjnej (tab. 2.) [19].

Rys. 2. Wzór strukturalny kwasu taninowego

Fig. 2. Structural formula tannic acid

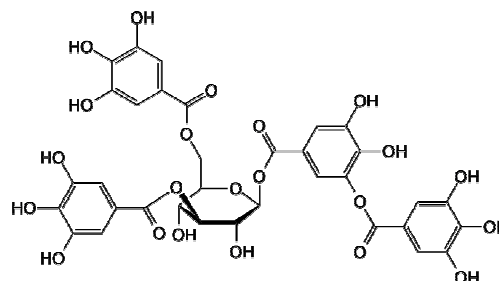


Tabela 2. Liczba i rodzaje grup funkcyjnych na powierzchni węgla aktywnego surowego (CPAC) i impregnowanego kwasem taninowym (TA-PAC), na podstawie [19]

Table 2. The number and types of functional groups on the surface of activated carbon raw (CPAC) and treated with tannic acid (TA-PAC), based on [19]

Parametr [mmol/g]	TA-PAC	CPAC
Grupa karboksylowa	14,22	2,00
Grupa fenolowa	6,60	2,69

Bez względu na rodzaj surowca, z którego uzyskano węgiel aktywny, istnieje możliwość jego regeneracji kwasem nieorganicznym. Proces wiąże się jednak ze zmniejszeniem pojemności sorpcyjnej, która maleje z każdym kolejnym cyklem regeneracji [7].

Dolomit

Dolomit jest rozpowszechniony w przyrodzie minerałem z grupy bezwodnych węglanów o ogólnym wzorze $AB(CO_3)_2$, gdzie A – wapno, bar lub stront, B – żelazo, magnez, cynk lub mangan, np. $[CaMg[CO_3]]$ [21]. Największe złoża dolomitu znajdują się w Indiach, Indonezji, Turcji i Chinach [22]. Najczęściej tuf dolomitowy zawiera FeO oraz niewielkie ilości ZnO, PbO, CoO [23]. Właściwości dolomitu są podobne do wapieni, dlatego jest często sprzedawany pod handlową nazwą materiału magnezowo-wapniowego [24]. Ze względu na dużą zawartość MgO dolomit znalazł zastosowanie m.in. w przemyśle rolniczym, farmaceutycznym i szklarskim [25]. Używany jest również w metalurgii do wydobywania metali z rud i w hydroterapii jako sorbent toksycznych substancji, głównie metali ciężkich [1].

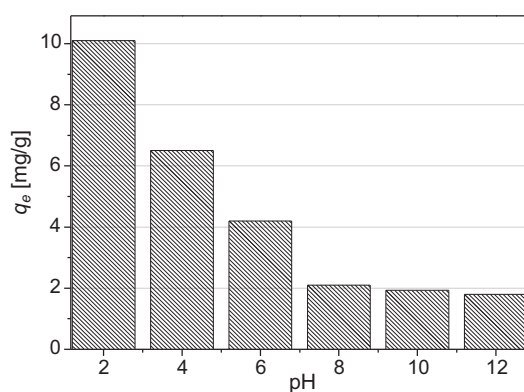
Dolomit posiada krystaliczną strukturę i jest minerałem stosunkowo mało porowatym (tab. 3.) [1]. Ze względu na ujemny ładunek sieci krystalicznej dolomit sorbuje metale ciężkie w postaci kationów. Mechanizm procesu obejmuje adsorpcję fizyczną, wymianę jonową z jonami Mg^{2+} i Ca^{2+} oraz powierzchniowe strącanie [26].

Tabela 3. Właściwości dolomitu, na podstawie [1]

Table 3. Properties of dolomite, based on [1]

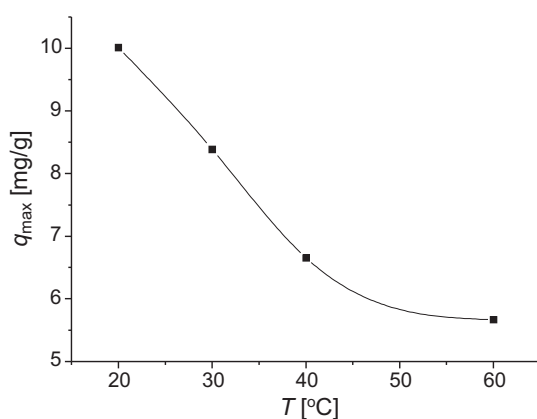
Właściwość	Wartość
Powierzchnia [dm^2/g]	463
Gęstość nasypowa [kg/dm^3]	1,281
Pojemność porów [dm^3/g]	$6,4 \cdot 10^{-6}$
Promień poru [Å]	15,97

Czynnikami determinującym efektywność sorpcji chromu na dolomicie jest odczyn pH (rys. 3., przy czym q_e – stężenie równowagowe) i temperatura (rys. 4., przy czym q_{max} – maksymalna pojemność sorpcyjna). Wraz ze wzrostem odczynu pH maleje efektywność sorpcji. Dla niskich wartości pH < 4,0 powierzchnia dolomitu zostaje otoczona przez duże ilości jonów H^+ . Grupy hydroksylowe



Rys. 3. Wpływ odczynu pH na sorpcję Cr(VI) na dolomicie, na podstawie [1]

Fig. 3. Influence of the reaction pH to the Cr sorption (VI) on the dolomite, based on [1]



Rys. 4. Wpływ temperatury na maksymalną zdolność sorpcyjną Cr(VI) na dolomicie, na podstawie [2]

Fig. 4. Influence of the temperature on a maximum sorption capacity Cr (VI) on the dolomite, based on [2]

są dodatkowo i jako takie elektrostatycznie przyciągają negatywnie naładowane jony Cr(VI). Stosunkowo słaba adsorpcja Cr(VI) w wysokich odczynach pH (8-12) jest rezultatem konkurencyjnej sorpcji jonów OH⁻ [1].

Syntetyczne żywice jonowymienne

Żywice chelatujące są syntetycznymi polimerami składającymi się z dwóch części: chelatu zawierającego grupy funkcyjne oraz polimerowej matrycy [27]. Grupy funkcyjne posiadają jeden lub więcej atomów donorowych tworzących z jonami metali kompleksy. Atomem donorowym jest najczęściej azot (w grupach aminowych, azotowych, amidowych, nitrylowych), tlen (w grupach karboksylowych, hydroksylowych, fenoplastach, eterach, grupach karbonylowych) czy siarka (tiola, tioetery) [27].

Do usuwania Cr(VI) stosuje się m.in. żywicę mocznikowo-formaldehydową, melaminowo-formaldehydową, mocznikowo-melaminowo-formaldehydową oraz żywice przygotowane na bazie kopolimeru trietyloaminy i alkoholu poliwinylowego. Największą efektywność sorpcji Cr(VI) uzyskano z roztworów o odczynie kwaśnym. Spadek efektywności sorpcji wraz ze wzrostem odczynu pH jest spowodowany konwersją jonu Cr₂O₇²⁻ do CrO₄²⁻.

Przeprowadzone badania wskazują, że wartość optymalnego odczynu pH zależy od zastosowanego materiału sorpcyjnego (tab. 4.). W znacznie mniejszym stopniu proces jest determinowany obecnością jonów konkurencyjnych, zarówno kationów, jak i anionów (tab. 5.) [10].

Tabela 4. Optymalne wartości odczynu pH dla sorpcji Cr(VI) na żywicach syntetycznych

Table 4. Optimum values of the reaction pH for the Cr sorption (VI) on synthetic resins

Żywica jonowymienna	Optymalny odczyn pH	Literatura
Styrenowo diwinylobenzenowafunkcjonalizowana diketonem	5	[27]
Mocznikowo-melaminowo-formaldehydowa	2-2,5	[10]
Lewatit FO36	6	[28]
Kationowymienna żywica IRN77 (M/s. Rohm and Haas, France SA)	3,5	[29]
Kationowymienna żywica SKN1 (M/s. Mitsubishi Chemical Corporation, Japan)	3,5	[29]
Kopolimer żywicy diwinylobenzenowejAmberlite IRA 96	2	[30]
Lewatit 64	5	[30]
Lewatit 500	5	[30]
Żywica na bazie kopolimeru trietyloaminy i alkoholu poliwinylowego	5,75	[31]

Tabela 5. Wpływ jonów konkurencyjnych na efektywność sorpcji jonów Cr(VI) z r-ru o odczynie pH = 2; C₀ = 2 mg/dm³

Table 5. Influence of competitive ions on the effectiveness of the sorption of Cr (VI) ions of solution about the reaction pH = 2; C₀ = 2 mg/dm³

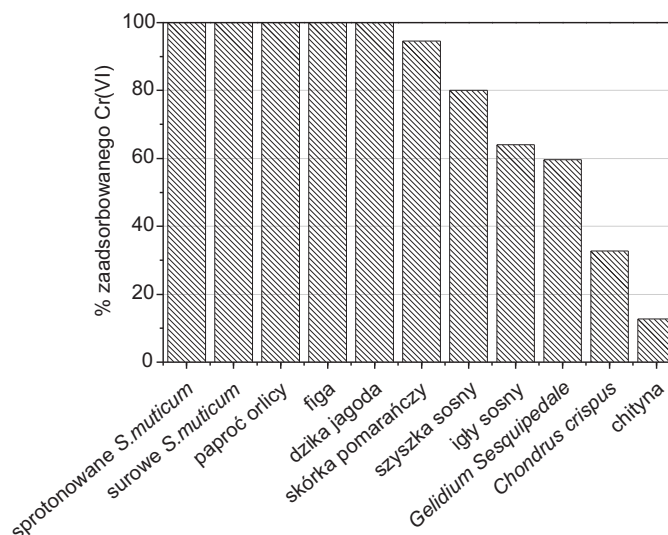
Kationy		Aniony	
Jon konkurencyjny	% usuwania Cr(VI)	jon konkurencyjny	% usuwania Cr(VI)
Fe ³⁺	100,0	Cl ⁻	100,0
Cd ²⁺	99,9	SO ₄ ²⁻	100,0
Zn ²⁺	99,8	NO ₃ ⁻	99,5
Ni ²⁺	99,7	PO ₄ ³⁻	98,5
Cr ³⁺	99,5	-	-

Systemy mikrobiologiczne

Do systemów mikrobiologicznych zalicza się materiały, takie jak: wodorosty, produkty uboczne rolnictwa czy lignina. Poszczególne grupy systematyczne, a nawet gatunki wykazują znaczne różnice w pojemności sorpcyjnej. Do sorpcji chromu zastosowano m.in. surową oraz protonowaną formę makroalg *Sargassummuticum*. Są to brązowe wodorosty morskie pochodzące z Japonii, uważane za inwazyjne na wybrzeżach Europy. Zastosowano również *Gelidiumsquesquipedale*, czerwone algi *Chondruscrispus*, figi *Carpobrotusedulis*, paproć orlicy pospolitej, igły sosnowe, dziką jeżynę *Rubuslmiifolius* i skórkę pomarańczy. W odniesieniu do składu chemicznego tych materiałów można znaleźć duży wybór związków chemicznych i różnic strukturalnych. Większość sorbentów zawiera polisacharydy, z których najpowszechniejszą jest celuloza (cząsteczki glukozy połączone wiązaniami β-1,4-glukozydowymi). *Sargassummuticum* jest przykładem brązowej algi złożonej z różnych rodzajów polisacharydów. Wszystkie makroalgi zawierają dużą liczbę grup hydroksylowych, będących częścią struktur polisacharydów i wewnętrznych ścian komórkowych zbudowanych z celulozy. Pozostałe materiały są zbudowane głównie z ligniny, celulozy i hemicelulozy [32]. Porównanie efektywności sorpcji Cr(VI) na różnych systemach mikrobiologicznych przedstawia rys. 5.

Przedstawione systemy mikrobiologiczne posiadają grupy funkcyjne będące donorami elektronów, które redukują Cr(VI) do Cr(III). Protonowanie tych grup poprzez kontakt sorbentu z kwasem zwiększa efektywność sorpcji.

Usuwanie chromu następuje w wyniku trzech kolejnych etapów: 1) adsorpcji anionu HCrO₄⁻ na biomacie, 2) redukcji Cr⁶⁺ do Cr³⁺, 3) adsorpcji Cr(III) na biomacie. Wzrost efektywności sorpcji Cr(VI) wraz z obniżeniem odczynu pH jest tłumaczony silnym przyciąganiem anionu HCrO₄⁻ do pozytywnie naładowanej powierzchni sorbentu oraz wzrostem potencjału redukcyjnego HCrO₄⁻/Cr³⁺, który sprzyja reakcji: HCrO₄⁻ + 7H⁺ + 3e⁻ = Cr³⁺ + 4H₂O [32]. Wartość optymalnego odczynu pH zależy od zastosowanego materiału sorpcyjnego (tab. 6.).



Rys. 5. Procent usunięcia Cr(VI) na różnych materiałach naturalnych w wodzie dejonizowanej przy odczynie pH = 1, na podstawie [32]

Fig. 5. Percentage removal of Cr (VI) on a variety of natural materials in deionized water at pH = 1, based on [32]

Tabela 6. Optymalne wartości odczynu pH dla różnych systemów mikrobiologicznych

Table 6. Optimum pH values for various microbiological systems

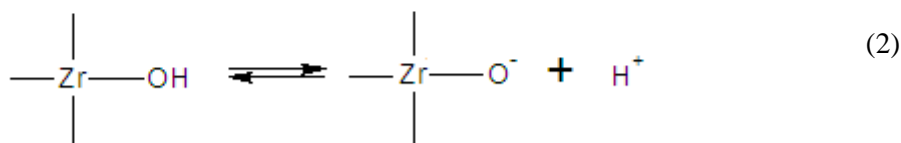
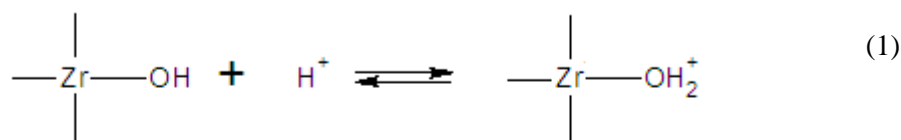
System mikrobiologiczny	Optymalny odczyn pH	Literatura
Surowe <i>Sargassummuticum</i>	1	[32]
Proponowane <i>Sargassummuticum</i>	1÷2	[32]
Suche liście <i>Araukaria</i> (igława)	5	[33]
Sinice morskie (<i>Oscillatoria</i> i <i>Phormidium</i>)	3	[34]
Komórki sinic <i>Synechococcus</i>	1÷2	[35]
Liście wiązu	6	[36]
Odpady rolnicze	2	[37]
Sprzężniaki <i>Rhizopusnigricans</i>	2	[38]
Bakterie z gatunku <i>Bacillus</i>	2	[39]

Sorbenty cyrkonowo-tlenkowe

Sorbenty cyrkonowo-tlenkowe otrzymuje się w procesie syntezy w wyniku dodania nadmiaru roztworu alkalicznego do roztworu soli cyrkonu Zr(VI), a następnie krystalizacji $ZrO_2 \cdot nH_2O$ do metastabilnej tetragonalnej fazy ($t-ZrO_2$) (w temperaturze $400^\circ C$ faza $t-ZrO_2$ przechodzi w jednoskośny tlenek cyrkonu $m-ZrO_2$).

Amorficzny sorbent cyrkonowo-tlenkowy posiada dużą powierzchnię właściwą ($32710 \text{ dm}^2/\text{g}$) z licznymi mezoporami ($630 \text{ dm}^3/\text{g}$). Jest to materiał amorficzny, w którym sporadycznie mogą występować pojedyncze kryształy. W jego metastabilnej i niestabilnej strukturze stwierdzono obecność polikrystalicznego izomerycznego $t\text{-ZrO}_2$ oraz jednoskośnych kryształów $c\text{-ZrO}_2$ [40].

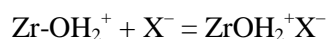
Otrzymany sorbent jest odporny na czynniki agresywne, termostabilny, stabilny chemicznie, nietoksyczny i trwały w środowisku wodnym. Grupy Zr-O-H odpowiadają za właściwości sorpcyjne tego materiału. Należy podkreślić, że uwodniony tlenek cyrkonu posiada właściwości aniono- i kationowymienne. W zależności od tego, czy zachodzi protonowanie (1) czy deprotonowanie (2) grupy hydroksylowe na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni sorbentu są obdarzone ładunkiem dodatnim lub ujemnym:



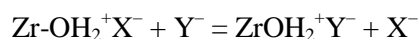
Przebieg tych reakcji jest bezpośrednio związany z wartością odczynu pH [41]. W środowisku kwaśnym następuje najpierw protonowanie:



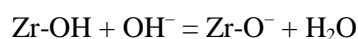
Utworzony aktywny kompleks hydroksylowy przyłącza aniony X^- :



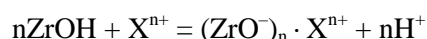
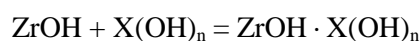
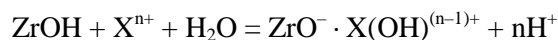
które może wymieniać w reakcji jonowymiennej:



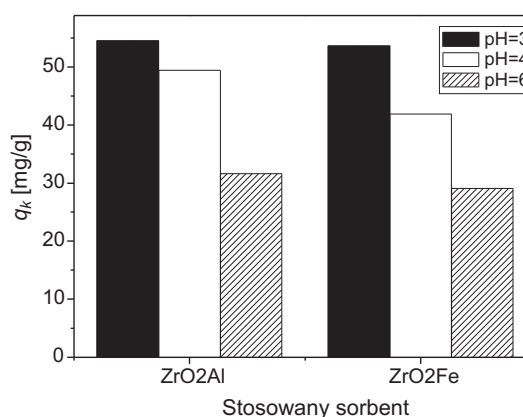
Z kolei w środowisku zasadowym następuje deprotonowanie:



a utworzony sorbent usuwa kationy X^{n+} i ich formy hydroksylowe według reakcji [42]:



Efektywność sorpcji jonów Cr(VI) na uwodnionych tlenkach cyrkonu dotowanych kationami trójwartościowymi ZrO₂-Al i ZrO₂-Fe wzrasta wraz z obniżeniem odczynu pH (rys. 6.) [43].



Rys. 6. Maksymalna pojemność sorpcyjna uzyskana przy różnych wartościach odczynu pH

Fig. 6. The maximum sorption capacity obtained at different pH values

4. Podsumowanie

Do sorpcji Cr(VI) stosuje się różnorodne sorbenty, tj. materiały naturalne, żywice syntetyczne, systemy mikrobiologiczne. Efektywność sorpcji jest uzależniona zarówno od właściwości materiału sorpcyjnego, jak i warunków prowadzenia procesu, głównie odczynu pH i temperatury. W tabeli 7. porównano

Tabela 7. Efektywność usuwania jonów Cr(VI) dla różnych materiałów sorpcyjnych

Table 7. Removal efficiency of Cr (VI) for various sorption materials

Sorbent	pH	q _m [mg/g]
Węgiel aktywny impregnowany kwasem taniowym (TA-PAC)	7	0,4
Węgiel aktywny uzyskany z łupin orzecha laskowego	1	38,8
Węgiel aktywny uzyskany z pestek moreli	1	170,0
Węgiel aktywny uzyskany z włókna kokosowego	1÷2	2,3
Dolomit	2	10,0
Orzechy <i>Terminaliaarjuna</i>	1	4,9
Surowe <i>Sargassummuticum</i>	1	40,0
Protonowane <i>Sargassummuticum</i>	1	40,0
Liście wiązu (popiół)	6	1,0
Żywica przygotowana na bazie trietyloaminy i alkoholu poliwinylowego	6	4,8
Kopolimer żywicy styrenowo-diwinylobenzenowej funkcjonalizowanej diketonem	5	0,9
Kopolimer żywicy diwinylobenzenowej Amberlite IRA 96	2	99,91
Żywica Lewatit FO36	6	0,95
Kationowymiennie żywice IRN77 i SKN1	4	20
Sorbent cyrkonowo-tlenowy ZrO ₂ -Al	3	54,52

maksymalne pojemności sorpcyjne uzyskane dla różnych materiałów sorpcyjnych. Analiza zamieszczonych wartości wskazuje, że największą efektywność sorpcji jonów Cr(VI) uzyskano dla węgla aktywnego otrzymanego z pestek moreli i sorbentów cyrkonowo-tlenkowych. Ich zastosowanie jak dotąd ogranicza się do obszaru badań naukowych.

Literatura

- [1] Albadarin A.B., Mangwandi Ch., Al-Muhtaseb Ala'a H., Walker G.M., Allen S.J., Ahmad M.N.M.: Kinetic and thermodynamics of chromium ions adsorption onto low-cost dolomite adsorbent. *Chemical Engineering Journal*, no 179, 2012, pp. 193-202.
- [2] Larraza I., López-González M., Corrales T., Marcelo G.: Hybrid materials: Magnetite-Polyethylenimine-Montmorillonite, as magnetic adsorbents for Cr(VI) water treatment. *Bioresource Technology*, no 113, 2012, pp. 106-113.
- [3] Kołwzan B.: Wybrane aspekty oddziaływania metali ciężkich na mikroflorę wód powierzchniowych. Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1986.
- [4] Nriagu J.O.: Production and uses of chromium. *Chromium in the natural and human environments*. John Wiley & Sons, New York, no 1988, pp. 81-103.
- [5] Dojlido J.R.: *Chemia wód powierzchniowych*. Wydaw. Ekonomia i Środowisko, Białystok 1995.
- [6] Migula P.: Kiedy metale ciężkie są szkodliwe, t. VII. Fundacja Ekologiczna „Silesia”, Katowice 1993.
- [7] Arulkumar M., Thirumalai K., Sathishkumar P., Palvannan T.: Rapid removal of chromium from aqueous solution using novel prawn shell activated carbon. *Chemical Engineering Journal*, no 185-186, 2012, pp. 178-186.
- [8] Sorbak Z.: *Nieorganiczne materiały nanoporowate*. WN Uniwersytetu A. Mickiewicza, Poznań 2009.
- [9] Demirbas E., Kobya M., Senturk E., Ozklan T.: Adsorption kinetics for the removal of Chromium(VI) from aqueous solutions on the activated carbons prepared from agricultural wastes. *Water SA*, no 30(4), 2004, pp. 533-540.
- [10] Demirata B.: Speciation of Cr(III) and Cr(VI) by means of melamine-urea-formaldehyde resin and FAAS. *Mikrochim. Acta*, no 136, 2001, pp. 143-146.
- [11] Selomulya C., Meeyoo V., Amal R.: Mechanisms of Cr(VI) removal from water by various types of activated carbons. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, no 74(3), 1999, pp. 111-122.
- [12] Mohan D., Singh K.P., Singh V.K.: Removal of hexavalent chromium from aqueous solution using low-cost activated carbon derived from agricultural waste materials and activated carbon fabric cloth. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, no 44(4), pp. 1027-1042.
- [13] Cimino G., Passerini A., Toscano G.: Removal of toxic cations and Cr(VI) from aqueous solution by hazelnut shell. *Water Research*, no 34(11), 2000, pp. 2955-2962.

- [14] Kobya M.: Removal of Cr(VI) from aqueous solutions by adsorption onto hazelnut shell activated carbon: kinetic and equilibrium studies. *Bioresource Technology*, no 91(3), 2004, pp. 317-321.
- [15] Mohanty K., Jha M., Meikap V., Biswas M.N.: Removal of Chromium(VI) from dilute aqueous solutions by activated carbon developed from Terminalia arjuna nuts activated with zinc chloride. *Chemical Engineering Science*, no 60(11), 2005, pp. 3049-3059.
- [16] Karthikeyan T., Rajgopal S., Miranda L.R.: Chromium(VI) adsorption from aqueous solution by Hevea brasiliensis sawdust activated carbon. *Journal of Hazardous Materials*, no 124(1-3), 2005, pp. 192-199.
- [17] Muthukumar K., Beulah S.: Removal of Chromium(VI) from wastewater using chemically activated Syzygium jambolanum nut carbon by batch studies. *Procedia Environmental Sciences*, no 4, 2011, pp. 266-280.
- [18] Chaudhuri M., Bin Azizan N.K.: Adsorptive removal of Chromium(VI) from aqueous solution by an agricultural waste-based activated carbon. *Water Air Soil Pollut*, no 223, 2012, pp. 1765-1771.
- [19] Li W., Gong X., Li X., Zhang D., Gong H.: Removal of Cr(VI) from low-temperature micro-polluted surface water by tannic acid immobilized powdered activated carbon. *Bioresource Technology*, no 113, 2012, pp. 106-113.
- [20] Yin C.Y., Aroua M.K., Daud W.M.A.W.: Review of modifications of activated carbon for enhancing contaminant uptakes from aqueous solutions. *Separation and Purification Technology*, no 52, 2007, pp. 403-415.
- [21] Walker G.M., Hansen L., Hanna J.A., Allen S.J.: Kinetics of a reactive dye adsorption onto dolomitic sorbents. *Water Research*, no 37, 2003, pp. 2081-2089.
- [22] Pehlivan E., Ozkan A.M., Dins S., Parlayici S.: Adsorption of Cu²⁺ and Pb²⁺ ion on dolomite powder. *Journal of Hazardous Materials*, no 167, 2009, pp. 1044-1049.
- [23] Bolewski A., Żabiński W.: *Zarys mineralogii*. Wydaw. AGH, Kraków 1987, s. 314-315.
- [24] Duffy A., Walker G.M., Allen S.J.: Investigations on the adsorption of acidic gases using activated dolomite. *Chemical Engineering Journal*, no 117, 2006, pp. 239-244.
- [25] Ramasamy V., Ponnusamy V., Sabari S., Anishia S.R., Gomathi S.S.: Effect of grinding on the crystal structure of recently excavated dolomite. *Indian Journal of Pure & Applied Physics*, no 47, 2009, pp. 586-591.
- [26] Stefaniak E., Dobrowolski R., Staszczuk P.: Adsorption on the adsorption of Chromium(VI) ions on dolomite and dolomitic sorbents. *Adsorption Science & Technology*, no 18, 2000, pp. 107-115.
- [27] Kumar R., Jain S.K., Misra R.K., Kachchwaha M., Khatri P.K.: Aqueous heavy metals removal by adsorption on b-diketone-functionalized styrene-divinylbenzene-copolymeric resin. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, no 9, 2012, pp. 79-84.
- [28] Rafati L., Mahvi A.H., Asgari A.R., Hosseini S.S.: Removal of Chromium(VI) from aqueous solutions using Lewatit FO36 nano ion exchange resin. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, no 7 (1), 2010, pp. 147-156.

- [29] Rengaraj S., Yeon K.-H., Moon S.-H.: Removal of chromium from water and wastewater by ion exchange resins. *Journal of Hazardous Materials*, no 87, 2001, pp. 273-287.
- [30] Bajpai S., Dey A., Jha M.H., Gupta S.K., Gupta A.: Removal of hazardous hexavalent chromium from aqueous solution using divinylbenzene copolymer resin. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, no 9, 2012, pp. 683-690.
- [31] Chowdhury P., Mondal C.P., Roy C.K.: Synthesis of cross-linked graft copolymer from [2-(methacryloyloxy)ethyl] trimethylammonium chloride and poly(vinyl alcohol) for removing Chromium(VI) from aqueous solution. *Polym. Bull.*, no 64, 2010, pp. 351-362.
- [32] Lopez-Garcia M., Lodeiro P., Herrero R., Sastre de Vicente M.E.: Cr(VI) removal from synthetic and real wastewaters: The use of the invasive biomass *Sargassum muticum* in batch and column experiments. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, no 18, 2012, pp. 1370-1376.
- [33] Shukla D., Ankar P.S.: Efficient biosorption of Chromium(VI) ion by dry *Araucaria* leaves. *Environmental and Science Pollution Research*, no 19, 2012, pp. 2321-2328.
- [34] Rajeshwari K., Kumar M.S., Thajuddin N.: Adsorption isotherms for Cr(VI) by two immobilized marine cyanobacteria. *Analytical Microbiology*, no 62, 2012, pp. 241-246.
- [35] Li S., Jin-Lan X., Hua H.E., Zhen-Yuan N., Guan-Zhou Q.: Biosorption mechanism of Cr(VI) onto cells *Synechococcus* sp. *Journal of Central South University of Technology*, no 02-0157-06, 2007.
- [36] Gholami F., Mahvi A.H., Omrani Gh.A., Nazmara Sh., Ghasri A.: Removal of Chromium(VI) from aqueous solution by *Ulmus* leaves. *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.*, no 2, 2006, pp. 97-102.
- [37] Khazaei I., Aliabadi M., Hamed Mosavian H.T.: Use of agricultural waste for removal of Cr(VI) from aqueous solution. *Iranian Journal of Chemical Engineering*, no 4, 2011, pp. 11-23.
- [38] Sudha S.R., Abraham T.E.: Biosorption of Cr(VI) from aqueous solution by *Rhizopus nigricans*. *Bioresource Technology*, no 79(1), 2001, pp. 73-81.
- [39] Nurba M., Nourbakhsh S., Kilicarslan S.: Biosorption of Cr⁶⁺, Pb²⁺ and Cu²⁺ ions in industrial waste water on *Bacillus* sp. *Chemical Engineering*, no 85(2/3), 2002, pp. 351-355.
- [40] Cui H., Li Q., Gao S., Ku Shang J.: Strong adsorption of arsenic species by amorphous zirconium oxide nanoparticles. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, no 18, 2012, pp. 1418-1427.
- [41] Gutzov S., Peneva K.: Formation of the monoclinic zirconia phase by heating from hydrous zirconium oxide. *Journal of Materials Science Letters*, no 17, 1998, pp. 1535-1537.
- [42] Mishra S.P., Singh V.K., Tiwari D.: Inorganic particulates in removal of toxic heavy metal ions. Study: Part IV. Efficient removal of zinc ions from aqueous solution by hydrous zirconium oxide. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, no 1(210), 1996, pp. 207-217.

- [43] Pilch J.: Sorpcja chromu na amorficznych sorbentach cyrkonowo-tlenowych. Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2005 (praca niepublikowana)

ADSORBENTS APPLY FOR CR(VI) REMOVAL FROM AQUEOUS SOLUTIONS

Summary

Chromium is considered as a high priority environmental pollutant. Its concentration in industrial effluents reaches in specific cases 50000 mg/l. The toxicity of chromium strongly depends on its oxidation state. Chromium is present in aqueous solutions in various anionic forms (CrO_4^{2-} , HCrO_4^- or $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) which can be toxic to living beings even at $\mu\text{g/l}$ concentrations.

Among the different techniques proposed for their removal (e.g., reduction/precipitation, biosorption, and nano- and ultrafiltration, adsorption on natural and synthetic sorbents still seems to be quite attractive. Due to mild operating conditions, sorption can be utilized as a separate process or supporting system for conventional purification technology.

Commercially, activated carbons and synthetic resins are regarded as the most popular and effective adsorbents and ion exchangers. Despite their prolific use, they are costly to regenerate and sorb most compounds indiscriminately. Their practical application in environmental problems such as treating metal-loaded sludge, soils remediation; is economically unfavorable.

This review collects the research results obtained for both commercial and alternative adsorption materials for Cr(VI) removal. A variety of alternative sorption materials such as natural minerals (dolomite), biosorbents (*Sargassum muticum*) and polymeric resins (β -diketone-functionalized styrene-divinylbenzene copolymer) has been presented. Their ability (structural and chemical properties) for Cr(VI) anions sorption and binding mechanism have been discussed. The maximum Cr(VI) uptake was compared with results presented in the literature for different sorbents.

Alternative, low-cost adsorbents have been found to be highly promising materials for chromium removal from contaminated waters.

Keywords: chromium sorption, dolomite, active carbon, biosorbent, synthetic ion-exchange resin

DOI:10.7862/rb.2013.54

Przesłano do redakcji: 12.06.2013 r.

Przyjęto do druku: 13.11.2013 r.

Monika GAŚOWSKA¹
Janusz URBAŃSKI²

OCENA WARUNKÓW HYDRAULICZNYCH ZMODERNIZOWANEGO ZBIORNIKA WODNEGO W LEŻNICY WIELKIEJ

W pracy przedstawiono analizę wyników obliczeń hydraulicznych pod kątem oceny funkcjonowania zmodernizowanych urządzeń upustowych obiektu piętrzącego zbiornika wodnego na rzece Gnidzie w Leżnicy Wielkiej. W 2011 roku zrewaloryzowano będący w złym stanie technicznym obiekt piętrzący oraz jego urządzenia upustowe. W celu kompletnej oceny hydraulicznych warunków działania obiektu wodnego przeprowadzono jego inwentaryzację i oględziny konstrukcji budowli w zakresie niezbędnym do przeprowadzenia odpowiednich analiz. Ponadto wykonano pomiary niwelacyjne w wybranych przekrojach koryta rzeki poniżej budowli. Sporządzono charakterystykę zdolności przepustowej koryta w dolnym stanowisku budowli oraz określono jej wpływ na wydatek spustów dennych zbiornika. Przeprowadzone obliczenia wykazały, że zmodernizowane urządzenia upustowe umożliwiają poprawne przeprowadzanie przepływów wód i utrzymanie oczekiwanego położenia zwierciadła wody na Zalewie Leżnickim. Dokonano oceny hydraulicznych warunków bezpiecznego przeprowadzania wielkich wód przez urządzenia ewakuacyjne (upustowe) budowli, co zapewnia stabilizację stosunków wodnych na terenach sąsiadujących ze zbiornikiem i zmniejsza zagrożenie wystąpienia podtopień. Przeprowadzone badania terenowe wykazały zły stan koryta rzeki Gnidy poniżej zbiornika, co wpływa na ograniczanie zdolności przepustowej urządzeń ewakuacyjnych (upustowych) budowli przez ich podtopienie i co może być również przyczyną wystąpienia lokalnych podtopień. Oczyszczenie koryta z zarośli oraz innych lokalnych przeszkód spowodowałoby znacząca poprawę w uzyskiwaniu zwiększonych wydatków urządzeń upustowych zbiornika.

Słowa kluczowe: charakterystyka hydrauliczna budowli wodnej, urządzenia upustowe zbiornika retencyjnego, hydraulika urządzeń spustowych, przepustowość

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Monika Gaśowska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, tel. +48 22 5935369, e-mail: monika_gasowska@sggw.pl

² Janusz Urbański, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, tel. +48 22 5935290, e-mail: janusz_urbanski@sggw.pl

1. Wprowadzenie

W 1976 roku na rzece Gnidzie w miejscowości Leźnica Wielka powstał zbiornik wodny, tworząc tzw. Zalew Leźnicki, którego podstawowym zadaniem była ochrona przeciwpowodziowa obszarów położonych poniżej budowli piętrzącej, zlokalizowanej w 3 + 100 km rzeki. Wieloletnia beztraska eksploatacja doprowadziła do znacznego pogorszenia stanu technicznego obiektu piętrzącego i jego urządzeń upustowych. W związku z tym w 2011 r. dokonano niezbędnej częściowej rekonstrukcji obiektu piętrzącego. Inwestycja obejmowała odmulenie górnej partii zbiornika, odremontowanie budowli piętrzącej oraz przebudowę urządzeń upustowych [1]. Dokonano rozbiórki mnicha pełniącego funkcję spustu oraz zlikwidowano dotychczasowe przelewy awaryjne z bystrzami, a urządzenia te zastąpiono zmodernizowanym systemem upustowym. Częściowo umocniono również koryto rzeki poniżej budowli.

Po wykonaniu odpowiedniej rekonstrukcji zbiornika oraz modernizacji urządzeń upustowych budowli wodnej postanowiono przeprowadzić stosowne obliczenia hydrauliczne, aby na ich podstawie dokonać oceny funkcjonowania zmodernizowanych urządzeń upustowych oraz oszacować ich zdolność przepustową. Przeprowadzono również niezbędne prace inwentaryzacyjne konstrukcji budowli oraz pomiary niwelacyjne wybranych przekrojów poprzecznych koryta poniżej budowli [2]. Dokonano rozpoznania zdolności przepustowej koryta rzeki w dolnym stanowisku budowli w celu określenia jego wpływu na wydatek urządzeń upustowych budowli dla różnych warunków przepływu wody.

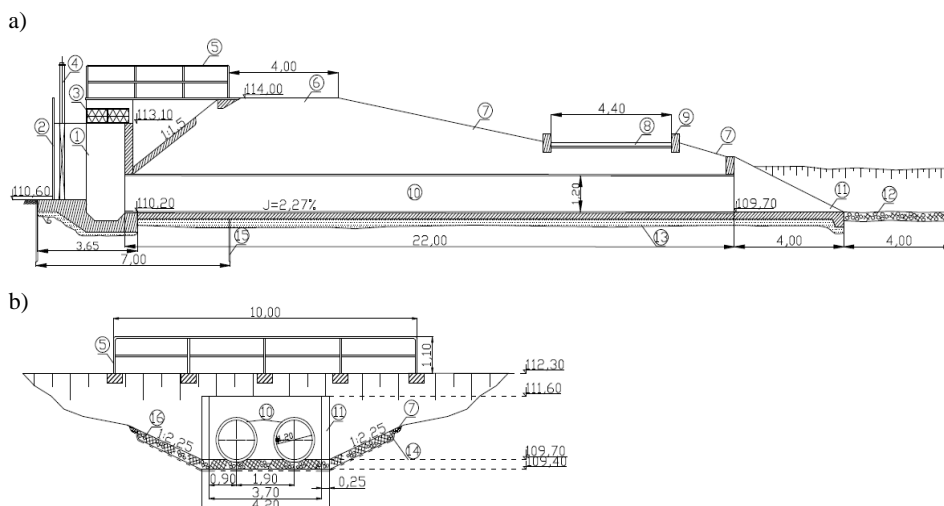
2. Ogólny opis budowli upustowej i zakres przeprowadzonych analiz

Schematyczny przekrój podłużny urządzenia upustowego po jego modernizacji przedstawiono na rys. 1a. Urządzenie zostało wykonane w formie przelewu wieżowego ze spustem dennym, a jego podstawowe elementy to [1]:

- wieża przelewową o konstrukcji żelbetowej, przekroju prostokątnym w planie i wymiarach $5,00 \times 2,00$ m posadowiona na płycie fundamentowej,
- spust z wlotem przez dwa prostokątne otwory o szerokości 1,00 m i wysokości 2,50 m wyposażone w zamknięcia zasuwowe,
- leżak w postaci dwóch równoległych przewodów betonowych o średnicy $D = 1,20$ m i długości $L = 22,0$ m ułożonych w spadku $I = 2,27\%$ (rys. 1.),
- żelbetowy dok wylotowy o wymiarach $4,50 \times 4,20$ m ze skrzydłami równoległymi i płytą wypadową o długości 4,00 m (rys. 1b).

Szyb wieży upustu został wykonany w konstrukcji żelbetowej o wysokości 3,20 m, ograniczony od góry przelewem szczytowym na rzędnej $NPP = 113,10$ m.n.p.m. Przekrój wieży w planie jest prostokątny o wymiarach $5,10 \times 2,10$ m, a grubość ściany wynosi 0,30 m. Widok na zrekonstruowaną wieżę przelewo-

wą przedstawiono na rys. 2a. W czołowej ścianie upustu od strony zbiornika wykonano dwa prostokątne otwory o szerokości 1,00 m i wysokości 2,50 m, wyposażone w zamknięcia zasuwowe, podnoszone na maksymalną wysokość $a = 1,00$ m nad progiem wlotowym i zapewniające przy tym otwarciu możliwość całkowitego opróżnienia Zalewu Leżnickiego.



Rys. 1. Schemat budowli upustowej i podstawowe wymiary [m]: a) przekrój podłużny, b) wylot [3]

Fig. 1. Schema of the spillway reservoir's and basic dimensions [m]: a) horizontal section, b) outlet [3]

Na rysunku 1. przedstawiono: 1 – przelew wieżowy, 2 – kratę, 3 – siatkę ogrodzeniową, 4 – zamknięcie zasuwowe, 5 – balustradę, 6 – koronę zapory, 7 – umocnienia trawiaste, 8 – nawierzchnię drogową, 9 – krawężnik betonowy, 10 – przewody żelbetowe, 11 – przyciółek wylotowy, 12 – płytę wypadową, chudy beton, 13 – geowłókninę, 14 – ściankę szczelną, 15 – narzut kamienny.

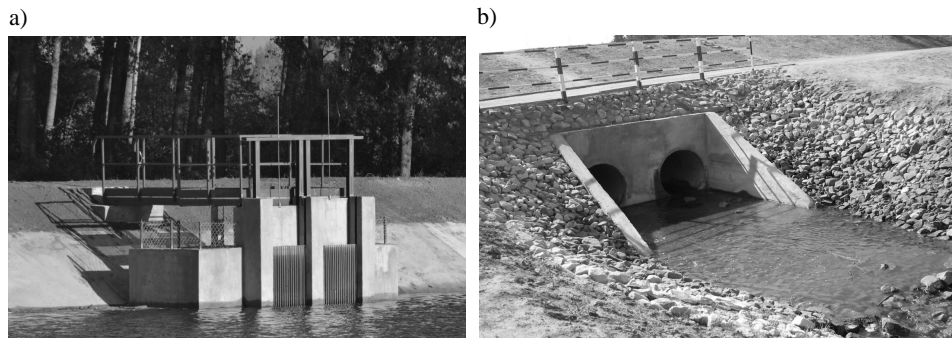
W tylnej ścianie wykonano dwa otwory kołowe o średnicy $D = 1,50$ m, w których umieszczono dwa przewody spustowe. Za wylotami przewodów spustowych usytuowano żelbetowy dok z trójkątnymi ścianami bocznymi (rys. 2b). Dno wypadu o długości 4,00 m umocniono płytą betonową, a skarpy koryta na tej długości zabezpieczono narzutem kamiennym.

Analizie poddano wyniki obliczeń wydatku urządzeń upustowych w różnych warunkach przepuszczania wody [4] i rozpatrywano:

- warunki eksploatacyjne, tzn. utrzymywanie poziomu zwierciadła wody spiętrzonej w zbiorniku do rzędnej NPP przy wypływie strumienia spod zamknięć zasuwowych na wlocie spustu dennego,

- odprowadzanie nadmiaru wody ze zbiornika przez przelew wieżowy w czasie przejścia wezbrania.

Każdorazowo rozważano przepływ miarodajny, niezmienny w czasie.



Rys. 2. Widok budowli upustowej: a) wieża wlotowa, b) wylot

Fig. 2. View of the spillway: a) intake tower, b) outlet

3. Charakterystyka zdolności przepustowej koryta rzeki Gnidy poniżej budowli piętrzącej

W celu ustalenia przepustowości rzeki Gnidy wykonano pomiary niwelacyjne w trzech przekrojach poprzecznych koryta poniżej budowli [2]:

- przekrój nr 1 (3 + 070 km) – na wypadzie budowli (rys. 3a),
- przekrój nr 2 (3 + 065 km) – bezpośrednio za wypadem (rys. 3b),
- przekrój nr 3 (3 + 032 km) – w korycie ciek naturalnego (rys. 3c).

W każdym przekroju wykonano obliczenia zdolności przepustowej koryta, obliczając objętościowe natężenie przepływu z równania (1), stosowanego w praktyce z wykorzystaniem wzoru Manninga (2):

$$Q = v_{sr} \cdot F \quad (1)$$

$$v_{sr} = 1/n I^{1/2} R^{2/3} \quad (2)$$

gdzie: v_{sr} – średnia prędkość przepływu wody w przekroju,

F – pole powierzchni przepływu w poprzecznym przekroju koryta,

n – szorstkość koryta,

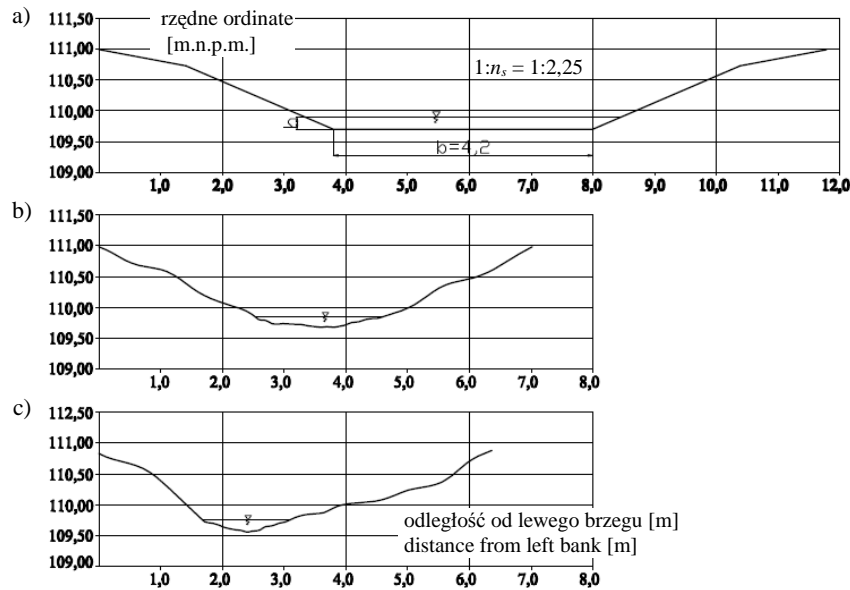
I – spadek hydrauliczny,

R – promień hydrauliczny jako stosunek powierzchni przepływu wody F do długości linii zwilżenia U w poprzecznym przekroju koryta.

Wartości współczynnika szorstkości n zróżnicowano ze względu na rodzaj koryta, sposób umocnienia dna i skarp, stopień zarośnięcia [5]. Przyjęto [6]:

- przekrój nr 1 – $n_{sr} = 0,030 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$ (betonowe dno i skarpy z narzutu kamiennego),

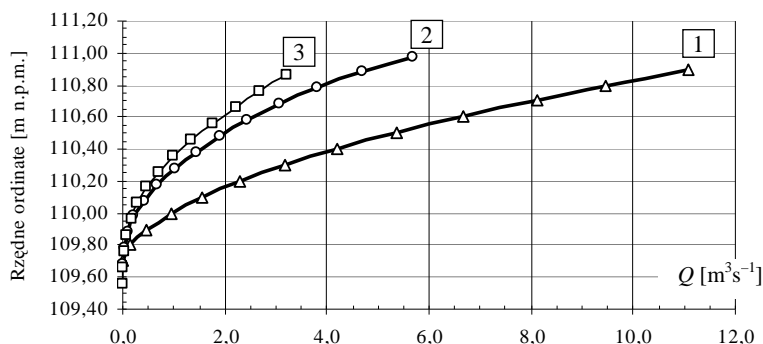
- przekrój nr 2 – $n_{sr} = 0,040 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$ (kanał ziemny z gęstą trawą na skarpach),
- przekrój nr 3 – $n_{sr} = 0,060 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$ (koryto zarośnięte, nieoczyszczone z trawy i krzaków).



Rys. 3. Przekroje poprzeczne koryta cieku poniżej budowli upustowej: a) km – 3 + 070, b) km – 3 + 065, c) km – 3 + 032

Fig. 3. Cross sections of the channel below the spillway reservoir's: a) km – 3 + 070, b) km – 3 + 065, c) km – 3 + 032

W obliczeniach uwzględniono średni spadek zwierciadła wody na analizowanym odcinku koryta, uzyskany w wyniku pomiarów niwelacyjnych i wynoszący 0,3%. Wyniki obliczeń przedstawiono w postaci krzywych przepustowości koryta (rys. 4.). Natężenie przepływu przy napełnieniu brzegowym koryta wynosi: $Q_{(1)} = 11,1 \text{ m}^3/\text{s}$ w przekroju nr 1, $Q_{(2)} = 5,70 \text{ m}^3/\text{s}$ w przekroju nr 2 i $Q_{(3)} = 3,22 \text{ m}^3/\text{s}$ w przekroju nr 3. Najmniejszą przepustowość uzyskano w przekroju nr 3, co jest związane z występowaniem bujnej roślinności na dnie i skarpach koryta. W analizie wydatku urządzeń upustowych zbiornika uwzględniono krzywą przepustowości dolnego stanowiska uzyskaną w przekroju nr 2, tzn. bezpośrednio za wypadem, wskazując, że naturalne koryto rzeki Gnidy powinno być oczyszczone z zarośli oraz lokalnych przeszkód na dnie, czego wynikiem byłby wzrost przepustowości koryta i zmiana przebiegu krzywej nr 3 na rys. 4.

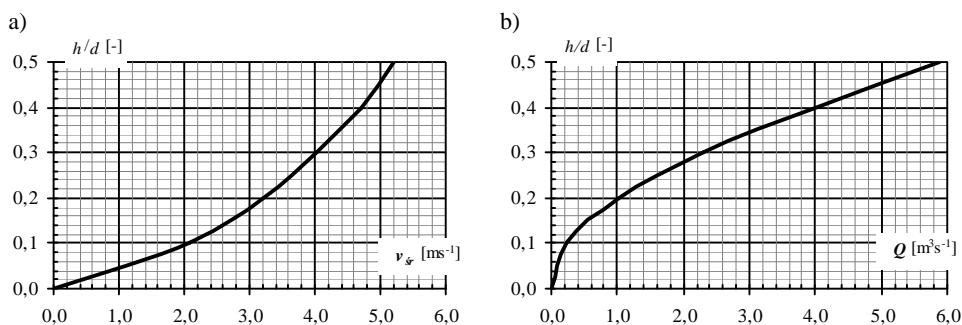


Rys. 4. Krzywe przepustowości koryta rzeki Gnidy w przekrojach pomiarowych: 1) km 3 + 070, 2) km 3 + 065, 3) km 3 + 032

Fig. 4. Discharge curves of the Gnida channel in measurement sections: 1) km 3 + 070, 2) km 3 + 065, 3) km 3 + 032

Zdolność przepustowa przewodów leżaka

Funkcję leżaka spełniają dwa równoległe kołowe przewody wykonane z rur żelbetowych o średnicy wewnętrznej $d = 1,20$ m, ułożone w spadku 2,27%. Stosując wzory (1) i (2), obliczono średnią prędkość przepływu v_{sr} w przewodach w zależności od napełnienia h/d (rys. 5a) oraz sporządzono charakterystykę ich wydatku (rys. 5b).



Rys. 5. Średnia prędkość przepływu w przewodach leżaka (a) i ich przepustowość (b)

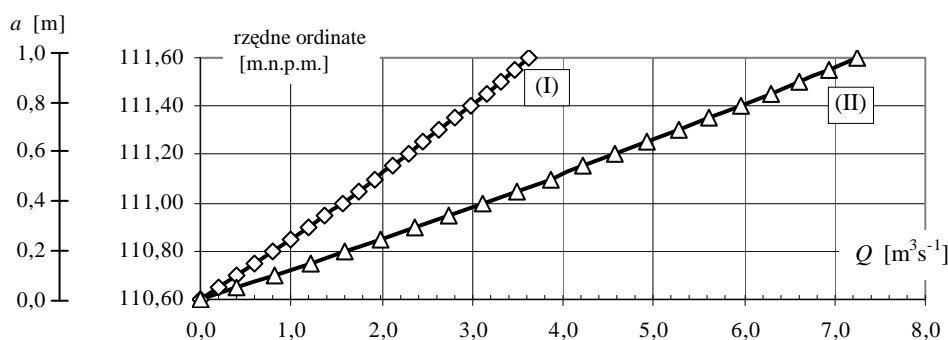
Fig. 5. Average velocity in conduit (a) and volume of flow (b)

Obliczenia wykonano, rozpatrując napełnienia przewodów h/d w zakresie od 0 do 0,5. Przyjęto wartość współczynnika szorstkości dla rur betonowych ($n = 0,013 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$) i założono wypływ niezatopiony. Wyniki obliczeń wykazały, że napełnienie przewodów podczas przeprowadzania przepływu $Q_{1\%} = 4,67 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ wynosi $h/d = 0,44$, a średnia prędkość $v_{sr} = 4,9 \text{ ms}^{-1}$ i nie przekracza wartości dopuszczalnej dla betonu, wynoszącej $v_{dop} = 5,0 \text{ ms}^{-1}$. Rzeczywisty

wydatek przewodów będzie jednak limitowany głębokościami napełnień koryta za wypadem budowli. Rzędna zwierciadła wody w korycie rzeki bezpośrednio za wypadem (przekrój nr 2) dla przepływu miarodajnego $Q_{1\%} = 4,67 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, odczytana z krzywej nr 2 na rys. 4., wynosi 110,88 m.n.p.m., natomiast rzędna górnej krawędzi wylotu rurociągów spustu jest równa 110,90 m.n.p.m. W tych warunkach wyloty przewodów mogą zostać zatopione, wówczas będą one działać pod ciśnieniem, co jest dopuszczalne w przypadku leżaków małych budowli upustowych, tzn. przy wartościach przepływu miarodajnego $Q_m \leq 15 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ [7].

Wydatek otworów na wlocie do spustu

Wlot do spustu zbiornika wykonano w postaci dwóch otworów o przekroju prostokątnym ($1,0 \times 2,50 \text{ m}$), wyposażonych w zamknięcia zasuwowe podnoszone na maksymalną wysokość $a = 1,00 \text{ m}$ nad progiem o rzędnej 110,60 m.n.p.m. Obliczenia wydatku otworów spustowych wykonano dla warunków utrzymywania NPP w zbiorniku na rzędnej 113,10 m.n.p.m. Rozpatrywano zmienne położenie dolnej krawędzi zamknięć, tzn. od rzędnej progę wlotowego wynoszącej 110,60 m.n.p.m. (otwory wlotowe zamknięte, $a = 0$) do rzędnej 111,60 m.n.p.m. odpowiadającej maksymalnej wysokości podnoszenia zasuw ($a = 1,00 \text{ m}$). Założono wypływ niezatopiony, uwzględniając wartości współczynnika kontrakcji pionowej $\varepsilon = f(a/T)$ [8], gdzie T oznacza wysokość zwierciadła wody nad dnem otworu ($T = NPP - Rz_{prog}$). Wyniki przedstawiono na rys. 6. w postaci krzywych wydatku pojedynczego (I) i dwóch (II) otworów.



Rys. 6. Wydatek jednego (I) i dwóch (II) otworów wlotowych spustu dennego zbiornika

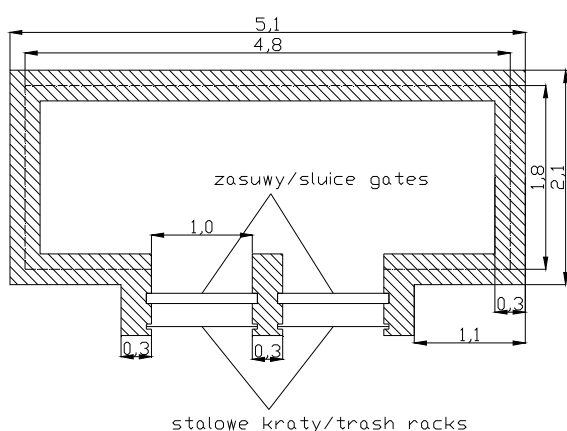
Fig. 6. Flow volume of one (I) and two (II) inlets of the reservoir bottom sluice

Zgodnie z zaleceniami praktycznymi [9] i ze względu na bezpieczeństwo otwory spustu dennego powinny projektować się na 15÷25% przepływu wody stuletniej. Wyniki obliczeń wykazały, że wymiary otworów wlotowych spustu zbiornika w Leżnicy Wielkiej zapewniają wydatek około trzykrotnie większy od zalecanej przepustowości minimalnej. Przy podniesieniu jednej zasuw na mak-

symalną wysokość, tzn. przy $a = 1,00$ m wydatek otworu wynosi $3,63 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, co stanowi 78% przepływu miarodajnego ($Q_{1\%} = 4,67 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$).

Zdolność przepustowa przelewu wieżowego

Budowla upustowa Zalewu Leżnickiego jest przystosowana do przeprowadzenia wielkich wód przez przelew wieżowy o prostokątnym profilu przekroju, wykonany na rzędnej NPP = 113,10 m.n.p.m. Widok wieży w planie wraz z podstawowymi wymiarami przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Przekrój przez wieżę przelewową i podstawowe wymiary [m]

Fig. 7. The overflow tower cross section and basic dimensions [m]

Wykonano obliczenia wydatku przelewu z zastosowaniem wzoru:

$$Q = k_2 m L (2g)^{0,5} H^{1,5} \quad (3)$$

gdzie: H – wzniesienie zwierciadła wody nad koroną przelewu,

L – długość korony przelewu (przyjęto $L = 2(4,80 + 1,80) = 13,20$ m według rys. 7.),

m [k_2] – współczynniki wydatku przelewu,

g – przyspieszenie ziemskie.

W obliczeniach przyjęto założenie, że przepływ będzie się odbywał tylko przez przelew wieżowy, tzn. otwory wlotowe spustu będą zamknięte. Uwzględniono współczynnik m wydatku przelewu z prostokątnym profilem przekroju, obliczany z równania [8]:

$$m = 0,42 \left(0,7 + 0,185 \frac{H}{\delta} \right) \quad (4)$$

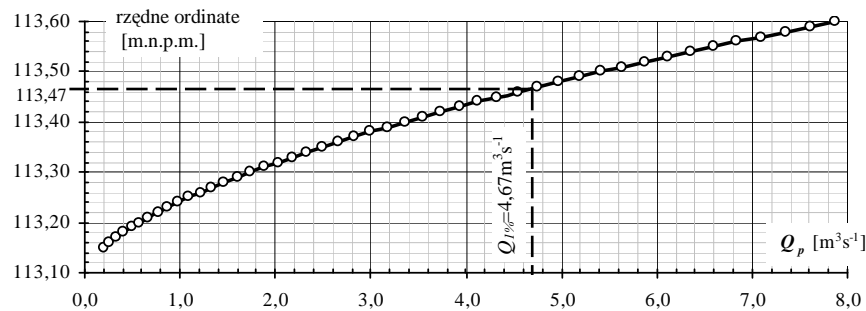
gdzie: H – wysokość ciśnienia na przelewie,

δ – szerokość korony przelewu (w omawianym przypadku wynosząca 0,30 m).

W obliczeniach uwzględniono również współczynnik k_2 dla przelewu upustów wieżowych o planie wieloboku [7], który jest obliczany z równania:

$$k_2 = 1 - \frac{L_s}{L} \quad (5)$$

W równaniu (5) L jest sumą długości boków prostokąta (przyjęto $L = 2(4,80 + 1,80) = 13,20$ m na podstawie wymiarów przekroju wieży w osi przelewu rys. 7.), a L_s oznacza długość straconą na skutek zaburzeń na narożach. Dla przelewu prostokątnego w planie długość stracona L_s jest obliczana ze wzoru $L_s = \overline{B_4}H$ [7], a wartość parametru $\overline{B_4}$ jest uzależniona od kąta α utworzonego pomiędzy poszczególnymi ścianami wieloboku (dla $\alpha = 90^\circ$ $\overline{B_4} = 0,66$). Wyniki obliczeń wydatku przelewu w zależności od rzędnej zwierciadła wody spiętrzzonej przedstawiono w postaci wykresu (rys. 8.).



Rys. 8. Krzywa wydatku przelewu wieżowego

Fig. 8. Discharge curve of the drop inlet spillway

W przypadku zamkniętych otworów wlotowych spustu dennego przepływ miarodajny ($Q_{1\%} = 4,67 \text{ m}^3/\text{s}$) może być przeprowadzony przez przelew wieżowy przy spiętrzeniu zwierciadła wody w Zalewie Leżnickim do rzędnej 113,47 m.n.p.m., tzn. na wysokość $H = 0,37$ m ponad NPP. Rzędna korony zapory wynosi 114,00 m.n.p.m. Przelew zapewnia zatem bezpieczne warunki przejścia wezbrania odpowiadającego wodzie stuletniej.

4. Podsumowanie i wnioski końcowe

Zmodernizowana budowla upustowa umożliwi kontrolę przepływu i położenia zwierciadła wody spiętrzzonej w Zalewie Leżnickim, co zapewnia większą stabilizację stosunków wodnych na terenach sąsiadujących ze zbiornikiem i zmniejsza zagrożenie wystąpienia podtopień. Analiza wyników obliczeń hy-

draulicznych pod kątem oceny funkcjonowania urządzeń upustowych pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

1. Koryto rzeki Gnidzy na odcinku poniżej analizowanej budowli powinno zostać oczyszczone z zarośli i traw na skarpach oraz lokalnych przeszkód i osadów występujących na dnie. Efektem tego byłby wzrost zdolności przepustowej. Wyniki obliczeń wykazały, że w obecnych warunkach po przekroczeniu przepływu o natężeniu objętościowym $Q = 3,22 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ woda wystąpi z koryta i spowoduje zalanie okolicznych terenów.
2. Ograniczona zdolność przepustowa koryta rzeki w dolnym stanowisku budowli wpływa na wydatek urządzeń upustowych. W przypadku wystąpienia wezbrania odpowiadającego przepływowi $Q_{1\%} = 4,67 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ wylot przewodów leżaka może zostać zatopiony.
3. Wymiary otworów wlotowych spustu dennego zapewniają wydatek około trzykrotnie większy od zalecanej minimalnej zdolności przepustowej, wynoszącej 15÷25% przepływu miarodajnego. Przy podniesieniu jednej zasuwy na maksymalną wysokość, tzn. 1,00 m nad progiem, wydatek otworu wynosi $Q = 3,63 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, co stanowi 78% przepływu miarodajnego.
4. Przelew wieżowy nawet w przypadku całkowitego zamknięcia otworów wlotowych spustu zapewnia bezpieczne warunki przejścia wezbrania odpowiadającego wodzie stuletniej.

Literatura

- [1] Wasilewski W., Faflik R.: Projekt budowlano-wykonawczy przebudowy urządzeń wodnych na zbiorniku wodnym w miejscowości Leźnica Wielka. Łódzki Urząd Wojewódzki, Łódź 2009.
- [2] Gąsowska M.: Modernizacja budowli piętrzących i upustowych zbiornika retencyjnego na rzece Gnidzie w Leźnicy Wielkiej. Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska SGGW w Warszawie, Warszawa 2012 (praca niepublikowana).
- [3] Gąsowska M., Urbański J.: Odbudowa zbiornika retencyjnego na rzece Gnidzie. Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska, vol. 22(1), nr 59, 2013, pp. 36-44.
- [4] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 17 sierpnia 2006 r. w sprawie zakresu instrukcji gospodarowania wodą (Dz.U. z 2006 r. Nr 150, poz. 1087).
- [5] Kasprzak K.: Ruch wody – teoretyczne podstawy. IMGW, Warszawa 2003.
- [6] Dąbkowski S.L., Skibiński J., Żbikowski A.: Hydrauliczne podstawy projektów wodnomelioracyjnych. PWRiL, Warszawa 1982.
- [7] Suliga J., Nalepa W., Zamiela H.: Upusty małych zbiorników wodnych. Część I – Upusty wieżowe. Część III – Spusty. Biblioteczka Projektanta, 4/86, Warszawa 1986.
- [8] Kisiel A., Bielecka-Turek D., Kisiel J., Malmur R., Mrowiec M.: Poradnik hydromechanika i hydrotechnika. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2003.
- [9] Prochal P.: Podstawy melioracji rolnych, t. 2. PWRiL, Warszawa 1987.

EWALUATION OF HYDRAULIC CONDITIONS OF THE MODERNIZED STORAGE RESERVOIR IN LEŹNICA WIELKA

S u m m a r y

This paper presents hydraulic calculations concerning functions of spillway reservoir's on the Gnida river in Leźnica Wielka. Inventory works and building construction examination have been executed. Levelling measurements of the riverbed have been carried out as well. Flow capacity calculation of the downstream riverbed has been made and its influence on the bottom sluice capacity of flow has been defined. Volume flow of the drop inlet spillway has been calculated. It has helped to estimate hydraulic condition for flood flow. The modernized spillway reservoir's enables to control water flow and position of the water level in the Leźnicki Reservoir. It guarantees the stabilization of water relations on adjacent areas and reduces flooding risk. The condition of the Gnida riverbed is degraded. It limits the flow capacity and it can be source of flooding.

Keywords: water building's hydraulic characteristic, retention reservoir's sluice, hydraulic of the sluice mechanisms, capacity of flow

DOI:10.7862/rb.2013.55

Przesłano do redakcji: 04.10.2013 r.

Przyjęto do druku: 13.11.2013 r.

Michał JANICKI¹

STĘŻENIA PODSTAWOWYCH ZANIECZYSZCZEŃ W GAZACH SPALINOWYCH POWSTAJĄCE PODCZAS SPALANIA SŁOMY I DREWNA W KOTLE WSADOWYM MAŁEJ MOCY

W kraju najbardziej rozpowszechnione, a tym samym najczęściej stosowane w systemach ciepłowniczych małej mocy, są kotły wsadowe. Wykorzystywane są one najczęściej do celów grzewczych oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej w gospodarstwach domowych zabudowy rozproszonej [1]. Jednostki te charakteryzują się wysoką bezwładnością energetyczną, wpływającą na brak stabilizacji procesu spalania. Ponadto spalanie paliw w kotłach małej mocy odbywa się z zastosowaniem paliw o dużym zróżnicowaniu parametrów technicznych i elementarnych, a aspekt ekonomiczny jest dla gospodarstw domowych coraz częstszym wyznacznikiem formy i jakości spalanego paliwa, niezależnie od kotłów, w których to paliwo ulega termicznemu przekształceniu. Okoliczności te sprzyjają powstawaniu podwyższonych ładunków zanieczyszczeń, zarówno pyłowych, jak i gazowych, wprowadzanych do środowiska. To właśnie rozproszona niska emisja przyczynia się do różnych zagrożeń, w tym coraz częściej odczuwalnego smogu, dlatego niezwykle ważne jest opracowanie niskoemisyjnych i wysoko sprawnych technologii spalania paliw w kotłach małej mocy. W pracy przedstawiono charakterystykę emisyjną kotła Ekopal RM o mocy 30 kW podczas spalania słomy w kostkach oraz drewna kawałkowego. Przedstawiono charakterystykę spalanego paliwa przez wykonanie jej analizy składu fizyko-chemicznego. Podczas testów emisyjnych zastosowano słomę zbożową w kostkach o wymiarach 0,4 x 0,4 x 0,9 m (6 szt./wsad) oraz dębinę w polanach o długości do 0,55 m. Przedstawiono wyniki w postaci szeregów czasowych poziomu stężeń gazowych substancji oraz frakcji pyłowej, mierzonych na czopuchu kotła.

Słowa kluczowe: spalanie biomasy, analiza techniczna i elementarna paliwa, słoma zbożowa, drewno opałowe, układ pomiarowy, stężenie zanieczyszczeń

1. Wprowadzenie

W procesie spalania biomasy w komorach zasypowych na ruszcie stałym emisja zanieczyszczeń jest znacznie wyższa niż w przypadku palenisk innych

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Michał Janicki, Ove Arup & Partners International Ltd Sp. z o.o. Oddział w Polsce, ul. Królewska 16, 00-103 Warszawa, tel. (71) 7196857, e-mail: michal.janicki@arup.com

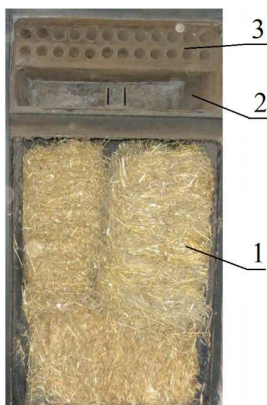
typów [2]. Emisja ta jest największa w momencie narzutu paliwa do komory i w pierwszym etapie procesu spalania, co jest uwarunkowane schładzaniem komory w trakcie załadunku oraz niedostatecznym natlenieniem załadowanego paliwa w jego objętości [3]. W paleniskach ze szczelnym procesem ciągłego zasypu paliwa można znacznie ograniczyć emisję ze względu na podawaną jednorodną grubość biomasy na ruszt. Spowoduje to możliwość całkowitego natlenienia objętości podawanego paliwa, co warunkuje prawidłowy proces pirolizy biomasy [4].

Celem niniejszej pracy jest opracowanie charakterystyki przebiegu spalania słomy i drewna w kotle wsadowym małej mocy z dolnym spalaniem na podstawie przebiegów czasowych stężeń rejestrowanych na wylocie z kotła.

2. Charakterystyka badanego obiektu

Jako jednostkę badawczą wytypowano kocioł wodny, stalowy, Ekopal RM o mocy 30 kW, wyprodukowany przez firmę MetalERG, przystosowany do spalania słomy w kostkach. Możliwe jest również spalanie w kotle drewna kawałkowego, zrębek, trocin, odpadów włókienniczych i innych rodzajów biomasy. Jest to jednostka z dolnym spalaniem w części objętości złoża [5] składająca się z (rys. 1.):

- komory paleniskowej wykonanej ze stali kotłowej oraz płyty żarobetonowej umiejscowionej w dolnej części komory,
- strefy dopalania zlokalizowanej w tylnej części kotła, jest ona częściowo wyłożona elementami ceramicznymi,
- kolektora przelotowego, połączenia przestrzeni dopalania oraz rurowego wymiennika ciepła,
- rurowego wymiennika ciepła zlokalizowanego w górnej części kotła.

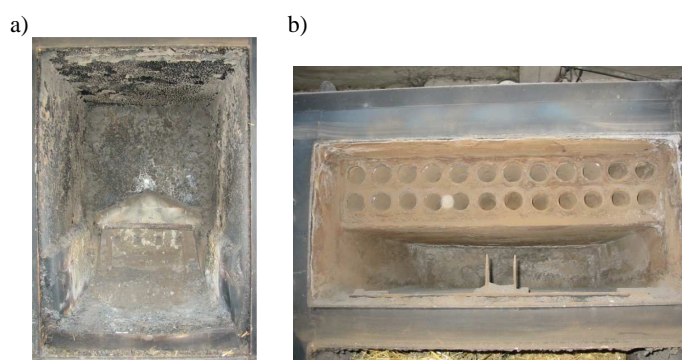


Rys. 1. Widok kotła RM 30: 1 – komora paleniskowa, 2 – kolektor przelotowy, 3 – rurowy poziomy wymiennik ciepła

Fig. 1. RM 30 boiler view: 1 – combustion chamber, 2 – through collector, 3 – horizontal tubular heat exchanger

Do komory paleniskowej (1) są wprowadzane bele słomy o wilgotności 15%, gdzie następuje odgazowanie i spalanie. W kolejnej przestrzeni przy udziałzie

le powietrza wtórnego następuje dopalanie frakcji palnych. Sterowanie pracą kotła następuje za pomocą układu regulacji podawanego powietrza. W tylnej części jednostki znajdują się wentylatory zaopatrzone w falowniki służące do zmiany ilości doprowadzanego powietrza. Powietrze pierwotne jest rozdzielane na: strumień główny podawany przeciwnie w kierunku komory oraz strumienie boczne. Powyżej strefy powietrza pierwotnego znajduje się tzw. strefa „wygrzana”, gdzie strumień powietrza wtórnego jest doprowadzany za pomocą szeregu dysz wprowadzających prostopadle strumień powietrza wtórnego w stosunku do przepływu gazów w kotle. Następnie dopalone gorące gazy są kierowane za pomocą kolektora przelotowego (2) do rurowego poziomego wymiennika ciepła (3), gdzie następuje schłodzenie spalin. Rozpalenie kotła przeprowadza się ręcznie za pomocą króćca znajdującego się w bocznej, dolnej, tylnej części kotła. Przestrzeń kolektora przelotowego i komory paleniskowej jest połączony za pomocą kryzy, która jest otwierana na okres rozpalenia w celu zapewnienia krótkiego obiegu gazów spalinowych w kotle (rys. 2.).



Rys. 2. Widok na komorę spalania (a) oraz wymiennik ciepła (b)

Fig. 2. The combustion chamber (a) and the heat exchanger (b)

Kotły na słomę Ekopal RM pracują tylko w układzie otwartym. Do ich optymalnego wykorzystania w układzie grzewczym konieczne jest zastosowanie zbiornika akumulacji ciepła. Prawidłowa eksploatacja układu zaopatrzenia w ciepło jest determinowana przez właściwie dobraną wielkość zbiornika.

3. Analiza techniczna i elementarna badanego paliwa

W ramach analizy technicznej oznaczono:

- zawartość wilgoci metodą suszarkową polegającą na suszeniu próbki w temperaturze 105-110°C do stałej masy – według PN-80/G-04511,
- zawartość popiołu metodą powolnego spopielenia, polegającą na całkowitym spalaniu i wyprażeniu próbki w piecu ogrzewanym do temperatury 815°C – według PN-80/G-04512,

- zawartość części lotnych metodą polegającą na ogrzewaniu próbki bez dostępu powietrza w ściśle określony sposób w piecu ogrzonym do temperatury 850°C – według PN-81/G-04516,
- ciepło spalania – według PN-ISO 1928:2002,
- wartość opałową – według PN-ISO 1928:2002.

W ramach przeprowadzonej analizy elementarnej w badanym paliwie oznaczono:

- zawartość pierwiastków C, H, N – analizę wykonano w aparacie VarioEl firmy Elementar Analysensysteme GmbH; metoda polega na katalitycznym spalaniu próbki w wysokiej temperaturze (1150°C),
- w gazach wydzielonych w bombie kalorymetrycznej po spalaniu paliwa (po zaabsorbowaniu w roztworach pochłaniających) chlorki i fluorki metodą chromatografii jonowej na chromatografie IC HIC – 6 SHIMADZU.

Otrzymane wyniki zebrano w tab. 1.

Tabela 1. Analiza techniczna i elementarna stosowanego paliwa

Table 1. The technical and elementary analysis of the fuel in use

Parametr	Oznaczenie	Rodzaj badanego paliwa	
		słoma	drewno opałowe
Analiza techniczna			
Zawartość wilgoci	W^a [%]	8,09	7,42
Zawartość popiołu	A^a [%]	5,74	0,71
	A^d [%]	2,24	0,77
Zawartość części lotnych	V^a [%]	67,79	76,84
	V^{daf} [%]	78,67	83,64
Ciepło spalania	Q_s^a [kJ/kg]	17,000	18,139
Wartość opałowa	Q_i^a [kJ/kg]	15,567	16,742
Analiza elementarna			
Zawartość węgla	C^a [%]	42,43	40,52
	C^{daf} [%]	49,24	44,57
Zawartość wodoru	H^a [%]	5,66	5,22
	H^{daf} [%]	6,57	5,74
Zawartość azotu	N^a [%]	0,898	0,51
	N^{daf} [%]	1,042	0,56
Zawartość siarki całkowitej	S^a [%]	0,05	0,08
	S^d [%]	0,06	0,09
Zawartość chlorków	Cl^- [%]	0,029	0,021
Zawartość fluorków	F^- [%]	0,00004	0,0007

4. Metodyka badań

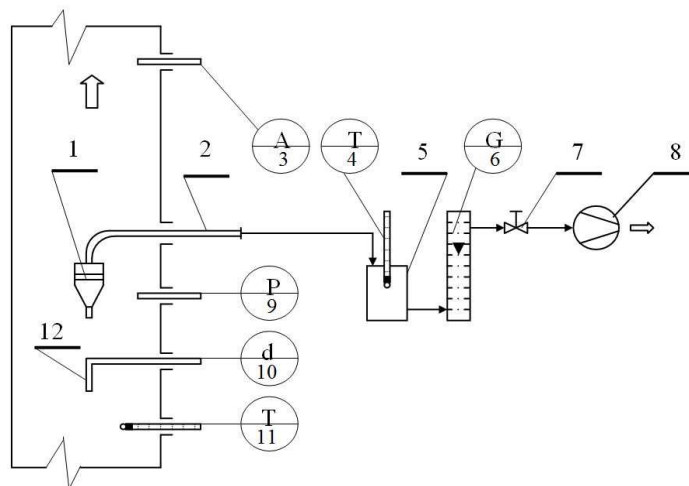
Pomiar stężenia pyłu

Układ do pomiaru stężeń pyłu zastosowany w pomiarach został zbudowany zgodnie z PN-Z-04030-7:1994. Składał się on z sondy pyłowej (rys. 3.) oraz pompki i rotametu (manometru).



Rys. 3. Widok sondy aspiracyjnej (pyłowej)

Fig. 3. The dust aspiration tube view



Rys. 4. Schemat układu do pomiarów unosu i/lub emisji pyłu: 1 – separator pyłu, 2 – sonda aspiracyjna, 3 – analizator gazu, 4 – pomiar temperatury gazu w wykraplaczu, 5 – wykrapacz, 6 – pomiar częściowego strumienia gazu, 7 – zawór regulacyjny, 8 – pompa, 9 – pomiar ciśnienia statycznego, 10 – pomiar ciśnienia dynamicznego, 11 – pomiar temperatury gazu w kanale, 12 – rurka spiętrzająca

Fig. 4. Layout diagram for measuring float and/or emission of dust: 1 – dust separator, 2 – sampling line, 3 – gas analyzer, 4 – measurement of gas temperature in condenser, 5 – condenser, 6 – measurement of gas partial flow, 7 – control valve, 8 – pump, 9 – static pressure measurement, 10 – dynamic pressure measurement, 11 – temperature measurement, 12 – impact tube

Na rysunku 4. przedstawiono schemat układu do pomiarów unosu i/lub emisji pyłu z procesu spalania, przy czym:

- 1) pomiar stężenia pyłu jest wykonywany metodą filtracji wewnętrznej z zachowaniem izokinetyczności poboru próbki,
- 2) stopień zwilżenia gazu jest mierzony metodą kondensacyjną,
- 3) pomiar częściowego strumienia gazu jest wykonywany rotametrem,
- 4) pomiar głównego strumienia gazu jest wykonywany rurką spiętrzącą z mikromanometrem.

Pomiar stężeń zanieczyszczeń gazowych

Układ do pomiaru stężeń zanieczyszczeń powietrza zastosowany w ramach prowadzonych badań został oparty na:

- analizatorze HORIBA PG-250,
- analizatorze MEXA-554GE.

Układ z zastosowaniem analizatora PG-250 składał się z: rurki probierczej, gorącej linii, kondycjonera gazów, analizatora PG-250, rejestratora (PC). Metody oznaczania poszczególnych kontaminantów analizatorem PG-250 zestawiono w tab. 2.

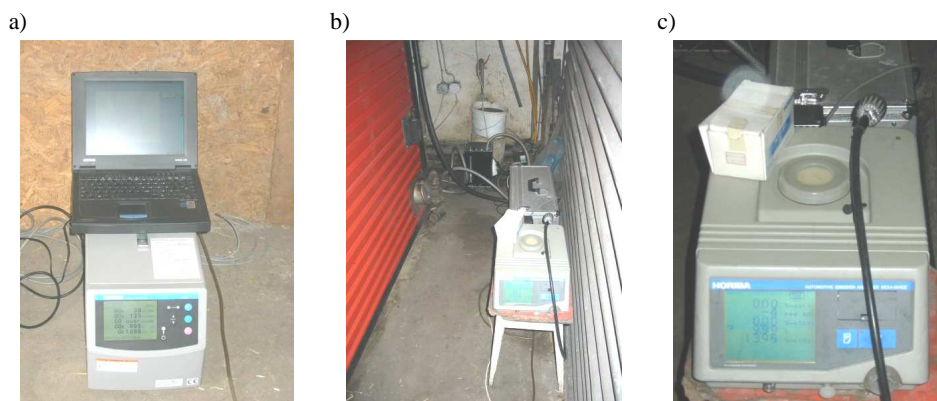
Tabela 2. Metody oznaczania poszczególnych związków automatycznym analizatorem PG-250

Table 2. Methods for the determination of individual compounds by PG-250 automatic Analyzer

Wielkość mierzona	Metoda oznaczania	Procedura badawcza
NO _x	chemiluminescencja	PN-EN 14792:2006
SO ₂	podczerwień	PN-ISO 10396:2001
CO	podczerwień	
CO ₂	podczerwień	
O ₂	paramagnetyczna	PN-EN 14789:2006

Układ z zastosowaniem analizatora pracującego w podczerwieni typu NDIR MEXA-554GE składał się z: rurki probierczej i przewodu doprowadzającego gazy do analizatora, analizatora wraz z rejestratorem. Wielkości mierzone za pomocą analizatora to stężenia CO oraz sumy węglowodorów. Widok obydwu analizatorów przedstawiono na rys. 5.

Zastosowanie analizatora MEXA-554GE do pomiaru stężeń zanieczyszczeń w gazie miało charakter pomocniczy. Mierzono nim stężenia CO wykraczające poza zakres pomiarowy analizatora podstawowego (HORIBA PG-250) oraz stężenia sumy węglowodorów w chwilach niepełnego dopalania produktów zgazowania w kotłach.



Rys. 5. Widok analizatorów automatycznych użytych w badaniach: a) analizator HORIBA PG-250 wraz z rejestratorem PC, b, c) analizator MEXA-554GE w układzie pomiarowym

Fig. 5. View the automatic analyzers view applied in researches: a) HORIBA PG-250 analyzer with PC recorder, b, c) MEXA 554GE analyzer measuring system

5. Wyniki i dyskusja

Po zakończeniu aspiracyjnego poboru pyłu na sączki próby osuszono, a następnie poddano analizie wagowej. Rejestrując przepływ spalin w czopuchu, przeliczono stężenie pyłu na umowne m^3 . Wyniki pomiarów zapylenia oraz temperatury gazów dla cykli pomiarowych zestawiono w tab. 3.

Tabela 3. Wyniki pomiarów zapylenia i temperatury spalin za kotłem

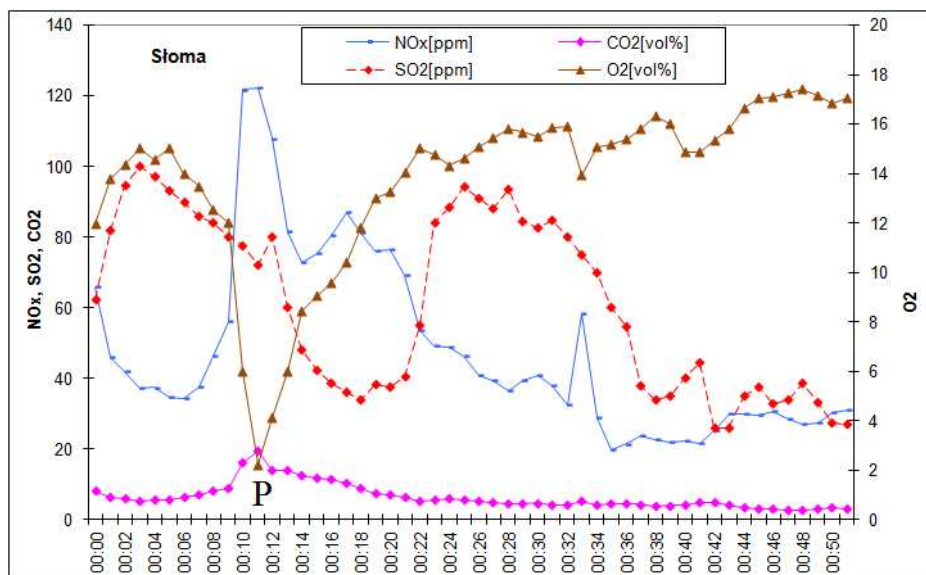
Table 3. Results of dust and temperature measurements in fumes

Rodzaj spalanego paliwa	Stężenie pyłu [mg/um^3]	Temperatura [$^{\circ}\text{C}$]
Słoma	109,3	243,5
Drewno	48,0	286,0

Obserwuje się znaczącą różnicę w stężeniu pyłu, która jest wynikiem różnicy charakterystyk w zawartości popiołów lotnych pochodzących z paliwa. W wyniku przeprowadzonych pomiarów spalania słomy i drewna otrzymano szeregi czasowe stężeń poszczególnych zanieczyszczeń, które przedstawiono na rys. 6. i 7.

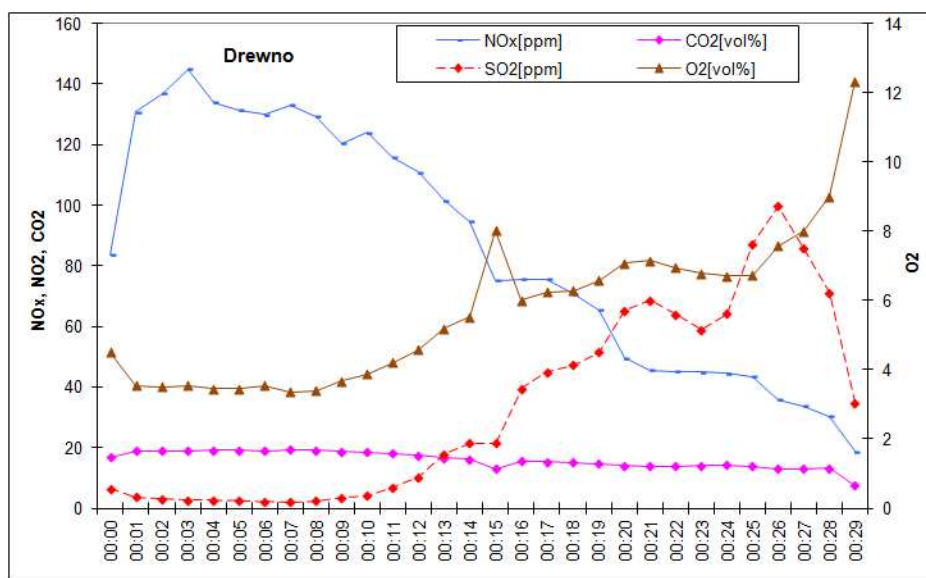
Sprawność kotła wyznaczono metodą pośrednią na podstawie określenia sumy strat [2], która wynosiła dla testu spalania słomy 63%, dla testu spalania drewna opalowego – 58%.

Ze względu na zastosowanie w kotłach strefy dopalania gazów oczekiwano niższego poziomu stężeń CO. Skala pomiarowa analizatora HORIBA PG-250, którego górna granica detekcji wynosi 6000,0 ppm CO, nie obejmowała całego



Rys. 6. Stężenia substancji w spalinach z procesu spalania słomy w funkcji czasu, *P* – punkt charakteryzujący zjawisko przewалу słomy wewnątrz komory spalania

Fig. 6. Substances concentration in the exhausts during straw combustion process in time function, *P* – characteristic point of straw fall inside the combustion chamber



Rys. 7. Stężenia substancji w spalinach z procesu spalania drewna opałowego w funkcji czasu

Fig. 7. Substances concentration in the exhausts during firewood combustion process in time function

przebiegu stężeń kontaminantu. W momentach przekroczenia wartości granicznej posiłkowano się analizatorem MEXA-554GE rejestrującym chwilowe odczyty. Jednak wyniki te nie dają całkowitego poglądu na przebieg utleniania CO do CO₂ w komorze dopalania. Dynamika zmienności stężeń CO w spalinach oraz ich amplituda (najwyższe obserwowane stężenie chwilowe to 25000 ppm CO) świadczą o trudnościach w ustabilizowaniu pracy kotła, a także sterowaniu procesem spalania. Średnie stężenie, wyodrębnione z okresu charakterystycznego dla procesu spalania, eliminując epizody zaburzające (rozpalanie, przewał, przyducha, wygaszanie itd.), rejestrowano na poziomie 4500 ppm CO przy stężeniu tlenu powyżej 13%.

6. Podsumowanie

Powszechnie spotykane kotły wsadowe charakteryzują się skromnym układem sterowania procesem spalania. Zasadniczym elementem podlegającym regulacji jest strumień doprowadzania powietrza, czyli regulacja obrotów pracy wentylatora nadmuchowego w zależności od cyklu i fazy pracy kotła. Często kotły wsadowe pracują ze stałą wydajnością wentylatora niezależnie od masy paliwa w komorze. Obserwuje się więc rosnący trend przebiegu stężenia tlenu w czasie spalania wsadu paliwa.

Charakterystyką tego typu jednostek jest cykliczna praca spalania pojedynczego wsadu materiału palnego w czasie. Aby optymalnie wykorzystać ciepło pochodzące z kotła wsadowego, stosuje się bufor ciepła, który stanowią zbiorniki akumulacyjne. Z jednej strony efektywnie odbierają ciepło, które wynika z możliwości cieplnych jednostki zasilającej, dostosowania dystrybucji i przekazania do układów w czasie jego rozbioru, z drugiej tworzą zabezpieczenie eksploatacyjne, uniemożliwiające wychłodzenie kotła i nadmierne rosenie wynikające ze spalania wilgotnego wsadu. Jest to aspekt zabezpieczenia układu przez nadmierną korozją, ale również ograniczenia emisji szkodliwych substancji do powietrza atmosferycznego.

Podczas testów w cyklach zaobserwowano spadkową tendencję poziomu stężenia NO_x w czasie, czemu towarzyszy zmniejszanie natężenia procesu zgazowania biomasy. W tym okresie stopniowo zmniejsza się ilość paliwa w komorze, zwiększa się zaś ilość tlenu nadmiarowego, a przy tym zaobserwowano spadek temperatury w komorze. Te dwa czynniki mają przeciwstawny wpływ na tworzenie się NO_x. Z tego wynika, że spadek temperatury ma większy wpływ na obniżanie stężenia NO_x w komorze niż wzrost ilości tlenu. Również ze względu na temperaturę, w jakiej jest przeprowadzany proces spalania (w badanym kotle ok. 600÷700°C), autor jest skłonny stwierdzić, że tlenki azotu pochodzą z zawartości azotu w paliwie (tzw. tlenki azotu pochodzenia paliwowego); nie są to tlenki azotu pochodzenia termicznego.

Proces spalania słomy nie jest procesem równomiernym i ma charakter stopniowy. W trakcie wypalenia materiału w dolnej części kotła następuje osu-

nięcie materiału wyżej zgromadzonego, co przyczynia się do wystąpienia chwilowego zjawiska niedoboru tlenu, często nazywanego „przyduchą”. Przykładem omawianego zjawiska jest wystąpienie przewału słomy wewnątrz komory, zarejestrowanego i przedstawionego na rys. 6. Chwilowy niedobór tlenu i zaburzenie strugi płomienia wywołuje chwilowy wzrost stężenia niedopalonych produktów w gazach spalinowych.

Proces dopalania produktów niepełnego spalania jest złożony, lecz ze względu na niezadowalające utlenienie CO wymaga rozwiązania. Kotły małej mocy mają konstrukcję zwartą, dlatego utrudnieniem jest wygospodarowanie dodatkowej przestrzeni spełniającej rolę komory dopalania. Z tego powodu tego typu jednostki są trudne do projektowania i optymalizacji procesu spalania w aspekcie ograniczenia emisji zanieczyszczeń do powietrza. Należy rozważyć również modyfikację systemu dozowania powietrza wtórnego, polegającą na zastosowaniu wydłużonej drogi lub wprowadzaniu powietrza trzeciego stopnia.

Literatura

- [1] Janicki M., Lech-Brzyk K.: Biomass combustion in low-power boilers on example of KD type boiler. *Alternative Plants For Sustainable Agriculture*, Institute of Plant Genetics, Polish Academy of Sciences, Poznań 2006, pp. 195-201.
- [2] Kruczek S.: *Kotły. Konstrukcje i obliczenia*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001.
- [3] Kordylewski W.: *Niskoemisyjne techniki spalania w energetyce*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000.
- [4] Ślęzko M., Zieliński H.: *Termochemiczne przetwórstwo węgla i biomasy*. Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Zabrze-Kraków 2003.
- [5] Stelmach S., Pikoń K. i in.: *Współczesne problemy energetyki*. Wydaw. Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, Gliwice 2013.

Wykonano w ramach realizacji projektu nr 14-0016-10 finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

THE PRIMARY CONCENTRATION OF POLLUTANTS IN THE EXHAUST GASES RESULTING FROM COMBUSTION OF STRAW AND WOOD IN LOW-POWER BATCH BOILER

Summary

The most prevalent in the country and thus most commonly used in thermal low power systems are batch boilers. They are most commonly used for heating and for the preparation of domestic hot water in the households of the distributed development. These units are characterized by a high energy inertia affecting the stability of the combustion process. In addition, the combus-

tion of fuels in low power boilers is using fuels with high diversification of technical and elementary parameters, and the economic aspect is to households getting frequent determinant of form and quality of burned fuel, regardless of the boilers in which fuel is converted into heat. These circumstances are conducive to the formation of elevated pollutant loads, as well as dust and gas, entering the environment. This is how the low dispersed emission contributes to a variety of risks, including, increasingly, the appreciable nature of the smog, which is why it is extremely important to the develop low-emission and highly efficient technology of fuels combustion in low power boilers.

This article presents the emission characteristic of Ekopal RM boiler with a capacity of 30 kW during combustion of pressed straw and wood pieces. The characteristic of the combustion fuel is shown by the analysis of the chemical and physical composition. Emission tests were used with pressed cereal straw with dimensions 0,4 x 0,4 x 0,9 m (six batch) and oak stocks with a length of 0,55 m. The results are presented in the form of the time series of concentration of gas substances and silt fraction levels measured on the flue and have been discussed.

Keywords: biomass combustion, technical and elemental analysis of fuel, grain straw, firewood, measuring system, concentration of pollutants

DOI:10.7862/rb.2013.56

Przesłano do redakcji: 10.10.2013 r.

Przyjęto do druku: 13.11.2013 r.

Galina KALDA¹

PERSPEKTYWY ROZWOJU ENERGETYKI WIATROWEJ W POLSCE DO 2020 ROKU

W pracy przedstawiono aktualne programy i projekty budowy elektrowni wiatrowych w Polsce, sposoby wspierania i finansowania budowy tych elektrowni, możliwości wykorzystania energii wiatru w celu zmniejszenia wartości energii elektrycznej i polepszenia stanu ekologicznego Polski.

Całkowita moc elektrowni wiatrowych rocznie wzrasta o 40%, przy czym można odnotować jej spadek do 2015 roku z powodu utrudnień związanych ze zbyt wolnym rozwojem sieci i przyłączeniem większych firm wiatrowych. Sektor energetyki wiatrowej jest przygotowany do realizacji inwestycji na dużą skalę. Posiada w tym celu nie tylko pokaźne zdolności realizacyjne w Polsce, ale także duży pakiet dobrze rozwiniętych i zaawansowanych projektów inwestycyjnych w postaci dużych firm z planami wykorzystania coraz bardziej wydajnych elektrowni wiatrowych. Są one równomiernie rozwijane na całym obszarze kraju, we wszystkich województwach, dzięki czemu są znaczącym zasobem do stosunkowo szybkiego uruchomienia. Zapewni to wkład w realizację w Polsce ogólnego celu dyrektywy 2009/28/WE na 2020 rok i dwuletnich celów pośrednich. W ramach działania programu „Wytwarzanie energii ze źródeł odnawialnych” możliwe jest otrzymanie wsparcia dla projektów dotyczących budowy albo zwiększenia mocy elektrowni wiatrowych. W ramach realizowanych projektów wsparcie będzie obejmować przyłącza jednostek wytwarzania energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych do najbliższej istniejącej sieci. Przedsiębiorca, chcąc zainwestować w energię wiatrową, może również liczyć na dodatkowe formy wsparcia, np. Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Możliwości rozwoju energetyki wiatrowej w Polsce są bardzo obiecujące, na co wskazują wyniki badań uzyskane na podstawie wieloletnich obserwacji kierunków i prędkości wiatru prowadzonych w profesjonalnym meteorologicznym Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej.

Słowa kluczowe: energetyka wiatrowa, sposoby finansowania, rozwój

1. Wprowadzenie

Małe elektrownie wiatrowe o niewielkich mocach rzędu 1÷10 kW w miastach (zazwyczaj z wirnikami o osi pionowej) i do 100 kW na obszarach wiej-

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Galina Kalda, Politechnika Rzeszowska, 35-084 Rzeszów, ul. Poznańska 2, tel. (17) 8651068, e-mail: kaldagal@prz.edu.pl

skich (zazwyczaj z tradycyjnymi wirnikami o osi poziomej) będą używane przez indywidualnych konsumentów energii. Wpisuje się to w koncepcję rozwoju tzw. inteligentnych sieci, jednak ich konkurencyjność i rozwój będą uwarunkowane przyjętym modelem rozwoju sieci i rynku energii elektrycznej ze względu na wyższe koszty jednostkowe oraz niższe wskaźniki czasu wykorzystania niż w przypadku farm wiatrowych.

2. Aktualne programy i projekty budowy elektrowni wiatrowych

Całkowita moc elektrowni wiatrowych rocznie wzrasta o 40%, przy czym będzie można zauważyć spadek do 2015 roku, który może być związany ze zbyt powolnym rozwojem sieci i niemożliwością przyłączania większych farm wiatrowych. W 2020 roku łączna moc elektrowni wiatrowych wyniesie ok. 13 GW (farmy lądowe – 10,9 GW, farmy morskie – 1,5 GW (pierwsza farma zostanie oddana do użytku w 2017 roku), małe elektrownie wiatrowe – 0,6 GW). Realizacja zaproponowanego scenariusza będzie uzależniona od systemu wsparcia dla energetyki wiatrowej, tempa rozwoju systemu elektroenergetycznego, zaangażowania samorządów terytorialnych oraz mobilizacji inwestorów. Warto przestudiować skalę i tempo realizowanych inwestycji, które mogłyby umożliwić pełną i efektywną realizację przyjętego scenariusza i tym samym pozwolić na uzyskanie znaczącego wkładu w osiągnięcie do 2020 roku celu dla Polski w postaci 15% udziału odnawialnych źródeł energii (OZE) w bilansie zużycia energii. Przewiduje się, że do 2013 roku będzie kontynuowane obecne tempo rozwoju i przyrostu mocy zainstalowanych w energetyce wiatrowej poprzez wykorzystanie dostępnych dla inwestorów instrumentów wsparcia, w tym też funduszy spójności (POiŚ) i funduszy strukturalnych (RPO) UE na lata 2000-2013. Stopniowo wyczerpywane będą istniejące możliwości przyłączania elektrowni wiatrowych do sieci. Program modernizacji i rozbudowy infrastruktury sieci, nawet jeśli początkowo jest wdrażany tylko częściowo i z opóźnieniem w stosunku do potrzeb, z czasem rozwiąże narastający od paru lat problem nowych przyłączeń. Szansą na poprawę sytuacji są wyczekiwane ułatwienia prawne w realizacji tzw. inwestycji liniowych i publiczne źródła współfinansowania. Ze względu na małą skalę dostępnych środków nie spełnią one znaczącej roli w tym okresie. Większe znaczenie mogą mieć fundusze pochodzące z tzw. Green Investment Scheme (GIS), w ramach którego będą rozdysponowane środki ze sprzedaży przez Polskę jednostek AAU (nadwyżek przyznanej w ramach protokołu z Kioto puli emisji CO₂ na lata 2008-2012). Energetyka wiatrowa jako jedna z najbardziej atrakcyjnych (spośród OZE) pod względem kosztów technologii redukcji emisji CO₂ w systemie ponownego inwestowania przychodów z obecnych nadwyżek redukcji będzie źródłem GIS także w kolejnych latach. Całkowita suma dostępna w ramach tego funduszu do 2012 roku, może wynieść 500 mln zł. Pieniądze trafią na rachunek klimatyczny, który obsługuje Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚ i GW). Zgodnie z założeniami ministra

środowiska ze środków tych będą finansowane inwestycje służące ochronie klimatu, m.in. zostanie uruchomiony program modernizacji sieci energetycznych pod kątem przyłączenia elektrowni wiatrowych. Kolejne środki finansowe mogące przyczynić się do rozwoju infrastruktury przyłączeniowej może zapewnić pozostający w gestii NFOŚ i GW fundusz, na który składają się środki z opłat zastępczych wpłacanych przez przedsiębiorstwa, które w danym roku nie zakupiły odpowiedniej liczby świadectw pochodzenia. Zgodnie z intencją ustawodawcy pieniądze powinny być wykorzystane na bezpośrednie wsparcie rozwoju OZE. Istnieją zatem możliwości przeznaczenia ich na cele rozwoju sieci elektroenergetycznych służących OZE, a takie rozwiązanie jest promowane przez wiele środowisk związanych z energetyką odnawialną w Polsce jako optymalne. Największą, jeżeli chodzi o potencjalnie dostępne kwoty, możliwością finansowania, która jednak pojawi się dopiero po 2015 roku, są fundusze UE (w szczególności strukturalne) na lata 2014-2020. Mogą one mieć bardzo ważne znaczenie w przypadku wpisania inwestycji w infrastrukturę elektroenergetyczną na listę tzw. projektów indykatywnych (realizowanych w sposób skoordynowany projektów o ogromnym znaczeniu dla gospodarki). Jest to jeden z niezwykle ważnych instrumentów wsparcia energetyki odnawialnej będący jednocześnie wnioskiem z przeprowadzonych symulacji.

Procesy rozwoju sieci przebiegają stosunkowo powoli, można się więc spodziewać, że w latach 2013-2015 mimo uruchomienia opisanych instrumentów tempo rozwoju sektora zostanie nieco spowolnione przez obecnie najślabsze ogniwo procesu inwestycyjnego w energetyce wiatrowej, jakim jest zdolność przyłączeniowa. Jeżeli procesy modernizacyjne infrastruktury sieciowej będą realizowane konsekwentnie, tj. zgodnie z zastosowaniem wskazanych źródeł finansowania, należy ponownie oczekiwać znacznie szybszych przyrostów mocy (od 2016 roku). Założenie takie zostało uwzględnione w analizowanym scenariuszu rozwoju energetyki wiatrowej. Sektor energetyki wiatrowej jest przygotowany do realizacji inwestycji na dużą skalę. Posiada w tym celu nie tylko zdolności realizacyjne w Polsce, ale także duży pakiet dobrze rozwiniętych i zaawansowanych projektów inwestycyjnych w postaci dużych farm z planami wykorzystania coraz bardziej wydajnych typów elektrowni wiatrowych. Są one rozwijane coraz bardziej równomiernie na całym obszarze kraju, we wszystkich województwach, przez co są znaczącym zasobem do stosunkowo szybkiego uruchomienia. Zapewni to wkład w realizację w Polsce ogólnego celu dyrektywy 2009/28/WE do 2020 roku i dwuletnich celów pośrednich. W efekcie dalszego rozwoju i komercjalizacji małych elektrowni wiatrowych oraz przejściowych, ale niezwykle ważnych utrudnień związanych z przyłączaniem większych jednostek do sieci elektroenergetycznej, a także wskutek stopniowego pojawiania się pojazdów elektrycznych (wszystkie koncerny samochodowe planują wprowadzenie na rynek samochodów elektrycznych typu plug in najpóźniej do 2013 r.) wzrośnie zapotrzebowanie na małe elektrownie wiatrowe o mocy poniżej 100 kW, które będą budowane zarówno na terenach wiejskich, jak i w mia-

stach. Moc wyprodukowana tym sposobem w małych elektrowniach wiatrowych w latach 2011-2020 nie będzie jednak duża. Skala inwestycji realizowanych w latach 2012-2020 nie przekroczy 5÷50 MW w ciągu roku, ale jej rozwojowi już w najbliższych latach będą sprzyjać konkursy na dotacje na pakiety takich inwestycji w poszczególnych gminach, które są już ogłaszane (na tzw. pakiety małych projektów grupowych do realizacji przez gminy w sektorze OZE) w ramach RPO i Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW). Trochę później, ale ze znacznie większym udziałem na rynku energetyki wiatrowej, pojawią się morskie farmy wiatrowe. Przewiduje się, że pierwsza z nich zostanie przyłączona do sieci w 2018 roku, a w 2020 w Polsce 1,5 GW mocy będzie pochodzić z elektrowni wiatrowych zainstalowanych na Bałtyku. Dalszy rozwój morskich farm wiatrowych będzie również powiązany z rozwojem połączeń międzysystemowych (głównie z Niemcami i Litwą), a także koncepcji bilansowania mocy z farm wiatrowych na Bałtyku i na Morzu Północnym w szerszym układzie europejskim. Brak znaczącego rozwoju morskich farm wiatrowych w Polsce w porównaniu z ambitnymi planami dla tego typu energetyki wiatrowej w innych krajach (tylko do 2020 r. na Bałtyku i Morzu Północnym planuje się mocę rzędu 40÷50 GW – szacunek oparty na wynikach raportu projektu UE „Offshore Grid”) wraz z rozwojem połączeń międzysystemowych spowoduje kłopoty z niezbilansowaną mocą wiatrową przychodzącą do Polski z innych krajów. Energetyka wiatrowa morska stwarza też bardzo dobrą okazję do pozyskania środków z UE na ochronę klimatu, innowacje i sieci jako priorytety nowej strategii UE 2020 i realizacji wspólnych projektów między państwami–członkowskimi UE w myśl art. 7 dyrektywy 2009/28/WE o promocji stosowania odnawialnych źródeł energii. Współpracą z Polską w tym zakresie powinny być szczególnie zainteresowane państwa rejonu Morza Bałtyckiego.

Ze względu na dość późne rozpoczęcie w Polsce inwestowania w energetykę wiatrową do 2020 roku nie będzie zauważalnego procesu wymiany starszych elektrowni wiatrowych na urządzenia nowsze. Dopiero po 2020 roku proces ten przyczyni się do podniesienia współczynników produktywności i wywoła dodatkowe zapotrzebowanie na inwestycje odtworzeniowe i budowlano-montażowe (zwiększanie mocy przyłączonej do sieci w danym punkcie). W tabeli 1. skonfrontowano udziały procentowe energetyki wiatrowej w różnych bilansach energetycznych do 2030 roku, co dobrze odzwierciedla rolę energetyki wiatrowej [1].

Aby możliwe było przekroczenie po 2020 roku udziału energetyki wiatrowej w wykorzystaniu energii elektrycznej powyżej 30÷35%, będą potrzebne dodatkowe działania rządu i operatorów na rzecz nie tylko powiększenia możliwości przyłączeń do sieci, ale również stabilizacji pracy sieci energetycznej, systemów magazynowania, rozwoju transportu elektrycznego z magazynowaniem energii w akumulatorach elektrochemicznych, a także odpowiedniego modelu

Tabela 1. Udział energetyki wiatrowej w bilansach energetycznych w Polsce do 2030 roku [%] w odniesieniu do wyników uzyskanych w symulacjach sektora energetycznego, wykonanych na użytek niniejszego raportu, na podstawie [1]

Table 1. Participation of wind power in the balance of power in Poland by 2030 [%] in relation to the results obtained in the simulations of the energy sector made for the purposes of this report, based on [1]

Udział energetyki wiatrowej [%]	2010 rok	2015 rok	2020 rok	2030 rok
Zużycie zielonej energii elektrycznej	15,5	41,7	62,3	61,9
Zużycie zielonej energii ogółem	2,0	7,6	14,5	22,0
Zużycie energii elektrycznej ogółem	1,2	6,6	16,5	28,8
Zużycie energii finalnej brutto	0,3	1,5	3,8	6,9
Zużycie zainstalowanej mocy elektrycznej	2,2	10,6	23,2	36,2

rynku i taryfowania. Po 2020 roku proces wymiany pierwszych elektrowni wiatrowych na nowoczesne, bardziej sprawne podwyższy współczynniki produktywności oraz może wywołać zwiększanie mocy przyłączonej do istniejącej sieci i potrzeb odbioru energii w danym miejscu [1].

3. Sposoby wspierania i finansowania budowy elektrowni wiatrowych

Zainteresowanie odnawialnymi źródłami energii w Polsce jest coraz większe, co jest związane ze wzrostem świadomości społeczeństwa. Skłania to inwestorów do realizowania projektów związanych z OZE, a zwłaszcza projektów z zakresu energetyki wiatrowej. Z analiz wynika, że wyprodukowanie 1 MWh energii elektrycznej w siłowni wiatrowej przyczynia się do zmniejszenia poziomu rocznej emisji CO₂ o ok. 700 ton. Nowe inwestycje przyczyniają się także do redukcji bardziej toksycznych gazów produkowanych podczas procesu spalania paliw konwencjonalnych. Mimo to wielu ekologów stara się przekonać społeczeństwo, że farmy wiatrowe są szkodliwe dla ekosystemu, w którym się znajdują, np. elektrownie wiatrowe szpecą krajobraz, stanowią zagrożenie dla ptaków oraz emitują duży hałas. Niezaprzeczalne są jednak liczne korzyści wynikające z inwestycji w energetykę wiatrową. Jak wskazują badania czasów występowania i prędkości wiatru przeprowadzane przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej od 1976 roku, w Polsce znajdują się obszary o bardzo korzystnych warunkach dla energetyki wiatrowej. Szacuje się, że dobre warunki dla rozwoju elektrowni wiatrowych występują na 40% powierzchni kraju. Mimo wielu napotykanymi trudności warto jest inwestować w rozwój farm wiatrowych, gdyż są one nie tylko źródłem czystej energii i bardzo łatwe w eksploatacji, ale również dają wysoką stopę zwrotu tych inwestycji. Jak wynika z danych Urzędu Regulacji Energetyki, w Polsce do sieci jest przyłączonych 253 elektrownie wiatrowe o łącznej mocy zainstalowanej 459 MW. Mimo że na tle

wiodących państw europejskich, takich jak Dania albo Niemcy, nie są to wartości robiące wrażenie, rynek polski staje się coraz bardziej atrakcyjny zarówno dla krajowych, jak i zagranicznych inwestorów. W najbliższych latach jest więc spodziewany znaczny przyrost nowych inwestycji, co będzie efektem m.in. wsparcia projektów energetyki wiatrowej ze środków Funduszu Spójności w ramach Osi Priorytetowej oraz zapowiedzianych zmian w prawie energetycznym, mającym ułatwić inwestorom dostęp do sieci. Budowa elektrowni wiatrowych może przynieść wiele korzyści, np. w postaci tzw. „zielonej energii”. Do zalet siłowni wiatrowych należy jeszcze możliwość sprzedaży wyprodukowanej energii na rynku i uzyskanie dodatkowych funduszy ze sprzedaży świadectw pochodzenia. W najbliższym czasie będzie możliwe uzyskanie dodatkowych przychodów dla farm wiatrowych w związku z wprowadzaniem procedury „Joint Implementation”, zapisanej w protokole z Kyoto. Wszystkie te działania mają wspomóc przedsięwzięcia związane z redukcją emisji dwutlenku węgla do atmosfery. Procedura wdrażania „Joint Implementation” będzie obowiązywać na podstawie specjalnej ustawy o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych oraz innych substancji. Elektrownie wiatrowe stanowiące odnawialne źródła energii przyczyniają się bezpośrednio do zmniejszania emisji CO₂. W związku z tym na mocy ustawy będzie istniała możliwość przyznawania jednostek redukcji emisji będących częścią systemu handlu emisjami pomiędzy poszczególnymi podmiotami. Obecny okras programowania na lata 2007-2013 daje wiele możliwości finansowania projektów energetycznych z zakresu energetyki wiatrowej. Już wielu przedsiębiorców skorzystało z dostępnej pomocy finansowej.

Możliwości programu krajowego

Unia Europejska środki przeznaczone na działania związane z energią odnawialną pozyskaną z wiatru ułokowała w programie „Wytwarzanie energii ze źródeł odnawialnych”. Środki te wynoszą ok. 182 mln euro, co stanowi ok. 40% wszystkich środków przeznaczonych na działania objęte programem. W ramach programu „Wytwarzanie energii ze źródeł odnawialnych” możliwe jest otrzymanie wsparcia dla projektów dotyczących budowy albo zwiększenia mocy elektrowni wiatrowych. Warto nadmienić, że w ramach realizowanych projektów wsparcie będzie obejmować przyłącza jednostek wytwarzania energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych do najbliższej istniejącej sieci. Beneficjentami składanych projektów mogą zostać przedsiębiorcy, jednostki samorządu terytorialnego oraz ich grupy, podmioty świadczące usługi publiczne oraz kościoły, kościelne osoby prawne i ich stowarzyszenia oraz inne związki wyznaniowe. W przypadku inwestycji w budowę albo rozbudowę elektrowni wiatrowych minimalna wartość projektu wynosi 20 mln zł, maksymalna zaś 40 mln zł. Adresat projektu może otrzymać płatność w formie dotacji rozwojowej jako refundację poniesionych i udokumentowanych wydatków, przeznaczonych na zaliczkę na

poczet przyszłych wydatków. Forma płatności będzie rozpatrywana indywidualnie przez instytucję wprowadzającą na etapie zawierania umowy o dofinansowanie z beneficjentem.

Możliwości programu wsparcia

Potencjalny inwestor, chcący zrealizować inwestycję dotyczącą budowy lub zwiększania mocy jednostek wytwarzania energii elektrycznej z wykorzystaniem energii wiatrowej o wartości projektu do 20 mln zł, może starać się o dofinansowanie w ramach regionalnych programów operacyjnych. Nie każde województwo przewidziało jednak wsparcie dla energetyki wiatrowej, m.in. województwa dolnośląskie, kujawsko-pomorskie, śląskie oraz warmińsko-mazurskie. Najwięcej środków na ten cel przeznaczyły województwa łódzkie, mazowieckie, lubuskie, lubelskie i zachodniopomorskie. W województwach tych suma przeznaczona na dotacje energetyki wiatrowej wyniosła co najmniej 4 mln euro. W przypadku inwestycji powiązanej z budową lub rozbudową elektrowni wiatrowych najmniejsza wartość projektu wynosi 3 mln zł, jeśli inwestycja jest planowana na obszarach objętych Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW). Największa kwota wsparcia została wyznaczona na 3 mln zł, w przypadku gdy gmina nie może korzystać ze wsparcia PROW. Beneficjentami w regionalnych programach operacyjnych (RPO) z zakresu energetyki wiatrowej mogą zostać przede wszystkim jednostki samorządu terytorialnego, ich związki i stowarzyszenia, ale także przedsiębiorcy i organizacje pozarządowe. Nie w każdym województwie przedsiębiorcy mogą pozyskać fundusze na rozwój energetyki wiatrowej. Takie możliwości pojawiły się w województwach lubuskim, łódzkim, małopolskim, mazowieckim, podkarpackim, wielkopolskim i zachodniopomorskim. W ostatnim przypadku beneficjentami projektu mogą być tylko i wyłącznie właściciele dużych przedsiębiorstw. W RPO występuje zgodnie z regulaminem konkursowy albo indywidualny tryb naboru. Ostateczną decyzję w sprawie dofinansowania projektu podejmuje zarząd województwa, który jest Instytucją Zarządzającą. Maksymalny udział dofinansowania w RPO stanowi 85% wydatków kwalifikowanych lub jest zgodny z dopuszczalnym pułapem pomocy publicznej określonym w programie pomocowym. W razie obliczania maksymalnej dopuszczalnej wielkości pomocy w odniesieniu do wydatków kwalifikowanych beneficjent powinien wnieść udział własny odpowiadający co najmniej 25% wydatków kwalifikowanych. Wkład ten nie może pochodzić z pieniędzy publicznych. Beneficjent może starać się o udzielenie pomocy regionalnej po przedstawieniu wniosku o przyznanie pomocy przed rozpoczęciem prac nad wykonaniem projektu. Właściciela dużego przedsiębiorstwa również obowiązuje reguła uzyskania potwierdzenia o kwalifikacji przedłożonego projektu do pomocy regionalnej.

Program rozwoju obszarów wiejskich

W Programie Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW) mogą być realizowane projekty dotyczące produkcji lub dystrybucji energii ze źródeł odnawialnych. Zgodnie z założeniami programu pomocą są objęte także elektrownie wiatrowe. Jednym z ważniejszych warunków udziału w programie jest lokalizacja inwestycji, tzn. inwestycja powinna znajdować się w miejscowościach należących do gminy wiejskiej lub gminy miejsko-wiejskiej, z wyjątkiem miast liczących powyżej 5 tys. mieszkańców, albo w miejscowościach gminy miejskiej o liczbie mieszkańców niższej niż 5 tys. Działania obejmują podstawowe usługi dla gospodarki i ludności wiejskiej oraz inwestycje służące produkcji lub dystrybucji energii ze źródeł odnawialnych, w tym energii z wiatru. Pomoc z PROW może objąć koszty inwestycyjne, zakup niezbędnego wyposażenia oraz koszty sporządzenia dokumentacji technicznej. Beneficjentami Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich mogą zostać gminy, jednoosobowe spółki gminy oraz gminne zakłady budżetowe. Rolę Instytucji Wdrażającej spełniają samorzady województw, w tym odpowiednie urzędy marszałkowskie. W przypadku PROW występuje konkursowy tryb przyjmowania i oceniania wniosków zgodnie z regulaminem. Wniosek o dofinansowanie składa się do urzędu marszałkowskiego, a ostateczną decyzję o dofinansowaniu projektu podejmuje zarząd województwa. Maksymalny udział dofinansowania w PROW może wynieść 75% wydatków kwalifikowanych, natomiast maksymalna kwota wsparcia projektów w zakresie energetyki wiatrowej w jednej gminie nie może być większa niż 3 mln zł. Udzielona pomoc obejmuje koszty inwestycyjne, głównie zakup materiałów niezbędnego wyposażenia oraz wykonanie prac budowlano-montażowych.

Dofinansowanie krajowe

Przedsiębiorca chcący zainwestować w energię wiatrową może skorzystać z dodatkowych form wsparcia, np. z Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Dofinansowanie jest przyznawane w formie preferencyjnej pożyczki, której maksymalna kwota nie może przekroczyć 50 mln zł. Przedsiębiorcy zdecydowani na tę formę dofinansowania inwestycji mogą starać się o umorzenie nawet 50% pożyczki o stałym oprocentowaniu w skali roku. Minimalny koszt przedsięwzięcia to 10 mln zł. Program jest realizowany od początku 2009 roku i będzie trwał do końca 2012. Warto wspomnieć, że wnioskodawca, działając w imieniu własnym lub za pośrednictwem spółek zależnych, w których ma udziały przekraczające 50%, może złożyć w konkursie tylko jeden wniosek o dofinansowanie. Spośród przedsięwzięć kwalifikujących się do otrzymania dofinansowania zostały wyodrębnione elektrownie wiatrowe o mocy poniżej 10 MW. Środki przeznaczone na dofinansowanie przedsięwzięć wynoszą 500 mln zł.

Bariery administracyjno-prawne na rynku energetyki wiatrowej w Polsce

Realizacja projektu z zakresu energetyki wiatrowej trwa co najmniej 4 lata, ponieważ w Polsce nadal funkcjonuje wiele niepotrzebnych barier administracyjno-prawnych, jak np. brak lub niepoprawnie opracowany miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego danej gminy, w której nie uwzględniono możliwości wzniesienia farm wiatrowych, czy też trudności z uzyskaniem przyłączenia do sieci energetycznej. W wielu przypadkach wnioski o przyłączenie elektrowni wiatrowej są odrzucane ze względu na stan techniczny lokalnej sieci energetycznej. Dodatkowo inwestor jest bardzo często zobligowany do sporządzenia ekspertyzy wpływu przyłączenia instalacji na krajowy system elektroenergetyczny z uwzględnieniem przyłączenia innych parków wiatrowych. Takie działania komplikują proces inwestycyjny, wydłużając go i generując dodatkowe koszty, na które jest narażony inwestor. Jedną to nie jedyne koszty. Planowana inwestycja wymaga już na wstępnym etapie realizacji projektu sporządzenia stosowanych badań, w tym oceny oddziaływania planowanej inwestycji na środowisko. Istotne jest także zapewnienie praw zarówno do nieruchomości, na których mają być postawione siłownie wiatrowe oraz urządzenia i budynki związane z całą infrastrukturą obiektu.

4. Możliwości wykorzystania energii wiatru w małych siłowniach wiatrowych

Energetyka wiatrowa potwierdza duże znaczenie siłowni lokalnych. Prąd elektryczny trzeba przesyłać kilometrami lub setkami kilometrów. Obecnie jedynym niezależnym źródłem energii jest agregat prądotwórczy napędzany silnikiem wysokoprężnym. Energetyka wiatrowa stwarza nowe możliwości – prąd elektryczny i ciepło można wytwarzać nawet dla pojedynczego domu. Okazuje się, że korzystne rezultaty można również uzyskać we współpracy agregatu prądotwórczego z turbiną wiatrową i akumulatorami energii. System taki jest nazywany SWECS. Najkorzystniejsze wyniki energetyczne uzyskuje się przez przesyłanie energii z układu agregatu prądotwórczego oraz z prądnicy napędzanej turbiną wiatrową do akumulatorów energii, gdy odbiór mocy przez określone odbiorniki odbywa się z węzła sumującego energię prądnicy wiatrowej. System SWECS jest przeznaczony dla pojedynczych domostw lub niewielkich osad. Wyliczono, że dla turbin o mocy do kilku kilowatów wystarczy silnik wysokoprężny o mocy ok. 3 kW. Silnik ten jest konieczny do ciągłego funkcjonowania systemu nawet w dni bezwietrzne. Akumulatory zapewniają równomierny rozkład mocy w czasie eksploatacji systemu, magazynują nadmiar energii, zabezpieczają przed przeciążeniem pierwotne źródła energii. System SWECS stanowi integralny układ energetyczny. Wytworzony nadmiar mocy nie może być od-

prowadzony do sieci, gdyż po prostu jej tam nie ma. Bilans mocy musi być zerowy w obrębie działania systemu [2, 3].

Niemal wszystkie doniesienia o kolejnych sukcesach energetyki wiatrowej dotyczą instalacji, w których zastosowano duże elektrownie wiatrowe. Oprócz tzw. rynku energetyki zawodowej istnieje także zapotrzebowanie na małe siłownie wiatrowe; dla nich przyjmuje się zwykle umowną granicę mocy wynoszącą 50 kW. Rynek ten nazwano rynkiem małej energetyki wiatrowej. Celem tej energetyki jest produkcja energii elektrycznej, ale nie na sprzedaż, lecz na potrzeby indywidualne. Mimo że w wyniku rozwoju energetyki wiatrowej powstały siłownie do pompowania wody czy też agregaty do napowietrzania stawów i jezior, dzisiaj urządzeń tych nie można znaleźć w ofertach producentów. Dzieje się tak dlatego, że łatwiej i taniej jest zastosować do tego celu handlowe urządzenia zasilane prądem elektrycznym, energię wiatru wykorzystać zaś do produkcji energii elektrycznej. Na omawianym rynku małej energetyki wiatrowej można wyróżnić dwa przypadki inwestycji. W pierwszym przypadku inwestor jest podłączony do sieci energetycznej, lecz pozytywnie oceniane przez niego warunki wiatrowe podsuwają mu pomysł ich wykorzystania, tak aby mniej płacić zakładowi energetycznemu za prąd. W drugim przypadku inwestycji obiekt znajduje się poza siecią energetyczną. Są to jednak raczej instalacje oparte na pojedynczych elektrowniach wiatrowych [4].

5. Wykorzystanie elektrowni wiatrowej w celu zmniejszenia rachunków za energię elektryczną

Elektrownia wiatrowa jest najprostszym i najtańszym rozwiązaniem. Mała elektrownia wiatrowa jest zazwyczaj wyposażona w prosty, tani i bardzo niezawodny generator asynchroniczny. Generatorem tym jest „zwykły” handlowy silnik trójfazowy, powszechnie stosowany w wielu urządzeniach. Rozpędzenie go do prędkości obrotowej przewyższającej prędkość, z jaką chce on się obracać jako silnik, powoduje oddawanie energii do sieci. Ta zasada produkcji energii, zresztą dość powszechnie stosowana, jest największą zaletą takiego sposobu produkcji energii elektrycznej. Zaletą jest także to, że w chwili wyłączenia przez zakład energetyczny napięcia z sieci generator przestaje odprowadzać napięcie do sieci, co bardzo upraszcza system współpracy elektrowni z siecią. Nie jest to jednak pozytywnie postrzegane przez właściciela elektrowni, która nie produkuje prądu, gdy nie ma napięcia w sieci. Zaletą tego rozwiązania wynika także z faktu, że z technicznego punktu widzenia sieć energetyczna pełni rolę ogromnego akumulatora energii. Właściciel elektrowni jest niezależny od kaprysów wiatru – gdy elektrownia rozwija moc większą niż pobiera z sieci jej właściciel, nadwyżka energii jest przekazywana do sieci. Wobec powszechności sieci energetycznej w Polsce, a także technicznych zalet takiego rozwiązania budowanie małych instalacji energetyki wiatrowej sprzyja obniżeniu rachunków za prąd. Niestety takie rozwiązanie jest na razie bardzo trudne do zastosowania

w Polsce. Wynika to z samych pobudek inwestora, czyli z tego, aby mniej płacić za prąd. Tymczasem konstruktywnym partnerem w tym przedsięwzięciu musi być zakład energetyczny, który działając w ten sposób, pomniejsza chłonność rynku na energię z sieci. Obowiązujące przepisy dotyczące zasad podłączania elektrowni do sieci oraz zakupu energii są więc tak tworzone, aby prawodawca wykazał chęć, a lobby energetyczne miało „furtkę” do ich obejścia. Realizacja takiego przedsięwzięcia jest możliwa, jedynie gdy inwestor jest niezwykle wytrwały. Nie ma także możliwości zaproponowania rozwiązania technicznego produkcji choćby 1 kW w elektrowni wiatrowej, której realizacja nie wymagałaby pozwolenia na budowę. Konieczne są wtedy warunki zabudowy i zagospodarowania terenu, mapa do celów projektowych, badania geologiczne pod fundament itp. Aby można było rozliczyć z zakładem energetycznym energię pobraną i oddaną do sieci, konieczne jest prowadzenie własnej działalności gospodarczej i comiesięczne wysyłanie PIT-ów. Nie istnieje żadne zagrożenie wynikające z takiej energetyki dla zakładów energetycznych. Jednak ustawienie za stodołą gospodarstwa 5 kW elektrowni wiatrowej zapewnia niemal dostawę 5000 kWh energii w ciągu roku. Jest to znacznie więcej niż statystycznie zużywa przeciętne gospodarstwo domowe. Gdyby system rozliczeń z zakładem energetycznym był rozliczeniem rocznym, wówczas instalujący elektrownie nie zapłaciłyby zakładowi energetycznemu ani złotówki przez okres jej żywotności, a jest to ok. 20 lat. Aby wyjść z tej patowej sytuacji, spółki dystrybucyjne powinny wprowadzić w swoich taryfikatorach dodatkowy produkt w postaci przechowywania energii. Wówczas każdy wytwórca mógłby wprowadzać energię do sieci i w dowolnym dogodnym dla siebie momencie pobierać ją. W taki sposób uzyskano by kilka ważnych i pozytywnych efektów, np. [4]:

- zakład energetyczny mógłby zarabiać, a nie tracić na energii odnawialnej, pobierałby opłaty za usługę w postaci magazynowania energii,
- właściciel elektrowni nie musiałby prowadzić działalności gospodarczej dla rozliczeń z elektrownią, byłby usługobiorcą zakładu, skąd otrzymywałby rachunki,
- wzrastałby udział energii odnawialnej w krajowym systemie jej wytwarzania,
- powstałby rzeczywisty rynek dla produkcji małych elektrowni wiatrowych.

6. Podsumowanie

Podsumowując, można stwierdzić, że możliwości rozwoju energetyki wiatrowej w Polsce są bardzo obiecujące, na co wskazują uzyskiwane wyniki badań na podstawie wieloletnich obserwacji kierunków i prędkości wiatru prowadzonych w profesjonalnej sieci meteorologicznej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Wykorzystanie elektrowni wiatrowych do celów gospodarczych

dałoby możliwość zmniejszenia rachunków za energię elektryczną, wykorzystania węgla i polepszenia ekologicznej sytuacji w kraju.

Literatura

- [1] Wiśniewski G., Michalska-Knap K.: Wizja rozwoju energetyki wiatrowej w Polsce do 2020 r. *Czysta Energia*, nr 4/2010, s. 24-29.
- [2] Barzyk G.: Rozwój krajowej energetyki wiatrowej w trzech aktach. *Czysta Energia*, nr 4/2010, s. 30-33.
- [3] Szumanowski A.: *Czas energii*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1988.
- [4] Ząber Z.: Możliwości wykorzystania energii wiatru w małych siłowniach wiatrowych oraz potencjału wody w małych elektrowniach wodnych. *Czysta Energia*, nr 10/2002, s. 30-31.

WIND POWER DEVELOPMENT PERSPECTIVES IN POLAND IN THE PERIOD TO 2020

Summary

The paper represents actual problems and construction projects of wind power stations in Poland, financing these projects, using wind power to lower costs for electric power and improve economy of Poland.

Total capacity of wind turbines is growing at an annual rate of 40%, but one can see a slowdown in the period to 2015 due to problems with the too slow network development and opportunities of connecting large wind farms. Wind energy sector is prepared to invest on a large scale. To perform that, it has not only got large execution capabilities in Poland, but also substantial package of well-developed and advanced investment projects in the form of large farms with plans to use more efficient types of wind. They are being developed more and more evenly throughout the country, in all provinces. Due to that fact they become a major resource for a relatively quick start. This will ensure a contribution to the Polish general objective of Directive 2009/28/EC for 2020 and the two-year intermediate goals. As part of the program „Energy production from renewable sources” it is possible to obtain support for projects relating to the construction or increasing the capacity of wind turbines. It is worth mentioning that within the implemented projects, the support will be granted to the plans concerning connecting the production units generating electricity from renewable energy sources to the nearest existing networks. An entrepreneur wishing to invest into in wind energy, can also count on additional forms of support, such as the National Fund for Environmental Protection and Water Management. The growth potential of wind energy in Poland is very promising, as indicated by results obtained on the basis of long-term observation of wind speed and direction, conducted in the professional meteorological network of the Institute of Meteorology and Water Management.

Keywords: wind power, financing of projects, development

DOI:10.7862/rb.2013.57

Przesłano do redakcji: 01.07.2013 r.

Przyjęto do druku: 13.11.2013 r.

Galina KALDA¹
Aneta BORKOWSKA²

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ENERGII BIOMASY W GOSPODARCE POLSKIEJ

W pracy porównano właściwości roślin energetycznych z konwencjonalnymi źródłami energii, pokazano podział systemów spalania biomasy oraz podano obliczenia cen energii cieplnej pozyskanej z drewna. Przedstawiono także wpływ biomasy na środowisko, metody usuwania zanieczyszczeń i programy finansowania alternatywnych źródeł energii.

Wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym przyczynia się do poprawy efektywności wykorzystania i oszczędzania zasobów surowców energetycznych, poprawy stanu środowiska w wyniku redukcji zanieczyszczeń atmosferycznych i wód, a także ilości wytwarzanych odpadów. Biomasa powstaje w wyniku reakcji fotosyntezy, która może przebiegać z udziałem energii promieniowania słonecznego $h\nu$. W ciągu roku w wyniku fotosyntezy wytwarza się ok. 220 bln ton suchej biomasy. Skład fizyko-chemiczny biomasy różni się w znacznym stopniu od konwencjonalnych źródeł energii, takich jak np. węgiel kamienny. Wynika to z różnorodności występowania postaci biomasy. Na podstawie obliczeń można stwierdzić, że duży wpływ na cenę energii oprócz gęstości ma również sprawność dobranego kotła.

Jedną z najbardziej rozpowszechnionych technologii biomasy jest jej spalanie, ponieważ wykorzystuje się ją zarówno na cele grzewcze, jak również do wykorzystania energii elektrycznej. W wyborze odpowiedniej technologii spalania należy zwrócić uwagę na moc danego układu, parametry oraz wielkość paliwa. Najprostszym sposobem spalania jest wykorzystanie paleniska rusztowego. Paliwo, przesuwając się po ruszcie, ulega osuszeniu. Powietrze dostarcza się zarówno powyżej złoża, jak i pod nim, ponieważ w wyniku takiego doprowadzenia powietrza powstaje ciąg w palenisku. Szacuje się, że w 2020 roku w wyniku realizowania Strategii Rozwoju Energii Odnawialnej powstanie ok. 11 tys. nowych miejsc pracy, a redukcja emisji CO₂ wyniesie ok. 21 mln t/rok.

Słowa kluczowe: biomasa, rośliny energetyczne, metody usuwania zanieczyszczeń

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Galina Kalda, Politechnika Rzeszowska, 35-084 Rzeszów, ul. Poznańska 2, tel. (17) 8651068, e-mail: kaldagal@prz.edu.pl

² Aneta Borkowska, Politechnika Rzeszowska, 35-084 Rzeszów, ul. Poznańska 2, tel. 600656845, e-mail: aborkowska@o2.pl

1. Wprowadzenie

Wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym przyczynia się do poprawy efektywności wykorzystania i oszczędzania zasobów surowców energetycznych, poprawy stanu środowiska w wyniku redukcji zanieczyszczeń atmosferycznych i wód, a także ilości wytwarzanych odpadów. Według dyrektyw Unii Europejskiej Polska jako członek UE jest zobowiązana do zwiększenia wykorzystania energii odnawialnej w energetyce również przez użycie biomasy. Stanowi to ogromne możliwości w produkcji bioenergii.

Wprowadzenie upraw biomasy pozwoliłoby rolnikom na dywersyfikację ich produkcji, a także na zagospodarowanie gorszych jakościowo ziem, które są często niewykorzystywane, ponieważ uprawa roślin przeznaczonych do spożycia jest nieopłacalna lub ze względu na zawartość związków niebezpiecznych niemożliwa. Rośliny energetyczne nie mają dużych wymagań glebowych, jednocześnie poprawiają jej jakość, adsorbując metale ciężkie. Biomasa coraz częściej wykorzystują, oprócz gospodarstw domowych, również elektrownie, które dzięki jej spalaniu mogą sprostać coraz bardziej surowym, unijnym wymaganiom dotyczącym redukcji emisji CO₂.

Konieczność stosowania biomasy do celów energetycznych może więc przynieść wiele korzyści związanych z obniżeniem emisji gazów cieplarnianych, ze wzrostem zatrudnienia na obszarach wiejskich oraz poprawą efektywności produkcji rolniczej w gospodarstwach rodzinnych. Należy jednak pamiętać o zachowaniu zrównoważonego rozwoju, który umożliwi korzystanie z dóbr przyrodniczych przy zachowaniu ich zasobów dla przyszłych pokoleń.

2. Analiza możliwości wykorzystania biomasy w energetyce Polski

Podział biomasy

Obecnie można zauważyć dynamiczny rozwój produkcji biomasy w rolnictwie. W zależności od pochodzenia biomasy można dokonać następującego podziału: biomasa pochodzenia leśnego i rolnego oraz odpady organiczne. Biomasa można również podzielić ze względu na stopień jej przetworzenia na:

- surowce energetyczne pierwotne (słoma, rośliny energetyczne, drewno),
- surowce energetyczne wtórne (obornik, gnojowica, odpady organiczne, osady ściekowe),
- nośniki energii (bioetanol, biogaz, estry olejów roślinnych – biodiesel, biometanol, biobenzyna, biooleje).

Natomiast pod pojęciem roślin energetycznych są rozumiane:

- rośliny o dużym przyroście biomasy (np. miskantus, wierzba, słazowiec), stosowane m.in. do celów grzewczych,

- rośliny jednoroczne charakteryzujące się dużą zawartością cukru i skrobi (zboża, ziemniaki, buraki, kukurydza na ziarno) – produkcja etanolu,
- rośliny oleiste (rzepak, słonecznik i len) – wyłaczanie oleju roślinnego.

Rośliny energetyczne uprawiane w celach opałowycze ze względu na cechy fizjologiczne można podzielić na trzy grupy [1]:

- rośliny trawiaste (mozga trzcinowata, tymotka łąkowa oraz miskantus),
- rośliny zielne (ślazowiec, topinambur i konopie siewne),
- rośliny drzewiaste szybkiej rotacji (topola, wierzba i grochodrzew).

Biopaliwa wykorzystuje się pod różnymi postaciami w zależności od rodzaju technologii oraz mocy urządzeń. Drewno można wykorzystywać w postaci rozdrobnionej (ścinki, wiórki, trociny, zrębki), kawałkowej oraz sprasowanej (brykiety i granulaty). Natomiast słoma i rośliny trawiaste są użytkowane w postaci sprasowanych brykietów, balotów i granulatów albo jako sieczka, która jest dobrze rozdrobniona i pocięta [2].

Porównanie właściwości roślin energetycznych z konwencjonalnymi źródłami energii

Biomasa powstaje w wyniku reakcji fotosyntezy, która może przebiegać przy udziale energii promieniowania słonecznego $h\nu$. W ciągu roku w wyniku fotosyntezy wytwarza się ok. 220 bln ton suchej biomasy [3].

Kopalnianymi (naturalnymi) paliwami nazywa się paliwa wydobyte z ziemi. Energia cieplna uwalniana podczas spalania tych paliw pochodzi od zgromadzonej energii słonecznej, wynikającej z przemian chlorofilu w skupionej substancji organicznej paliwa. Do naturalnych paliw stałych są zaliczane palne skały pochodzenia roślinnego, występujące w przyrodzie w postaci złóż torfu, węgla brunatnych, węgla kamiennych i antracytów. Powstawanie złóż węglowych zależało od wielu czynników, z których najważniejsze to: rodzaj materiału roślinnego, czas, temperatura, ciśnienie, wilgotność oraz rodzaj mikroorganizmów.

Skład fizyko-chemiczny biomasy różni się w znacznym stopniu od konwencjonalnych źródeł energii, takich jak np. węgiel kamienny. Wynika to z różnorodności występowania postaci biomasy. Porównując paliwa konwencjonalne z biomasą, uwzględnia się następujące parametry:

- wilgotność,
- zawartość popiołu i części lotnych,
- ciepło spalania,
- wartość opałową,
- zawartość procentową poszczególnych pierwiastków oraz związków chemicznych.

Biomasa oraz węgiel mają taki sam lub zbliżony jakościowy skład chemiczny. Występują jednak istotne różnice ilościowe poszczególnych elementów. Przykładowo, węgle zawierają ok. 80% wag. węgla pierwiastkowego C, nato-

miast biomasa ma ok. 50%. Biomasa jest bardziej reaktywna i zawiera większą liczbę związków lotnych niż ma ich węgiel.

Można zauważyć dużą rozbieżność w zawartości wilgoci, popiołu oraz składzie chemicznym pomiędzy biomasą a węglem. Duża zawartość wilgoci obniża jakość biomasy, ponieważ zmniejsza jej wartość opałową. Trawy wieloletnie osiągają dużą zawartość suchej masy, dzięki czemu nie potrzebne jest ich dodatkowe osuszanie. Natomiast wierzba energetyczna, której wilgotność wynosi ok. 55%, powinna być odpowiednio przechowywana i przygotowana, tak aby zwiększyć jej przydatność jako surowca wykorzystywanego w energetyce [2]. Obecność pierwiastków, takich jak azot, siarka i chlor, musi być uwzględniona podczas projektowania palenisk kotłowych ze względu na limity emisji tych substancji do atmosfery. Obecność agresywnego chloru w popiołach z biomasy może powodować korozję kotłów, które nie są przystosowane do spalania tego typu paliwa. Spalanie biomasy w porównaniu ze spalaniem węgla powoduje mniejszą emisję NOx i SOx oraz nie przyczynia się do wzrostu efektu cieplarnianego.

3. Obliczenie cen energii cieplnej pozyskanej z drewna

Zakupiono 10 mp drewna za 850 zł. Należy obliczyć koszt energii pozyskanej z tego drewna.

Zakłada się, że drewno będzie zawierać 20% wilgoci, więc energia w drewnie wyniesie:

$$E = 0,65 \cdot V \cdot \rho_d \cdot (100 - w)/100 \cdot W_d \text{ [MJ]},$$

gdzie: $V = 10 \text{ mp}$ – ilość zakupionego drewna,

$\rho_d = 720 \text{ kg/m}^3$ – gęstość drewna wilgotnego,

$w = 20\%$ – wilgotność drewna,

$W_d = 20,5 \text{ MJ/kg} \cdot \text{s} \cdot \text{m}$ – wartość opałowa dla drewna bez kory.

$$E = 0,65 \cdot 10 \cdot 720 (100 - 20)/100 \cdot 20,5 = 76752 \text{ MJ}.$$

Zakładając, że kocioł, w którym jest spalane drewno ma sprawność 70%, można uzyskać:

$$0,7 E = 0,7 \cdot 76752 = 53726,4 \text{ MJ} = 53,7 \text{ GJ}.$$

Cena 1 GJ wynosi 15,82 zł/GJ.

Zakładając, że kocioł, w którym jest spalane drewno ma sprawność 90%, można obliczyć:

$$0,9 E = 0,9 \cdot 76752 = 69076 \text{ MJ} = 69,1 \text{ GJ}.$$

Cena 1 GJ wynosi więc 11,30 zł/GJ.

Na podstawie obliczeń można stwierdzić, że duży wpływ na cenę energii ma zarówno gęstość, jak i sprawność dobranego kotła.

4. Spalanie biomasy

Jedną z najbardziej rozpowszechnionych technologii wykorzystania biomasy jest jej spalanie, ponieważ wykorzystuje się ją na cele grzewcze, jak również do wytwarzania energii elektrycznej.

Istotną właściwością biomasy jest wilgotność, od niej bowiem zależy wartość opałowa i przydatność biomasy do spalania (tab. 1.). Wilgotność powinna wynosić mniej niż 15%, jeżeli spalanie ma się odbywać w tradycyjnych kotłach c.o.

Tabela 1. Zawartość wody, która wystąpi w biomacie pochodzącej z roślin energetycznych podczas ich zbioru, na podstawie [4]

Table 1. The water content that occurs in the biomass derived from energy plant during harvest, based on [4]

Gatunek	Zawartość wody podczas zbioru plonu [%]
Miskantus olbrzymi	8,32
Wierzba	46,28
Róża	39,22
Ślazier	10,5
Rdest	12,58
Spartina	21,11

Wartość opałowa jest uzależniona od zawartości wilgoci i wynosi w granicach od 5 do 8 MJ/kg dla biomasy charakteryzującej się wilgotnością 50÷60% do 15÷17 MJ/kg dla biomasy, której wilgotność wynosi 15÷20%, a nawet do 20 MJ/kg dla biomasy całkowicie suchej.

Proces spalania składa się z kilku etapów:

- suszenia,
- odgazowania, czyli pirolizy,
- spalania części lotnych paliw,
- spalania koksu.

W pierwszym etapie, czyli podczas suszenia, następuje nagrzanie i odparowanie wilgoci zawartej w biomacie, przez co zmniejsza się rozmiar jej cząstki. Szybkość przeprowadzenia tego procesu zależy od kilku parametrów, takich jak temperatura otoczenia, pojemność cieplna, rozmiar cząstek i zawartość w nich wilgoci, przewodność cieplna. Zapewnienie temperatury 100°C wystarczy do odparowania wilgoci, w wyniku czego następuje spowolnienie procesu spalania (obniża się temperatura w komorze spalania).

Natomiast odgazowanie charakteryzuje się termicznym rozkładem substancji organicznych w paliwie, które odbywa się bez utleniacza w temperaturze wynoszącej dla paliw stałych ok. 350°C. Produktami pirolizy jest smoła (C_xH_y), gazowe produkty rozkładu oraz pozostałość koksowa. Szybkość tego procesu jest uzależniona od temperatury – im wyższa jest temperatura, tym szybkość odgazowania jest większa. Jeżeli jest wysoka temperatura, to więcej wydziela się części lotnych, a mniej uzyskuje się koksu (części stałych pirolizy).

Części lotne, które wydzielają się w dużych ilościach z paliwa, mieszają się z utleniaczem i przy wysokich temperaturach otoczenia ulegają spalaniu. W czasie ich spalania następuje wykorzystanie całego tlenu dopływającego do cząstki. Spalanie koksu zaczyna się po całkowitym odgazowaniu części lotnych.

Na spalanie różnych paliw stałych pod względem składu chemicznego popiołu i paliwa ma również wpływ:

- ilość koksu/części lotnych,
- zawartość wilgoci,
- zawartość popiołu,
- kaloryczność,
- porowatość,
- gęstość.

W zależności od zastosowanej technologii termicznego przetwarzania biomasy dla różnych postaci stosuje się różne urządzenia, tak by jak najefektywniej ją wykorzystać.

W tabeli 2. przedstawiono wybrane rodzaje kotłów wraz z ich sprawnościami przetwarzania paliwa, od których zależy jakość procesu. Im wyższa sprawność, tym więcej energii można uzyskać ze spalanej jednostki paliwa. Wynika z tego, że najlepsze kotły to kondensacyjne (sprawność 0,95÷1), kotły automatyczne z mechanicznym podawaniem paliwa o mocy większej od 500 kW (sprawność 0,85), kotły automatyczne o mocy 100÷600 kW (sprawność 0,8÷0,85) oraz kotły z palnikiem retorowym (sprawność 0,8÷0,85).

Wybierając odpowiednią technologię spalania należy zwrócić uwagę na moc danego układu, parametry oraz wielkość paliwa. Obecnie na rynku można uzyskać kotły mocy od kilkunastu kW nawet do kilkuset MW.

Obecnie stosowane są dwie metody spalania biopaliw:

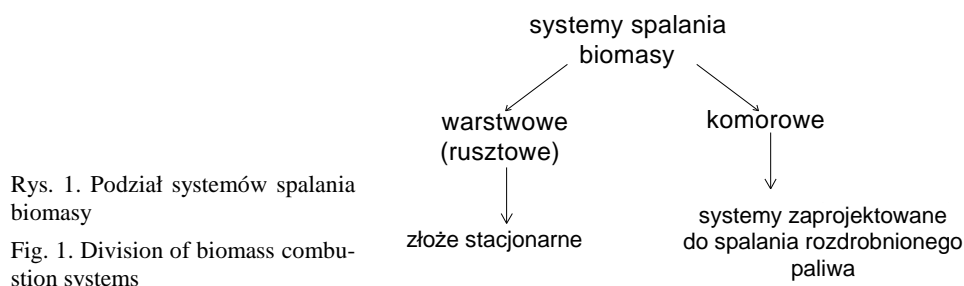
- spalanie paliwa, który jest zawieszony lub wdmuchany do paleniska,
- spalanie w warstwie, złożu bądź stosie stacjonarnym.

Na rysunku 1. przedstawiono podział spalania biomasy. Wybór systemu spalania jest uzależniony od ilości, typu, właściwości paliwa oraz rodzaju wykorzystywanej energii: cieplnej bądź elektrycznej. Aby określić sprawność procesu spalania biopaliwa stałego, powinno się zwrócić uwagę na następujące parametry: skład popiołu, zawartość wilgoci, kaloryczność paliwa. Konstrukcja paleniska zależy od limitów ilości emisji wydzielanej do atmosfery.

Tabela 2. Sprawność wytwarzania ciepła, na podstawie [5]

Table 2. Efficiency of produce heat, based on [5]

Rodzaj kotła/pieca	Rodzaj paliwa	Sprawność przetwarzania paliwa
Kotły wyprodukowane przed 1980 rokiem	paliwo stałe (węgiel, koks)	0,5÷0,65
Kotły wyprodukowane po 1980 roku	paliwo stałe (węgiel, koks)	0,65÷0,75
Kotły wyprodukowane po 2000 roku	paliwo stałe (węgiel, koks)	0,82
Kotły z palnikami atmosferycznymi i regulacją włącz/wyłącz	paliwo gazowe lub płynne	0,65÷0,86
Kotły z palnikami wentylatorowymi i regulacją procesu spalania	paliwo gazowe lub płynne	0,75÷0,88
Kotły kondensacyjne	paliwo gazowe	0,95÷1
Piece ceramiczne/kaflowe	paliwo stałe	0,25÷0,4
Piece metalowe	paliwo stałe	0,55÷0,65
Kotły wrzutowe z obsługą ręczną mocy do 100 kW	paliwo stałe (słoma)	0,57÷0,63
Kotły wrzutowe z obsługą ręczną mocy	paliwo stałe (drewno polana, brykiety drewniane, pelety, zrębki drewna)	0,65÷0,7
Kotły wrzutowe z obsługą ręczną mocy powyżej 100 kW	paliwo stałe (słoma)	0,65÷0,75
Kotły automatyczne o mocy od 100 do 600 kW	paliwo stałe (drewno polana, brykiety drewniane, pelety, zrębki drewna)	0,80÷0,85
Kotły z palnikiem retorowym	paliwo stałe (węgiel)	0,80÷0,85

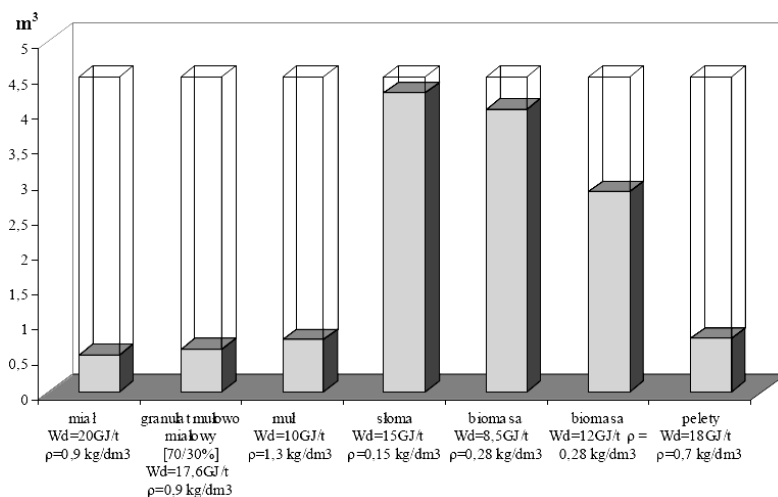


Najprostszym sposobem spalania jest wykorzystanie paleniska rusztowego. Paliwo, przesuwając się po ruszcie, ulega osuszeniu. Powietrze dostarcza się zarówno powyżej złoża, jak i pod nim, ponieważ w wyniku takiego doprowadzenia powietrza powstaje ciąg w palenisku. Na początku zapala się warstwa u podstawy, potem za pomocą wpływającego powietrza u podstawy zapala się całe złoże.

5. Współspalanie biomasy

Do wytwarzania energii elektrycznej coraz częściej wykorzystuje się biomasę, ponieważ jest to sposób efektywny i korzystny finansowo. Gdy jest spalana sama biomasa w elektrowniach na kopalniane paliwa, to sprawność tego procesu jest niewielka. Współspalanie biomasy z kopalnianymi paliwami pozwala osiągnąć lepsze efekty niż podczas spalania samej biomasy.

Ogólnie współspalanie biomasy z węglem oznacza spalanie w układach hybrydowych węgla i odpowiednio dobranego rodzaju biopaliwa. Proces ten odbywa się zarówno w niewielkich, jak i dużych obiektach energetycznych. Podczas wykorzystania biomasy do współspalania znacznie zwiększa się objętość paliwa, przez co konieczne jest przeznaczenie większej powierzchni na składowanie paliwa oraz zwiększenie kosztów transportu (rys. 2.).



Rys. 2. Porównanie objętości paliw do wytworzenia 1 MWh energii elektrycznej

Fig. 2. Comparison of the volume of fuel for producing 1 MWh electric energy

6. Wpływ biomasy na środowisko

Ocena oddziaływania na środowisko to jedno z najważniejszych narzędzi do zarządzania ochroną środowiska zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju. Ocena ta jest potrzebna do określenia, czy dana inwestycja, ingerencja w środowisko jest korzystna lub jej korzyści rekompensują wynikające z inwestycji straty w środowisku. Aktem prawnym w Polsce regulującym ocenę oddziaływania na środowisko jest ustawa z 3.10.2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz ocenach oddziaływania na środowisko (Dz.U. Nr 199, poz. 1227).

Zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego dotyczą przede wszystkim powietrza, w mniejszym stopniu gleby i wody. Najgroźniejsze są zanieczyszczenia powietrza, ponieważ wprowadzając do atmosfery zanieczyszczenia gazowe, oddziałują na glebę i wodę. Mogą one działać lokalnie (emisje pyłów, ścieki i odpady stałe), regionalnie (kwaśne deszcze) oraz globalnie (niszczenie warstwy ozonowej i rozwój efektu cieplarnianego) [2].

Główne zanieczyszczenia powodujące pogorszenie jakości środowiska naturalnego to:

- tlenki azotu (NO_x),
- dwutlenek siarki (SO₂),
- tlenek węgla (CO),
- dwutlenek węgla (CO₂),
- chlorowodór (HCl),
- lotne związki organiczne (LZO),
- trwałe związki organiczne – wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), dioksyny, furany,
- metale ciężkie – głównie rtęć i jej związki, kadm, arsen, ołów, chrom, miedź, nikiel, mangan,
- pył całkowity.

Emisja tlenków siarki, azotu, metali ciężkich i pyłów jest dobrze znana, mniej danych jest na temat zanieczyszczeń organicznych, takich jak TZO, WWA, LZO.

W czasie procesów spalania paliw zachodzi największa emisja zanieczyszczeń, np. ponad 75% emisji NO_x i SO₂, ok. 70% emisji CO, ponad 75% emisji pyłów i ponad 90% CO₂ [6].

7. Usuwanie zanieczyszczeń

Do usuwania emisji zanieczyszczeń można wykorzystać następujące technologie [2]:

- a) urządzenia odpylające
 - komory osadcze – zmniejszenie prędkości przepływu spalin, duże cząsteczki pyłu opadają,
 - cyklony oraz multicyklony – wykorzystanie sił odśrodkowych w pionowych cylindrach,
 - filtry tkaninowe – przez gęstokane materiały przepływają spaliny, są zatrzymywane zawieszona cząstki pyłu,
 - elektrofiltry – zastosowanie pola elektrycznego,
 - kondensatory spalin – wychładzanie spalin poniżej punktu rosy, skropliny wchłaniają cząstki pyłu,
- b) urządzenia odsiarczające
 - mokry skrubler – spaliny przepływają przez zraszacz, który oczyszcza cząstki pyłu,

- suchy skrubler,
 - proces spalania z wdmuchiwaniami sorbentu,
- c) zmniejszenie emisji NO_x
- stopniowe dostarczanie powietrza do komory spalania,
 - recyrkulacja spalin,
 - optymalne prowadzenie procesu spalania,
 - stopniowe dostarczanie paliwa.

Zastosowanie nowych technologii, kotłów fluidalnych, oczyszczania spalin powoduje zmniejszenie ilości zanieczyszczeń wprowadzonych do środowiska naturalnego. Niestety emisja dwutlenku węgla (CO₂) ciągle wzrasta. Szacuje się, że poziom globalnej emisji CO₂ będzie miał tendencję rosnącą, średnio 1,4% rocznie i może nawet wynieść 40,4 mld ton w 2030 roku, czyli emisja wzrośnie o 38% (11 mld ton) w odniesieniu do 2006 roku [7]. Dlatego tak bardzo ważne jest wykorzystywanie biomasy, której spalanie nie wpływa negatywnie na bilans wprowadzonego do atmosfery dwutlenku węgla. Biomasa w porównaniu z paliwami kopalnymi powoduje mniejszą emisję NO_x i SO_x.

8. Dofinansowania

W Polsce z odnawialnych źródeł energii (OZE) biomasa ma najlepszą efektywność ekonomiczną, ma bowiem zastosowanie w energetyce i systemach ciepłowniczych. Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko (POIŚ) ma na celu:

- wytwarzanie energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych, które pomogą w budowie lub spowodują wzrost jednostkowej mocy produkowanej energii elektrycznej wykorzystujące energię z biogazu, biomasy, z niewielkich elektrowni wodnych (do 10 MW), wiatru, również ciepła pochodzącego z energii słonecznej i geotermalnej,
- dofinansowanie na budowę instalacji, która będzie produkowała biopaliwa i biokomponenty, czyli samoistne paliwa z odnawialnych źródeł energii,
- ułatwienie odbioru energii za pomocą budowy oraz unowocześnienie sieci, które umożliwią łączenie jednostek produkowania energii elektrycznej z odnawialnych źródeł.

Dofinansowania mogą dostać:

- przedsiębiorcy,
- samorządy terytorialne oraz ich grupy,
- podmioty, które świadczą usługi publiczne w realizacji własnych obowiązków jednostek samorządu terytorialnego,
- kościoły, związki wyznaniowe.

Dofinansowanie z UE na rozwój odnawialnych źródeł energii w latach 2010-2015 może wynieść 91 mln euro, pod warunkiem że koszt inwestycji wy-

niesie więcej niż 20 mln zł, a maksymalna wartość dotacji 30 mln zł, czyli 30% wydatków kwalifikowanych [8].

Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa (ARiMR) oraz Agencja Rynku Rolnego (ARR) posiadają prawo, które należy przestrzegać podczas realizowanych dofinansowań przeznaczonych na plantacje roślin energetycznych.

Istnieją trzy rodzaje dotacji do upraw roślin energetycznych:

- dopłata do zakładania plantacji (ARR),
- dopłata do produkcji roślin energetycznych (RE),
- jednolita płatność obszarowa (JPO).

Jeśli dana plantacja jest założona na słabych ziemiach oraz w niesprzyjających warunkach do wzrostu roślin, to właściciel plantacji może dodatkowo ubiegać się o dopłatę z tytułu w niekorzystnych warunkach obszarowych gospodarowania (ONW). Obecnie wsparcie jest przyznane dla 56% powierzchni użytków rolnych kraju.

Właściciele plantacji mogą ubiegać się o dofinansowanie, jeżeli zostaną spełnione następujące warunki:

- obszar plantacji zajmuje minimum 1 ha,
- obszar nie jest zlokalizowany na trwałych zielonych użytkach,
- jeżeli złożony wniosek obejmuje plantację o przyznanie dotacji do upraw roślin energetycznych w roku jej założenia lub następnym,
- spełnienie wymagań stawianych pod kątem agrotechniki.

Rolnik może tylko raz w roku ubiegać się o dofinansowanie na założenie plantacji roślin energetycznych zajmującej powierzchnię poniżej 100 ha. Ten sposób przyznawania pomocy jest jednorazowy dla danej plantacji [9].

W Polsce jest znany Ekofundusz, który posiada pieniądze z zamian części długów zagranicznych. Środki finansowe są przeznaczone na wspieranie inwestycji, które mają korzystny wpływ na ochronę środowiska. Ekofundusz udziela dotacji, które pomagają w rozwoju alternatywnych źródeł energii. W kraju najlepszym pod względem ekonomicznym źródłem energii odnawialnej jest biomasę, a w szczególności drewno i słoma.

Instytucja ta udziela pomocy finansowej również dla biomasy wykorzystywanej jako paliwo, czyli przedsięwzięciom mającym na celu wytwarzanie energii elektrycznej i ciepłej. Do celów tych można wykorzystać następujące rodzaje biomasy:

- pozostałości po uprawach rolnych,
- biomasę wyprodukowaną na plantacjach i z upraw rolnych,
- odpadki z wyrębu i pielęgnacji lasów, parków,
- niezanieczyszczone odpady drzewne wytworzone podczas obróbki drewna,
- niezanieczyszczone odpady roślinne pochodzące z przetwórstwa rolno-spożywczego,
- biopaliwo wytworzone z wymienionych produktów.

Ważne jest to, że projekty inwestycji powinny dążyć do zmniejszenia zużycia energii, w przeciwnym razie Ekofundusz nie przyzna dotacji. Do tej pory wsparcie finansowe otrzymało ok. 90 projektów, z czego 32 było związanych z budową kotłowni wykorzystujących słomę jako paliwo, a 56 z budową kotłowni na drzewne odpady. Dofinansowanie z Ekofunduszu wyniosły 120 mln zł. Wspólna moc wszystkich wybudowanych kotłowni wyniosła 230 MW [8].

Istnieje również wiele możliwości dofinansowania z UE inwestycji, które pomagają wypełnić zobowiązania stawiane przez Unię Europejską, czyli zapewniają do 2030 roku 20% produkcję odnawialnych źródeł energii.

9. Podsumowanie

Szacuje się, że w 2020 roku w wyniku realizowania Strategii Rozwoju Energii Odnawialnej powstanie ok. 11 tys. nowych miejsc pracy, a redukcja emisji CO₂ wyniesie ok. 21 mln t/rok.

Polski rynek biomasy nie ma płynności przez niedostateczne uregulowanie prawne oraz brak odpowiedniej edukacji społeczności na temat możliwości zagospodarowania biomasy. Bez stałych dotacji i dofinansowania do założenia plantacji danego gatunku roślin energetycznych nastąpi spadek podaży na biomasę, ponieważ aby móc założyć plantacje, trzeba posiadać pewien kapitał inwestycyjny.

Rolnicy są sceptycznie nastawieni do zakładania plantacji, ponieważ nie są dostatecznie poinformowani na temat zalet i ewentualnych zagrożeń związanych z zakładaniem wieloletnich plantacji. Zakładanie plantacji oznacza wieloletnią inwestycję (ok. 25 lat), co wiąże się z podjęciem ryzyka. Gospodarstwa rolne muszą mieć zapewniony opłacalny dochód z 1 ha plantacji, sprzedaż i dostawę biomasy.

Literatura

- [1] Juliszewski T., Zajac T.: Biopaliwo rzepakowe. Poznań 2007.
- [2] Rybak W.: Spalanie i współspalanie biopaliw stałych. Wrocław 2006.
- [3] Kaczmarczyk J.: Technologia chemiczna surowce i nośniki energii. Laboratorium „Analiza techniczna węgla i biomasy”. Wrocław 2009.
- [4] Lisowski A.: Konwersja odnawialnych źródeł energii. Warszawa 2009, s. 68-130.
- [5] Głodek E.: Spalanie i współspalanie biomasy. Opole 2010.
- [6] Ścieżko M., Zieliński H.: Termochemiczne przetwórstwo węgla i biomasy. Zabrze-Kraków 2003.
- [7] Ligus M.: Efektywność inwestycji w odnawialne źródła energii. Analiza kosztów i korzyści, wyd. I. Warszawa 2010.
- [8] GEOLAND Consulting International Sp.oz.o., http://www.geoland.pl/dodatki/energia_xlvi/ekofundusz.html (17.12.2010 r.).
- [9] VATTENFALL, http://www.vattenfall.pl/cps/rde/xchg/vattenfall_pl/hs.xsl/dofinansowanie-plantacji.htm.

THE WAYS OF USAGE BIOMASS ENERGY IN NATIONAL ECONOMY OF POLAND

Summary

The paper assesses properties of energetic plants against the traditional sources of energy. It represents classification of biomass burning systems, thermal energy costs, which is generated on wood. It also discovers biomass environmental effect, methods reducing contamination and programs for financing alternative sources of energy.

An increased contribution of renewable energy to the energetically balance helps enhance the effectiveness of using and saving energy resources as well as improves the state of the environment due to both, reduced atmosphere and water pollution as well as the amount of waste being generated. Biomass is produced by photosynthesis reaction, which occurs with the presence of sunlight. In a year, about 220 billions of tones of dry matter are produced as a result of photosynthesis. There is a considerable difference between the physic-chemical composition of biomass and that of conventional energy sources as hard coal. It results from a variety of biomass types. Based on calculations, it may be found that apart from density, the efficiency of the selected boiler also has a significant effect on the price of energy.

One of the most common technologies for biomass utilization is combustion as it uses biomass for heating purposes as well as for electric energy generation. When selecting appropriate combustion technology, it is necessary to consider the power and the parameters of a given system as well as the amount of the fuel. The least complex combustion method involves the use of grate furnace, where the fuel dries during its movement on the grate. The air is supplied both, above and below the grate, thus allowing for draught in the furnace.

It is estimated that in the year 2020 about 11 thousand new jobs will be created and that CO₂ emission will be reduced by about 21 mln tones per year owing to the Renewable Energy Development Strategy.

Keywords: biomass, energetic plants, methods reducing contamination

DOI:10.7862/rb.2013.58

Przesłano do redakcji: 01.07.2013 r.

Przyjęto do druku: 13.11.2013 r.

Galina KALDA¹
Tomasz LISZKA²

ROZWÓJ HYDROLOGII MAGURSKIEGO PARKU NARODOWEGO

Praca omawia monitoring jakości wód powierzchniowych i wód na potrzeby bytowania ryb. Przedstawiono badania hydrologiczne wybranych źródeł Magurskiego Parku Narodowego (MPN). Ochrona zasobów przyrodniczych jest możliwa, gdy zostanie zapewniona właściwa kontrola nad ich stanem. Pozwala na to odpowiednio zaprojektowana i wykonana sieć pomiarowa, gromadząca informacje o stanie środowiska przyrodniczego w parku i o procesach zachodzących na jego obszarze.

W MPN podczas badań hydrologicznych przeprowadza się: monitoring jakości wód powierzchniowych, monitoring wód na potrzeby bytowania ryb, badania hydrogeologiczne wybranych źródeł, inwentaryzacja źródeł, monitoring warunków klimatycznych. Monitoring jakości wód powierzchniowych obejmuje badania i ocenę jakości wód, osadów wodnych rzek i jezior oraz wód zbiorników zaporowych. Celem badań jest stworzenie podstaw do podejmowania działań na rzecz poprawy stanu wód i ich ochrony przed zanieczyszczeniem, w tym ochrony przed eutrofizacją powodowaną ściekami komunalnymi i zanieczyszczeniami pochodzącymi z rolnictwa, oraz ochrony przed zanieczyszczeniami przemysłowymi, a zwłaszcza substancjami szczególnie szkodliwymi dla środowiska wodnego. Badania wykazały, że wody rzeki Wisłoki spełniały wymagania ustalone dla wód będących środowiskiem życia ryb karpiowatych. Wskaźnikami degradującymi wody był: tlen rozpuszczony, azotyny, fosfor ogólny. W 2011 roku zostały spełnione kryteria określone w rozporządzeniu, zgodnie z którymi wody rzeki Wisłoki w punkcie pomiarowo-kontrolnym Krempna–Kotań są przydatne do bytowania ryb łososiowatych.

Warunki hydrogeologiczne na terenie MPN są bezpośrednio związane z budową geologiczno-strukturalną. Wody podziemne występują tutaj w dwóch horyzontach wodonośnych: trzeciorzędowym i czwartorzędowym. Należy podjąć kompleksowy monitoring w MPN, który pozwoliłby oprócz analizy indywidualnych cech klimatu i mikroklimatów zbadać emisję zanieczyszczeń powietrza, określić szkody w zbiorowiskach roślinnych wywołane kwaśnymi deszczami oraz podjąć działania zapobiegające ujemnym skutkom tych zjawisk.

Słowa kluczowe: jakość wód, monitoring, badania hydrologiczne

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Galina Kalda, Politechnika Rzeszowska, 35-084 Rzeszów, ul. Poznańska 2, tel. (17) 8651068, e-mail: kaldagal@prz.edu.pl

² Tomasz Liszka, Politechnika Rzeszowska, 35-084 Rzeszów, ul. Poznańska 2, tel. 784366870, e-mail: liszka123-s@02.pl

1. Wprowadzenie

Przed wiekami przyroda rządziła się swoimi prawami, niestety człowiek zaczął ją przekształcać na własne potrzeby. Nieznajomość procesów zachodzących w przyrodzie często powodowała negatywne skutki podejmowanych działań. Już około 9000 lat wstecz zaczęto wyrębywać lasy, zakładać pola uprawne, prowadzić wypas zwierząt gospodarskich. Wtedy też zaczął się objawiać wpływ antropopresji na rzeźbę terenu i warunki hydrologiczne. Wiek XX to czas szybkiego rozwoju cywilizacji, techniki i jednocześnie zwiększenia ingerencji człowieka w przyrodę. Zmiany w jednym składniku przyrody często powodują zmiany w pozostałych jej składnikach. Znacznemu pogorszeniu uległa jakość wód. Mimo że zasoby wodne świata są duże, niestety tylko nieznaczna ich ilość nadaje się do wykorzystania – tylko 3% wody to woda słodka. W wielu częściach świata uwidacznia się jej deficyt lub jest ona skażona. Z tych też powodów niezbędna jest właściwa gospodarka zasobami wodnymi – aby ją prowadzić, należy dokładniej poznać ilość i jakość tych zasobów.

Jednym z nadrzędnych zadań Parku Narodowego jest ochrona przyrody i prowadzenie prac naukowo-badawczych. Mówi o tym art. 3 ust. 2 pkt 6 ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 roku o ochronie przyrody: *„Celem ochrony przyrody jest: utrzymanie lub przywracanie do właściwego stanu ochrony siedlisk przyrodniczych, a także pozostałych zasobów, tworów i składników przyrody”* [1]. Do realizacji tych zadań potrzebna jest podbudowa naukowa, która umożliwi racjonalną ochronę walorów przyrodniczych parku. Ochrona zasobów przyrodniczych jest możliwa, gdy zostanie zapewniona właściwa kontrola nad ich stanem. To zadanie powinna umożliwić odpowiednio zaprojektowana i wykonana sieć pomiarowa, gromadząca informacje o stanie środowiska przyrodniczego w parku i o procesach zachodzących na jego obszarze. Służby parku zostają wspomnianą ustawą o ochronie przyrody (art. 112 ust. 2) zobligowane do tego, gdyż: *„Monitoring przyrodniczy polega na obserwacji i ocenie stanu oraz zachodzących zmian w składnikach różnorodności biologicznej i krajobrazowej na wybranych obszarach, a także na ocenie skuteczności stosowanych metod ochrony przyrody, w tym na obserwacji siedlisk przyrodniczych oraz gatunków roślin i zwierząt, dla których ochrony został wyznaczony obszar Natura 2000”* [2].

Realizację postulatów może zapewnić odpowiednio zorganizowana i wyposażona w nowoczesny sprzęt naukowo-techniczny stacja badawcza, prowadząca systematyczny, zintegrowany monitoring przyrodniczy za pomocą systemów informacji przestrzennej, automatycznej stacji meteorologicznej i we współpracy z pracownikami naukowymi. Badania naukowe to fundament ochrony przyrody – bez nich nie wiemy, jak i co chronić.

Na terenie Magurskiego Parku Narodowego (MPN) nie ma ani jednego punktu wodowskazowego, ponieważ do charakterystyki wykorzystuje się dane z punktów w pobliżu MPN (Wisłoka–Krempna, Wisłoka–Żółków, Jasionka–

–Boiska, Ropa–Ropa) – jakość danych hydrometrycznych nie odbiega od przeciętnych dla Karpat.

Wiedza hydrologiczna MPN jest oparta na danych hydrometrycznych gromadzonych przez służby hydrometeorologiczne i nieliczne opracowania publikowane. Dopiero na zlecenie MPN Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska – Delegatura w Jaśle wykonał badanie wód powierzchniowych w latach 1997-1999. Punkty pomiarowo-kontrolne zostały rozmieszczone przy ujściach potoków: Ryjak, Świerzówka, Rzeszówka, Krempna, Wisznia, a także na potoku Kłopotnica w miejscu, w którym opuszcza on MPN [3].

W MPN podczas badań hydrologicznych przeprowadza się następujące rodzaje monitoringu:

- monitoring jakości wód powierzchniowych,
- monitoring wód na potrzeby bytowania ryb,
- badania hydrogeologiczne wybranych źródeł,
- inwentaryzacja źródeł,
- monitoring warunków klimatycznych.

2. Monitoring jakości wód powierzchniowych

Monitoring jakości wód powierzchniowych obejmuje badania i ocenę jakości wód, osadów wodnych rzek i jezior oraz wód zbiorników zaporowych. Celem prowadzenia badań jest stworzenie podstaw do podejmowania działań na rzecz poprawy stanu wód oraz ich ochrony przed zanieczyszczeniem, w tym ochrony przed eutrofizacją powodowaną ściekami komunalnymi i zanieczyszczeniami pochodzącymi z rolnictwa oraz ochrony przed zanieczyszczeniami przemysłowymi, a w szczególności substancjami szczególnie szkodliwymi dla środowiska wodnego.

Podstawowym aktem prawnym Unii Europejskiej dotyczącym ochrony środowiska wodnego przed zanieczyszczeniem jest dyrektywa ramowa 2000/60/EC Parlamentu Europejskiego z 23 października 2000 r. ustalająca ramy działań Wspólnoty w zakresie polityki wodnej.

Przepisy Ramowej Dyrektywy Wodnej zostały wprowadzone do polskiego prawodawstwa za pomocą ustawy z dnia 18 lipca 2001 r. – Prawo wodne, która jest podstawowym aktem prawnym regulującym zagadnienia związane z ochroną środowiska wodnego. Ustawa odwołuje się do szczegółowych rozporządzeń wykonawczych z zakresu ochrony wód powierzchniowych. Są to m.in.:

- rozporządzenie Ministra Środowiska 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.2006.137.984),
- rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody śródlądowe będące środowiskiem życia ryb w warunkach naturalnych (Dz.U.2002.176.1455),

- rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie wykazu substancji priorytetowych w dziedzinie polityki wodnej (Dz.U.2005.233.1987).

Obowiązek badania i oceny jakości wód powierzchniowych w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska wynika z art. 155a ust. 2 ustawy z dnia 18 lipca 2001 r. – Prawo wodne. Zgodnie z ust. 3 tego artykułu badania jakości wód powierzchniowych w zakresie elementów fizykochemicznych, chemicznych i biologicznych należą do kompetencji wojewódzkiego inspektora ochrony środowiska.

Zgodnie z Ramową Dyrektywą Wodną dla wód powierzchniowych przeprowadza się:

- klasyfikację stanu ekologicznego oraz potencjału ekologicznego,
- klasyfikację stanu chemicznego,
- ocenę stanu wód.

Równocześnie prowadzony jest monitoring jakości wód uwzględniający sposób ich użytkowania wynikający z warunków korzystania z wód regionu wodnego oraz charakteru ich zagrożenia. Konieczność badania tych wód oraz oceny spełniania wymagań jakościowych wynika z tzw. dyrektyw „użytkowych”, których przepisy zostały przeniesione do prawodawstwa polskiego poprzez ustawę Prawo wodne wraz z aktami wykonawczymi do tej ustawy.

W ramach monitoringu powierzchniowych wód „użytkowych” Inspekcja Ochrony Środowiska wykonuje:

- badania i ocenę jakości wód przeznaczonych do bytowania ryb w warunkach naturalnych,
- badania wpływu rolnictwa na wody powierzchniowe (zanieczyszczenie związkami azotu pochodzącymi ze źródeł rolniczych),
- badania wód pod kątem oceny stopnia eutrofizacji wód powierzchniowych,
- badania i ocenę jakości wód powierzchniowych wykorzystywanych jako źródło wody pitnej.

Ramowa Dyrektywa Wodna wprowadza dwa rodzaje stanu wód powierzchniowych: ekologiczny i chemiczny, a w przypadku wód sztucznych i silnie zmienionych zamiast stanu ekologicznego określa się potencjał ekologiczny. Stan wód powierzchniowych jest wyznaczany przez gorszy ze stanów: ekologiczny lub chemiczny. Stan ekologiczny jest oceniany przede wszystkim na podstawie występowania w wodach różnych zespołów organizmów (tzw. elementów biologicznych).

W ocenie stanu ekologicznego istotne są elementy hydromorfologiczne oraz elementy fizykochemiczne i chemiczne. Elementy hydromorfologiczne to takie cechy środowiska, które wpływają na warunki bytowania organizmów żywych (np. ciągłość rzeki, charakter podłoża, struktura strefy brzegowej). Do elementów fizykochemicznych i chemicznych zalicza się ogólne, podstawowe wskaźniki jakości wód, takie jak: warunki termiczne i tlenowe, zasolenie, substancje biogenne, stan zakwaszenia oraz syntetyczne i niesyntetyczne zanie-

czyszczenia specyficzne (np. związki chloroorganiczne, metale, środki ochrony roślin).

Ramowa Dyrektywa Wodna wprowadza pięć klas jakości stanu ekologicznego wód powierzchniowych, przy czym głównym kryterium kwalifikującym jest spełnianie wymagań ustalonych dla wód powierzchniowych wykorzystywanych do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia. Istotnym kryterium uzupełniającym w nowej klasyfikacji wód powierzchniowych są wartości biologicznych wskaźników jakości. Dla każdej z klas zostały określone graniczne wartości wskaźników jakości wody. Nowe klasy jakości wód zdefiniowano następująco:

- klasa I – wody bardzo dobrej jakości, spełniające wymagania określone dla wód powierzchniowych kategorii A1, w których wartości biologicznych wskaźników jakości wody nie wskazują na żadne oddziaływania antropogeniczne,
- klasa II – wody dobrej jakości, spełniające w odniesieniu do większości wskaźników wymagania określone dla wód powierzchniowych kategorii A2, w których wartości biologicznych wskaźników jakości wody wykazują niewielki wpływ oddziaływań antropogenicznych,
- klasa III – wody zadowalającej jakości, spełniające wymagania określone dla wód powierzchniowych kategorii A2, w których wartości biologicznych wskaźników jakości wody wykazują umiarkowany wpływ oddziaływań antropogenicznych,
- klasa IV – wody niezadowalającej jakości, spełniające wymagania określone dla wód powierzchniowych kategorii A3, w których wartości biologicznych wskaźników jakości wody wykazują zmiany jakościowe i ilościowe w populacjach biologicznych powstałe na skutek oddziaływań antropogenicznych,
- klasa V – wody złej jakości, niespełniające wymagań jakościowych dla wód wykorzystywanych do zaopatrzenia w wodę przeznaczoną do spożycia; wartości biologicznych wskaźników jakości wody wykazują zmiany powstałe na skutek oddziaływań antropogenicznych, polegające na zaniku występowania znacznej części populacji biologicznych.

Drugim składnikiem oceny stanu wód powierzchniowych jest stan chemiczny, określany na podstawie występowania substancji priorytetowych wymienionych w załączniku X Ramowej Dyrektywy Wodnej, dla których dopuszczalne wartości emisji i środowiskowe normy jakości są przywołane w załączniku IX Ramowej Dyrektywy Wodnej.

W systemie monitoringu wód powierzchniowych Ramowa Dyrektywa Wodna wprowadza trzy rodzaje monitoringu:

- diagnostyczny,
- operacyjny,
- badawczy.

Monitoring diagnostyczny ma przede wszystkim dostarczyć informacji o stanie wód na obszarze dorzecza, które będą wykorzystane podczas opracowywania planów gospodarowania wodami w dorzeczu. Ma być również źródłem danych do oceny długoterminowych zmian wód, będących wynikiem procesów naturalnych oraz presji antropogenicznej.

Monitoring operacyjny ma na celu ustalenie stanu tych części wód, które zostały zaliczone do zagrożonych ryzykiem niespełnienia celów środowiskowych oraz śledzenie zmian stanu tych części wód wynikłych z podjętych programów naprawczych. Monitoring badawczy zaś będzie prowadzony na tych częściach wód, w przypadku których należy dopiero ustalić przyczyny niespełnienia celów środowiskowych oraz dla określenia wielkości i wpływów przypadkowego zanieczyszczenia.

Zakres badań stanu jakości wód powierzchniowych i podziemnych obejmuje ponad 50 wskaźników jakości ujętych w ośmiu grupach wskaźnikowych [4]:

- wskaźniki fizyczne – temperatura wody, zapach, barwa, zawiesiny ogólne, odczyn,
- wskaźniki tlenowe – tlen rozpuszczony, BZT5, ChZT-Mn, ChZT-Cr, ogólny węgiel organiczny,
- wskaźniki biogenne – amoniak, azot Kjeldahla, azotany, azotyny, azot ogólny, fosforany, fosfor ogólny,
- wskaźniki zasolenia – przewodność elektryczna właściwa, substancje rozpuszczone, zasadowość ogólna, siarczany, chlorki, wapń, magnez, fluorki,
- metale, w tym metale ciężkie,
- wskaźniki zanieczyszczeń przemysłowych – cyjanki wolne, fenole, pestycydy (lindan i dieldryna), substancje powierzchniowo-czynne anionowe, oleje mineralne, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne,
- wskaźniki biologiczne – saprobowość fitoplanktonu i peryfitonu, makrobezkręgowce bentosowe, chlorofil „a”,
- wskaźniki mikrobiologiczne – liczba bakterii grupy coli typu kałowego, liczba bakterii grupy coli.

Jakość wód zlewni Wisłoki była badana w pięciu punktach pomiarowych w ujściowych odcinkach potoków: Ryjak, Świerzówka, Reszówka, Krempna, Wisznia, Kłopotnica. W Krempnej jest to stały punkt pomiarowy (obecnie Krempna–Kotań). Pozostałe potoki były objęte badaniami w latach: 1997, 1999, 2005, 2011.

Próbki wody były pobierane jeden raz w miesiącu, natomiast badania wskaźników z poszczególnych grup były wykonywane z różną częstotliwością. Co miesiąc w wodach oznaczano wskaźniki fizyczne, tlenowe, biogenne oraz wskaźniki zasolenia i mikrobiologiczne, jeden raz w kwartale badano zaś wskaźniki biologiczne oraz metale. Wskaźniki zanieczyszczeń przemysłowych oraz makrobezkręgowce bentosowe oznaczano jeden raz w roku.

Dla każdego wskaźnika zmierzonego z częstotliwością jeden raz w miesiącu wyznaczono wartość stężenia odpowiadającą percentylowi 90, a przy mniejszej częstotliwości badań przyjęto najmniej korzystne wartości stężeń. Klasę jakości wód powierzchniowych określono, porównując wartości stężeń poszczególnych wskaźników z wartościami granicznymi i przyjmując klasę, która obejmuje łącznie z wyższymi klasami 90% liczby wskaźników. Rozporządzenie dopuszcza pominięcie podczas ustalania klas wskaźników występujących w warunkach naturalnych w podwyższonych stężeniach. W przypadku niektórych rzek województwa podkarpackiego do wskaźników tych należą np.: mangan, żelazo, odczyn w górnych biegach rzek karpackich.

Analizując stan czystości wód zlewni Wisłoki, porównano wartości podstawowych wskaźników w latach 1997-2011 (punkt kontrolny Krempna-Kotań).

Temperatura powietrza w ciągu ostatniego dziesięciolecia jednoznacznie wskazuje, że temperatura na powierzchni kuli ziemskiej wzrasta. Jest to spowodowane efektem cieplarnianym, którego przyczyną jest emisja gazów cieplarnianych do atmosfery. Dalsza emisja gazów cieplarnianych może już w ciągu kilku dziesięcioleci wpłynąć na globalne zmiany klimatyczne i hydrologiczne na powierzchni Ziemi.

Woda jest specyficznym związkiem, który odmiennie oddziałuje na zmiany temperatury w stosunku do innych związków. Swoją największą gęstość osiąga w temperaturze 4°C, a powyżej i poniżej tej temperatury jej gęstość maleje. Długo się też nagrzewa i długo oddaje ciepło, przez co tendencje są trudniej zauważalne w przypadku temperatury maksymalnej i minimalnej. Tendencje te są najlepiej widoczne dla temperatury średniej. Tendencja wzrostowa jest następstwem wzrostu temperatury powietrza w wyniku efektu cieplarnianego.

3. Monitoring wód na potrzeby bytowania ryb

Monitoring wód na potrzeby bytowania ryb określa rozporządzenie Ministra Środowiska z 4 października 2002 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody śródlądowe będące środowiskiem życia ryb w warunkach naturalnych. Rozporządzenie to transponuje do prawa polskiego postanowienia Dyrektywy Rady 78/659/EWG w sprawie słodkich wód wymagających ochrony lub poprawy dla zachowania życia ryb. Definiuje ono wymagania, jakim powinny odpowiadać wody wyznaczone dla ryb łososiowatych i karpowatych oraz określa sposoby prowadzenia badań i oceny jakości wód w celu ochrony lub poprawy jakości wód będących naturalnym środowiskiem życia ryb i wód, które w przypadku zmniejszenia lub wyeliminowania zanieczyszczenia mogą stać się środowiskiem życia ryb oraz ochrony zdrowia konsumenta ryb.

Woda, która stanowi lub może stanowić naturalne środowisko życia ryb łososiowatych i karpowatych, powinna spełniać określone wymagania co do temperatury, odczynu, zawartości tlenu rozpuszczonego, azotu amonowego, niejonowego amoniaku, azotynów, fosforu ogólnego, całkowitego chloru pozosta-

łego, cynku ogólnego i miedzi rozpuszczonej. Nie może zawierać związków fenolowych i węglowodorów ropopochodnych w ilościach powodujących pogorszenie smaku ryb, tworzenie widocznej warstwy na powierzchni i szkodliwe skutki dla ryb. W ocenie wód nie uwzględnia się wyników niespełniających wymagania określone w rozporządzeniu, jeśli naruszenie wymagań nastąpiło na skutek powodzi lub innych klęsk żywiołowych, a w przypadku zawiesin ogólnych pomija się wyniki uzyskane z prób pobranych podczas wyjątkowych warunków atmosferycznych (opady deszczu, topnienie śniegu, susza).

Przepisów tego rozporządzenia nie stosuje się do wód służących do celów hodowlanych. Występowanie gatunków ryb zależy przede wszystkim od temperatury wody, zasobności w tlen i rodzaju podłoża. Warunki środowiskowe kształtowane przez klimat, stosunki geologiczne i glebowe, ukształtowanie koryta rzeki i jej brzegów, a także przez roślinność, ulegają stopniowej zmianie wraz z biegiem rzeki.

Zgodnie z ustawą Prawo wodne dla każdego regionu wodnego zostały opracowane wykazy wód powierzchniowych przeznaczonych do bytowania ryb w warunkach naturalnych oraz umożliwiających migrację ryb. Według wykazów sporządzonych przez Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Krakowie rzeki województwa podkarpackiego są przeznaczone do bytowania ryb łososiowatych i karpiowatych.

Badania wykazały, że wody rzeki Wisłoki spełniały wymagania ustalone dla wód będących środowiskiem życia ryb karpiowatych. Wskaźnikami degradującymi wody był: tlen rozpuszczony, azotyny, fosfor ogólny. W 2011 roku zostały spełnione kryteria określone w rozporządzeniu, zgodnie z którymi wody rzeki Wisłoki w punkcie pomiarowo-kontrolnym Krempna–Kotań są przydatne do bytowania ryb łososiowatych. W tabeli 1. zamieszczono ocenę przydatności wód do bytowania ryb w zlewni rzeki Wisłoka w punkcie pomiarowym Krempna–Kotań.

Tabela 1. Ocena przydatności wód do bytowania ryb w zlewni rzeki Wisłoka w punkcie pomiarowym Krempna–Kotań

Table 1. Suitability for fish habitat in the Wisłoka River assessment at the measuring point Krempna–Kotań

Rzeka	Punkt pomiarowy		Kraina ryb według wykazu RZGW	Dominujące gatunki ryb łososiowatych według wykazu RZGW	Przydatność wód do bytowania ryb	Wskaźniki degradujące wody
	nazwa	[km]				
Wisłoka	Krempna–Kotań	146,3	kraina pstrąga	pstrąg potokowy	łososiowate karpiowate	BZT ₅ , azotyny, fosfor ogólny
Ryjak	ujście do Wisłoki	0,4	kraina pstrąga	pstrąg potokowy	łososiowate karpiowate	-
Wilsznia	ujście do Wisłoki	1,3	kraina pstrąga	pstrąg potokowy	łososiowate karpiowate	-

W Magurskim Parku Narodowym dopiero po 1998 roku dokonano gruntownych badań ichtiofauny zlewni górnej Wisłoki. Objęto nimi trzy największe ciekę MPN: Wisłokę, Ryjak i Wisznię oraz pięć mniejszych potoków, takich jak: Krempna, Baranie, Hucianka, Reszówka, Świerzówka. Badania wykazały, że dominującym gatunkiem jest strzelba potokowa i pstrąg potokowy. Stwierdzono także występowanie głowacza przegopłowego, klenia, brzanki, lipienia.

4. Badania hydrogeologiczne wybranych źródeł Magurskiego Parku Narodowego

Warunki hydrogeologiczne na terenie Magurskiego Parku Narodowego są bezpośrednio związane z budową geologiczno-strukturalną. Wody podziemne występują tutaj w dwóch horyzontach wodonośnych: trzeciorzędowym i czwartorzędowym. Wody zbiornika trzeciorzędowego występują w ośrodku szczelinowo-porowym. Utwory, w których są zlokalizowane warstwy wodonośne, charakteryzują się dużą zmiennością warunków hydrogeologicznych na niewielkich przestrzeniach, w dużej mierze uzależnioną od tektoniki obszaru. Główny poziom wodonośny występuje w obrębie trzeciorzędowych piaskowców i zlepieńców.

W ramach Monitoringu Regionalnego Jakości Wód Podziemnych opróbowano wstępnie trzy punkty badawcze (Zakład Hydrogeologii i Ochrony Wód AGH):

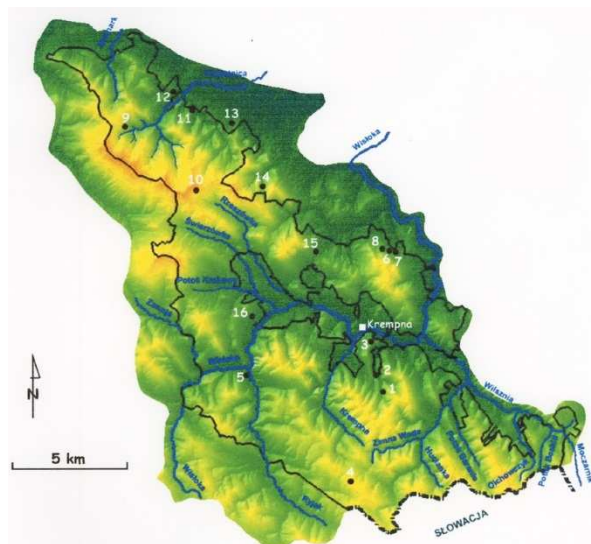
- w miejscowości Folsz,
- na Magurze,
- w miejscowości Ciachania.

Próbki wód podziemnych pobierano dwukrotnie w sierpniu i listopadzie. Punktami badawczymi były źródła znajdujące się na terenach leśnych. Żaden z tych punktów nie znajduje się na obszarze Głównych Zbiorników Wód Podziemnych. Badania wykazały, że wody podziemne są najwyższej jakości (klasa Ia) i dobrej jakości (klasa Ib). Punkty te wchodziły w skład sieci monitoringu dla dorzecza górnej Wisły. Jego założenia zostały opracowane przez Akademię Górniczo-Hutniczą w Krakowie na zlecenie Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Krakowie. Dalsze badania nie były jednak prowadzone ze względu na brak środków finansowych.

Poziom trzeciorzędowy w większości jest przykryty o niewielkiej miąższości warstwą wietrzelin i osadów deluwialnych, z czego wynika, że nie jest najlepiej izolowany od powierzchni terenu. Jest szczególnie podatny na zanieczyszczenia w obszarach dolin rzecznych od wód zbiornika czwartorzędowego, w którym pozostaje w ścisłym związku hydraulicznym.

Wody zbiornika czwartorzędowego mają charakter porowy. Jest to poziom przypowierzchniowy, pozostający w bezpośrednim kontakcie z powierzchnią ziemi, reagujący bezpośrednio na zaistniałe warunki meteo- i hydrologiczne. Najlepsze warunki do gromadzenia się i przepływu wód podziemnych występują

w dobrze przepuszczalnych utworach aluwialnych rzeki Wisłoki. Lokalizacje badanych źródeł przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Lokalizacja badanych źródeł na obszarze Magurskiego Parku Narodowego

Fig. 1. Location studies sources in the Magura National Park

W czerwcu 2011 roku pobrano jeszcze trzy próbki: jedną próbkę wody z Wisłoki (w pobliżu mostu w Świątkowej Małej) i dwie próbki wody opadowej w Kremnej dla porównania wartości pH i przewodnictwa elektrolitycznego właściwego. Analizę połową przeprowadzono za pomocą przenośnych urządzeń firmy ELMETRON. W ramach tych badań wykonano pomiary parametrów fizykochemicznych (pH, potencjału redoks, przewodnictwa elektrolitycznego właściwego i temperatury).

Próbki do pełnych analiz chemicznych pobrano zgodnie z zaleceniami opracowanymi dla Mapy Geochemicznej Europy. Poddano je badaniu w Centralnym Laboratorium Chemicznym Państwowego Instytutu Geologicznego w Warszawie.

Typy chemiczne badanych wód określono metodą Alowskiego–Szwieca. Zostały one wyznaczone na podstawie koncentracji pięciu podstawowych jonów (Ca^{2-} , Mg^{2-} , Na^{2-} , HCO_3^- , SO_4^-). Jakość wód ze źródeł ustalono na podstawie klasyfikacji na potrzeby monitoringu wód podziemnych [5].

Wody w większości badanych źródeł mają charakter zasadowy (pH 7,10÷8,35). Tylko dwa źródła: pod Magurę i na Górze Mrukowej mają wartości pH zbliżone do wód opadowych, co świadczy o ich krótkim obiegu w górotworze. Zasadowy charakter wód ze źródeł wynika z obecności spoiwa wapnisteo w piaskowcach magurskich budujących formacje skalne na badanym obszarze. W miejscach wypływu dwóch wysięków w Hucie Krempskiej stwierdzono obecność martwicy wapiennej powstałej w wyniku reakcji fotosyntezy. Prze-

wodnictwo elektrolityczne waha się od 92 (źródło pod Magurą) do 730 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (wysięk w Hucie Krempskiej).

Potencjał redoks ujawnił na ogół wartości dodatnie (21,8÷310,9 mV), co świadczy o warunkach utleniających. Wyjątek stanowią dwa źródła, tj. Jaszcz i studnia w rejonie osuwiska w Świątkowej. Redokcyjny charakter tych wód wynika z obecności rozpuszczonego w nich siarkowodoru.

Zasadowość ogólna waha się od 80 mg $\text{CaCO}_3/\text{dm}^3$ (wysięk pod Kolaninem) do 448 mg $\text{CaCO}_3/\text{dm}^3$ (wysięk w Hucie Krempskiej). Mineralizacja (suma koncentracji anionów i kationów) badanych wód nie przekracza 1000 mg/ dm^3 . Jej wartość waha się od 71 mg/ dm^3 w źródle pod Magurą do 780 mg/ dm^3 w Hucie Krempskiej, wykazując dodatnią korelację z zasadowością ogólną i wartościami przewodnictwa elektrolitycznego właściwego. Badane wody należą więc do wód słodkich. Wśród jonów najwyższe koncentracje osiągnęły wodorowęglany HCO_3^- (od 13 mg/ dm^3 w źródle pod Magurą do 547 mg/ dm^3 (w Hucie Krempskiej), a jony SO_4 – od 1 mg/ dm^3 (w Hucie Krempskiej) do 63 mg/ dm^3 (w Hucie Krempskiej).

Największe koncentracje jonu amonowego i azotynowego zanotowano w wysięku pod Kolaninem, natomiast azotanowego w źródle na Górze Kobyła. Wyższe zawartości jonów azotu stwierdzono w źródłach o niewielkiej wydajności i małej prędkości przepływu, co wskazuje na ich pochodzenie biogeniczne (z rozkładu materii organicznej).

Zawartości jonów Cl^- wahają się od 1,17 do 5,42 mg/ dm^3 . Jony PO_4^- i Br^- występują poniżej granicy wykrywalności dla stosowanej metody analitycznej. Najwyższe koncentracje siarczanów i chlorków zarejestrowano w Hucie Krempskiej, natomiast wodorowęglanów i fluorków w Hucie Krempskiej.

W grupie kationów zanotowano najwyższe koncentracje:

- jonów glinu – w źródle na górze Kobyłej i w wysięku pod Kolaninem (0,20 mg/ dm^3),
- jonów boru – w wysięku w Krempej (1,08 mg/ dm^3),
- jonów baru – w rejonie osuwiska w Świątkowej (0,317 mg/ dm^3),
- jonów wapnia – w Hucie Krempskiej (114,7 mg/ dm^3),
- jonów magnezu – w źródle w Świątkowej (23,0 mg/ dm^3),
- jonów strontu – w źródle w Świątkowej (0,9 mg/ dm^3),
- jonów litu – w Hucie Krempskiej (0,112 mg/ dm^3),
- sodu – w Hucie Krempskiej (214,31 mg/ dm^3),
- potasu – w Hucie Krempskiej (8,5 mg/ dm^3),
- jonów żelaza – w źródle na Górze Kamień (0,62 mg/ dm^3),
- jonów manganu – w źródle na Górze Kamień (2,71 mg/ dm^3),
- jonów SiO_2 – w źródle na Górze Jałszcz (15,3 mg/ dm^3),
- jonów arsenu, kadmu i ołowiu – poniżej granicy wykrywalności.

W przypadku anionów i kationów nastąpił wzrost koncentracji jonów NO_3^- i Ca oraz spadek: NO_4^- , SO_4^- , Cl_4^- , Cu, Fe, Hg, Mg, Pb, Zn, Ni, Al.

5. Wyniki badań jakości wód

Obok typów chemicznych wód podziemnych charakterystycznych dla klimatu umiarkowanego, tzn. $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ i $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$, na badanym obszarze występują też wody zanieczyszczone jonami SO_4^{2-} i Na^+ . Omawiane wody należą więc do grupy A oraz B_1 , czyli wód zanieczyszczonych o zmiennym składzie chemicznym, w których o typie chemicznym decyduje jeden z jonów SO_4^{2-} lub Na^+ . Grupa A stanowi 44%, natomiast B_1 – 56%. W południowej części obszaru parku dominują wody grupy A, natomiast w północnej przeważają wody grupy B_1 .

Można stwierdzić, że w Magurskim Parku Narodowym wody źródlane należą do wód słodkich wykazujących pewne zróżnicowanie pod względem chemizmu i jakości. Najniższe wartości pH i mineralizacji wykazuje źródło pod Magurą, natomiast najwyższe – w Hucie Krempskiej. Koncentracja metali ciężkich w badanych wodach nie przekracza dopuszczalnych norm. Analiza składu chemicznego badanych źródeł wskazuje na zanieczyszczenia pochodzenia geologicznego związanego z obecnością wkładek skał piroklastycznych w obrębie piaskowców magurskich. Przekroczenie dopuszczalnej koncentracji NO_4^+ i NO_2^- pod Kolaninem może świadczyć o biogenicznym pochodzeniu azotu (z rozkładu materiału organicznego przez mikroorganizmy).

Badania przeprowadzono w pięciu punktach pomiarowych. Na ich lokalizację zasadniczy wpływ miało to, czy są one charakterystycznymi fragmentami pozwalającymi określić jakość wody na całej powierzchni zlewni.

Punkt pomiarowo-kontrolny nr 1 (PPK 1) był zlokalizowany na ujściu potoku Świerzówka powyżej zasięgu cofki, tj. w 0,1 km jej biegu. Elementem utrudniającym wybranie miejsca pod punkt kontrolny było wykonanie profilu poprzecznego koryta, tak aby były spełnione podstawowe warunki wykonywania profili poprzecznych. Zaletą lokalizacji tego punktu było uzyskanie wyników jakości wody po przepłynięciu jej przez miejscowość Świątkowa Wielka tuż przed zakończeniem jej biegu do Wisłoki.

Punkt pomiarowo-kontrolny nr 2 (PPK 2) był zlokalizowany na potoku Świerzówka w 1,4 km jej biegu, licząc od ujścia. Powodem lokalizacji było uzyskanie wyników jakości wody przed największym dopływem potoku Świerzówka, jakim jest potok Krokowy.

Punkt pomiarowo-kontrolny nr 3 (PPK 3) został zlokalizowany w 1,3 km jej biegu za największym dopływem Świerzówki – potokiem Krokowym, punkt pomiarowo-kontrolny nr 4 (PPK 4) zaś na potoku Krokowy w 0,4 km jego biegu. Punkty 2-4 pozwoliły określić wpływ największego dopływu potoku Krokowy na jakość wody potoku Świerzówka.

Punkt pomiarowo-kontrolny nr 5 (PPK 5) zlokalizowano w 4,4 km biegu potoku Świerzówki przed miejscowością Świątkowa Wielka, za nieistniejącą miejscowością Świerzowa Ruska. Lokalizacja tego punktu pozwoliła określić jakość wody niezakłóconą działalnością człowieka.

Wyniki badań przeprowadzonych w poszczególnych punktach kontrolnych przedstawiono w tab. 2-6.

Tabela 2. Pomiar wody w punkcie kontrolnym nr 1 – PPK 1

Table 2. Water measurement of the control point no. 1 – PPK 1

Data	Parametr						
	temperatura powietrza <i>tp</i> [°C]	temperatura wody <i>tw</i> [°C]	odczyn pH	konduktancja w temperaturze <i>tw</i> [μS/cm]	konduktancja w temperaturze 20°C [μS/cm]	stan wody [m]	azot azotanowy mg/N-NO
02.10.2011 r.	12,38	7,37	6,89	108	120,93	0,26	-
16.10.2011 r.	6,79	5,98	6,87	112	124,99	0,26	-
30.10.2011 r.	2,76	4,96	6,93	103	114,95	0,28	-
10.11.2011 r.	3,2	4,82	6,92	99	110,48	0,29	0,89
Średnia	6,28	5,78	6,90	105,50	117,84	0,27	-

Tabela 3. Pomiar wody w punkcie kontrolnym nr 2 – PPK 2

Table 3. Water measurement of the control point no. 2 – PPK 2

Data	Parametr					
	temperatura powietrza <i>tp</i> [°C]	temperatura wody <i>tw</i> [°C]	odczyn pH	konduktancja w temperaturze <i>tw</i> [μS/cm]	konduktancja w temperaturze 20°C [μS/cm]	stan wody [m]
02.10.2011 r.	12,81	7,43	6,78	81	90,40	0,24
16.10.2011 r.	8,32	6,03	6,8	87	97,09	0,24
30.10.2011 r.	4,26	4,51	6,84	83	92,63	0,26
10.11.2011 r.	4,72	4,58	6,81	78	87,05	0,27
Średnia	7,53	5,64	6,81	82,25	91,79	0,25

Tabela 4. Pomiar wody w punkcie kontrolnym nr 3 – PPK 3

Table 4. Water measurement of the control point no. 3 – PPK 3

Data	Parametr					
	temperatura powietrza <i>tp</i> [°C]	temperatura wody <i>tw</i> [°C]	odczyn pH	konduktancja w temperaturze <i>tw</i> [μS/cm]	konduktancja w temperaturze 20°C [μS/cm]	stan wody [m]
02.10.2011 r.	12,57	7,39	6,86	82,00	91,51	0,23
16.10.2011 r.	8,27	6,01	6,88	82,00	91,51	0,23
30.10.2011 r.	4,23	4,48	6,87	80,00	89,28	0,25
10.11.2011 r.	4,69	4,51	6,91	78,00	87,05	0,26
Średnia	7,44	5,60	6,88	80,50	89,84	0,24

Tabela 5. Pomiar wody w punkcie kontrolnym nr 4 – PPK 4

Table 5. Water measurement of the control point no. 4 – PPK 4

Data	Parametr					
	temperatura powietrza t_p [°C]	temperatura wody t_w [°C]	odczyn pH	konduktancja w temperaturze t_w [μ S/cm]	konduktancja w temperaturze 20°C [μ S/cm]	stan wody [m]
02.10.2011 r.	11,94	7,12	6,93	83	92,63	0,23
16.10.2011 r.	7,98	5,93	6,94	81	90,40	0,23
30.10.2011 r.	3,9	4,61	7,01	78	87,05	0,25
10.11.2011 r.	4,12	4,79	7,09	76	84,82	0,26
Średnia	6,99	5,61	6,99	79,50	88,73	0,24

Tabela 6. Pomiar wody w punkcie kontrolnym nr 5 – PPK 5

Table 6. Water measurement of the control point no. 5 – PPK 5

Data	Parametr						
	temperatura powietrza t_p [°C]	temperatura wody t_w [°C]	odczyn pH	konduktancja w temperaturze t_w [μ S/cm]	konduktancja w temperaturze 20°C [μ S/cm]	stan wody [m]	azot azotanowy mg/N-NO
02.10.2011 r.	13,27	8,15	7,18	73	81,47	0,22	
16.10.2011 r.	8,17	5,97	7,18	71	79,24	0,22	
30.10.2011 r.	3,54	4,47	7,21	68	75,89	0,24	
10.11.2011 r.	3,96	4,96	7,24	66	73,66	0,25	0,73
Średnia	7,24	5,89	7,20	69,50	77,57	0,23	

W punkcie kontrolnym PPK 1 średnia temperatura wody wynosi 5,78°C. Jest to temperatura zawierająca się w dolnych granicach przedziału pierwszej klasy jakości wody. Tak niska temperatura wody wpływa znacznie na zawartość azotu azotanowego w wodzie 0,73 mg/l, co świadczy o dużej czystości tej wody. Wiadomo, że temperatura ma duży wpływ na przebieg procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych zachodzących w wodzie. Wzrost temperatury powoduje zwiększenie biologicznego zapotrzebowania na tlen, przyspieszenie procesu utleniania amoniaku do azotanów, co w efekcie prowadzi do deficytu tlenowego w wodzie. Jeżeli temperatura wody wzrosłaby o dziesięć stopni, nastąpi podwojenie reakcji, a jakość wody w punkcie kontrolnym PPK 1 pozostanie w pierwszej klasie jakości ze względu na zawartość azotu azotanowego.

Wskaźnikiem jakości wody jest odczyn PH, którego średnia w tym punkcie wynosi 6,90. Jest to odczyn kwaśny, klasyfikujący tę wodę do pierwszej klasy jakości. Na wynik znaczny wpływ miały warunki atmosferyczne panujące w trakcie trwania badań. Były to częste deszcze, które mogły spowodować obniżenie PH.

Kolejnym parametrem pomierzonym w tym punkcie jest konduktancja. Wyniki zostały przeliczone dla 20°C. Średnia konduktancji dla PPK 1 wynosi 117,84 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Jest to kolejny parametr potwierdzający pierwszą klasę jakości wody, ponieważ istnieje ścisła zależność pomiędzy konduktancją a zawartością jonów w wodzie, które pochodzą z pochłoniętych gazów (CO_2 , SO_2 , NH_3) oraz z substancji organicznych. Wynik pomiaru jest więc miarą zawartości rozpuszczalnych nieorganicznych substancji naturalnych oraz nieorganicznych zanieczyszczeń.

Wyniki w kolejnych próbach i punktach kontrolnych nie odbiegały znacznie od siebie. Średnia temperatura wody dla wszystkich punktów kontrolnych w okresie wykonywania pomiarów wahała się od 5,60°C do 5,89°C. Średnia konduktancji w poszczególnych punktach pomiarowych mieści się w granicach 77,57÷117,84. Średni najniższy stan wody w punkcie kontrolnym wyniósł 0,23 m, a najwyższy 0,27 m, średnia zaś odczynu PH badana w kolejnych punktach – w granicach 6,90÷7,20. Dlatego też woda we wszystkich punktach kontrolnych, podobnie jak w punkcie kontrolnym nr 1, spełniała normy jakości wody pierwszej klasy, różniła się jedynie odczynem PH. W punkcie kontrolnym nr 5 położonym przed miejscowością Świątkowi Wielka woda ma odczyn obojętny (PH = 7), co nie wpływa na klasę jakości wody.

Przeprowadzone badania częściowo potwierdziły, że woda w zlewni potoku Świerzówka przed wsią Świątkowi Wielka należy do I klasy jakości, a przy ujściu do II klasy jakości. Badania wykazały, że zarówno przed wsią, jak i przy ujściu woda należy do I klasy jakości.

Na tak dobry wynik duże znaczenie miało wstąpienie Polski do Unii Europejskiej i związane z tym dotacje dla rolnictwa. Gospodarze ograniczyli stosowanie nawozów sztucznych, pobudowali gnojowiki i szamba. Zlikwidowano dzikie wysypiska śmieci.

6. Podsumowanie

Należy pamiętać, że główną rzeką Magurskiego Parku Narodowego jest Wisłoka. Jej zlewnia, którą tworzy 166 zlewni cząstkowych, posiada małą retencyjność i wysoką podatność na odnawianie wód podziemnych. Reżim hydrologiczny wód zlewni Wisłoki to górski reżim niewyrównany o zasilaniu deszczowo-gruntowo-śnieżnym i wezbraniach w okresie wiosennym, letnim i wczesnozimowym. Wiedza na temat hydrologii MPN jest niedostateczna, dlatego też należy prowadzić badania i monitoring dotyczący wód powierzchniowych i podziemnych oraz warunków klimatycznych.

Wody potoków zasilających Wisłokę mieszczą się w I lub II, rzadko w III klasie czystości (potok Wisznia). Wody źródlane MPN należą do wód słodkich, wykazujących pewną zróżnicowanie pod względem chemizmu i jakości. Wody większości źródeł mają charakter zasadowy.

Stan czystości wód powierzchniowych nie jest zadowalający i dla osiągnięcia planowanej I klasy czystości konieczne jest podjęcie działań inwestycyjnych. Powinny one zmierzać do polepszenia stanu sanitarnego wód poprzez kompleksową poprawę gospodarki wodno-ściekowej oraz edukację ekologiczną społeczeństwa. Należy poprawić obecny reżim wód poprzez zwiększenie retencji zlewni dla częściowego wyrównania przepływów i ograniczenia czasu trwania niekorzystnych stanów niżowych poprzez odtwarzanie i utrzymanie obiektów „małej retencji” oraz ograniczenie działań gospodarczych powodujących erozję gleb na stokach oraz erozję koryt cieków wodnych.

Należy podjąć kompleksowy monitoring w MPN, który pozwoliłby, oprócz zbadania indywidualnych cech klimatu i mikroklimatów, dokonać analizy emisji zanieczyszczeń powietrza, określić szkody w zbiorowiskach roślinnych wywołane kwaśnymi deszczami oraz podjąć działania zapobiegające ujemnym skutkom tych zjawisk.

Literatura

- [1] Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody (Dz.U. 2004 Nr 92, poz. 880).
- [2] http://pl.wikipedia.org/wiki/Natura_2000.
- [3] Bors P.: Inwentaryzacja źródeł oraz analiza jakości wód zlewni potoku Krempna, Krosno 2006.
- [4] <http://www.typinski.pl/>.
- [5] Mignaszewski Z., Gałuszkah A., Styrbia K.: Chemizm i jakość wód z wybranych źródeł na obszarze Magurskiego Parku Narodowego. Kielce 2002.

DEVELOPMENT OF HYDROLOGY OF MAGURA NATIONAL PARK

Summary

The paper represents monitoring quality of the surface waters, and also those necessary for fish farming. There has been conducted hydrological research of the selected water springs.

Protection of natural resources is possible when will be appropriate control of their condition. This task should allow for appropriate to project and made measuring network, gathering information about the state of natural environment in the Park and about processes occurring in the area. The Park services are mentioned of the Nature Conservation Act.

In MPN, in extent hydrological research carry out following types of monitoring: surface water quality monitoring, water fish habitat monitoring, hydrological studies of selected sources, sources inventory, the climatic conditions monitoring. Surface water quality monitoring includes research and of water quality assessment, water sediments of rivers, lakes and water and protection from pollution, including protection from eutrophication caused by municipal wastewater and pollution comes from agricultural and protection against industrial pollution in particular substances particularly harmful to the aquatic environment.

Studies have shown that the Wisłoka River water meet the requirements established for the waters of carp fish habitat. Indicators degrading water was: dissolved oxygen, nitrite, total phosphorus. Whereas in 2011 the criteria set out in Regulation have been met water from Wisłoka River in point measurement control Krempna–Kotań are useful for salmonid habitat.

Hydrological conditions in the Magura National Park are directly related to the geological and structural construction. Groundwater are presents here into aquifers horizons: tertiary and quaternary.

Should a comprehensive monitoring in MPN undertake with would allow besides examination of the individual nature of the climate and microclimates, explore emission of air pollution, identify the damage implant communities caused by acid rain and take measures to prevent the adverse effects of the phenomenal.

Keywords: quality of waters, monitoring, hydrological research

DOI:10.7862/rb.2013.59

Przesłano do redakcji: 03.09.2013 r.

Przyjęto do druku: 13.11.2013 r.

Michał KRUPA¹

PRZEMIANY PRZESTRZENNE SKAWINY NA TLE STOSUNKÓW GOSPODARCZYCH W PIERWSZEJ POŁOWIE XIX WIEKU

Praca dotyczy przemian przestrzennych, jakie zaszły w tkance urbanistycznej miasta Skawiny w pierwszej połowie XIX wieku na tle stosunków gospodarczych panujących w mieście. Skawina jest położona około 15 km na południowo-zachód od Krakowa. Obecnie przez wielu jest kojarzona jako miasto przemysłowe związane z hutą aluminium oraz elektrownią. Mało kto wie, że została założona jeszcze w średniowieczu przez króla Kazimierza Wielkiego. Położenie przy ówczesnej granicy państwa oraz na ważnych w owych czasach traktach handlowych łączących Śląsk oraz Morawy z Zagłębiem Solnym na ziemi krakowskiej spowodowało, że do połowy XVII wieku miasto bardzo dobrze się rozwijało i było liczącym się ośrodkiem handlowym. Regres gospodarczy był spowodowany głównie zniszczeniami wojennymi w trakcie „potopu szwedzkiego”. W 1772 roku w wyniku pierwszego rozbioru Polski Skawina znalazła się w zaborze austriackim, w utworzonej wówczas prowincji cesarstwa zwanej Galicją. Była wówczas małym miastem rolniczo-handlowym z relikami średniowiecznych umocnień obronnych świadczących o jej dawnej pozycji. Symptomy podniesienia się miasta z marazmu pojawiły się dopiero w drugiej połowie XIX wieku, kiedy w Skawinie zaczęto wznosić pierwsze zakłady przemysłowe. Kolejne ożywienie gospodarcze nastąpiło w momencie uruchomienia linii kolejowej z Krakowa do Oświęcimia przez Skawinę. Zaowocowało to budową kolejnych zakładów, a także zmianami w układzie urbanistycznym miasta. Zmiany te zostały przeprowadzone głównie w otulinie średniowiecznej tkanki urbanistycznej, dzięki czemu układ urbanistyczny Skawiny z okresu lokacji nie został zniszczony.

Słowa kluczowe: Skawina, XIX wiek, układ urbanistyczny

1. Wprowadzenie

Skawina jest położona w województwie małopolskim, w odległości ok. 15 km od Krakowa w kierunku południowo-zachodnim. Miasto zostało założone w 1364 roku na mocy dokumentu lokacyjnego wydanego przez króla Kazimierza III Wielkiego. Wcześniejsze osadnictwo na tym terenie było skupione wokół

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Michał Krupa, Politechnika Rzeszowska, 35-959 Rzeszów, al. Powstańców Warszawy 12, tel. (17) 8651041, e-mail: mkrupa@prz.edu.pl

komory celnej na Skawince – rzece granicznej pomiędzy Dzielnicą Senioralną a Księstwem Oświęcimsko Raciborskim, a później (na przełomie XIII i XIV wieku) Królestwem Czeskim.

W okresie panowania Kazimierza Wielkiego Skawina była miastem nadgranicznym, położonym na traktach handlowych łączących Śląsk oraz Morawy z Zagłębiem Solnym na ziemi krakowskiej. Wpłynęło to na jej rozwój gospodarczy i przestrzenny, który trwał do połowy XVII wieku². Wówczas to na skutek zniszczeń spowodowanych walkami w trakcie potopu szwedzkiego³ miasto popadło w regres gospodarczy oraz ekonomiczny, który trwał do końca okresu staropolskiego. Skawina podzieliła tym samym los wielu innych małych miast ziemi krakowskiej, które wobec postępującej destabilizacji kraju pod względem politycznym, społecznym i gospodarczym, potęgowanym przez klęski pożarów i innych żywiołów zaczęły chylić się ku upadkowi. Wiele miast ziemi krakowskiej w wyniku tych zjawisk utraciło prawa miejskie, które Skawinie udało się zatrzymać. Przyczyn tego należy upatrywać w jej korzystnym położeniu, tj. w otulinie Krakowa – zawsze mocnego i znaczącego ośrodka, dostarczającego „czynników miastotwórczych” swoim miastom satelitarnym (zarówno w przeszłości, jak i obecnie).

W 1772 roku w wyniku I rozbioru Polski Skawina znalazła się w zaborze austriackim, w utworzonej prowincji cesarstwa zwanej Galicją. Była wówczas małym miastem rolniczo-handlowym z relikdami średniowiecznych umocnień obronnych świadczących o jej dawnej pozycji.

W końcu XVIII wieku w miastach galicyjskich zaczęły postępować znaczne przemiany przestrzenne, architektoniczne oraz funkcjonalne. Władze austriackie prowadziły konsekwentną politykę wobec miast Galicji. Rozbierano stare umocnienia obronne wokół miast jako potencjalne „punkty oporu”. Wprowadzano także wiele unowocześnień gospodarczych oraz przestrzennych. Władze austriackie popierały rozwój ekonomiczny galicyjskich miast, upatrując w nich własny interes jako państwa wielonarodowego, opartego na zyskach ze swoich prowincji. Prowadziły w tym celu określoną politykę przestrzenną, polegającą m.in. na regulacji urbanistycznej miast, porządkującej ich układy funkcjonalno-przestrzenne (np. porządkowanie linii regulacyjnych w pierzejach i ulicach często zniekształconych od czasów średniowiecza) i modernizacji układów komunikacyjnych w obszarze Galicji (m.in. Gościniec Cesarski) i na terenie miast. Wprowadzono także kolej żelazną, która radykalnie zaktywizowała pod względem gospodarczym miasta dawnej ziemi krakowskiej, znajdujące się na trasie przebiegu kolei. Taka działalność austriackiego zaborcy miała istotny wpływ na rozwój Skawiny, na inwestycje i powstanie nowych zakładów przemysłowych, przemiany architektoniczne i rozwój miejskiej infrastruktury.

² D. Kuśnierz-Krupa, Skawina w średniowieczu. Zagadnienia urbanistyczno-architektoniczne. Wydaw. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2012, s. 21.

³ Potop szwedzki przypadł na lata 1665-1660.

2. Stosunki gospodarcze w Skawinie w latach 1772-1850

W wyniku I rozbioru Polski Skawina znalazła się na terenie zaboru austriackiego, została tym samym oddzielona od Krakowa kordonem granicznym⁴. Zaborca rozpoczął na terenie miasta proces regulacji administracyjnych, który polegał m.in. na sporządzeniu wnikliwej rewizji dóbr, co opisano w dokumentach urzędowych⁵. Pierwszą taką rewizję wykonano dwa lata po pierwszym rozbiore. Lustrację tę rozpoczynającą proces porządkowania miasta podzielono na: rejestr dotyczący gruntów oraz oddzielnie rejestr „spraw osobistych” mieszkańców. Według przedmiotowego dokumentu w Skawinie w 1774 roku istniał: kościół pw. św. Szymona i Judy, kościół pw. Nawiedzenia NMP oraz drewniany pw. Św. Krzyża. W mieście było wówczas 95 domów. Mieszkańcy utrzymywali się przeważnie z rolnictwa i hodowli bydła⁶.

W latach 80. XVIII wieku na terenie miasta i gminy były prowadzone prace modernizacyjne, przede wszystkim sieci drożnej. Dowodem na to są dokumenty mówiące o pracach przy drodze do Zatora oraz przy drodze „cesarskiej” do Krakowa⁷.

W 1793 roku miało miejsce niezmiernie ważne dla gospodarki miasta wydarzenie. Cesarz Franciszek II zatwierdził miastu jej posiadłości w istniejących granicach. Przyznał także własne sądownictwo, prawo propinacji, cztery jarmarki rocznie oraz własny herb⁸, co dało szansę miastu na powolny rozwój gospodarczy.

Chwilowy liberalizm władz austriackich (na końcu XVIII wieku) w sferze administracyjnej związanej z handlem i rzemiosłem na terenie Galicji wpłynął także pośrednio na gospodarkę Skawiny. W 1795 roku magistrat zgodził się na utworzenie w mieście nowego cechu, tj. cechu stolarzy, którzy wcześniej zrzeszeni byli we wspólnym cechu ze ślusarzami. Dokument cechowy zawierał także uregulowania zawodowe, religijne oraz godło. W owym czasie stolarze skawiniscy byli znani z wykonywania pięknych tradycyjnych skrzyń zdobionych malowanymi wzorami ludowymi⁹.

W 1801 roku Skawina zajmowała obszar liczący ok. 2 tys. morgów, czyli ok. 1140 ha i miała ok. 1020 mieszkańców, wśród których było 25 osób narodowości żydowskiej. W mieście znajdował się urząd podatkowy, sąd powiatowy i gminny, poczta, kościół katolicki parafialny, kościół katolicki pw. NMP, a także szkoła gminna, zakład dla ubogich (przytułek) oraz apteka. W Skawinie

⁴ Wzdłuż granicy były rozmieszczone posterunki straży granicznej.

⁵ Zbiór luźnych aktów urzędowych dotyczących miasta Skawiny z lat 1517-1844. O. Wawel, sygn. Dep. 402.

⁶ Skawina. Studium historyczno-urbanistyczne, opr. S. Rusińska. PP PKZ o. Kraków, Kraków 1978-79, T. I A, cz. 1, s. 141.

⁷ Ibidem, T. I, s. 57.

⁸ AP O. Kraków, Zbiór dokumentów depozytowych, sygn. Dok. Dep. 333.

⁹ Ibidem, sygn. Dok. Dep. 334.

w 1801 roku było dwóch lekarzy. Według dokumentów archiwalnych z tego okresu miasto było uważane za przedmieście Krakowa z racji tego, że „Skawiniaki” zaopatrywali miasto w owoce, warzywa, drób, wędliny i nabiał¹⁰.

W 1807 roku w Skawinie przeprowadzono drugą rewizję. Lustracja ta podaje, że w owym czasie miasto nie posiadało żadnych wsi ani folwarków. Rewizja wymienia grunty należące do miasta i te będące własnością prywatnych właścicieli¹¹. W owym czasie miasto nie posiadało cegielni, pieca wapiennego, miejsca rozdrabniania kamieni. Na początku XIX wieku Skawina nie posiadała także browaru, chociaż prawo robienia piwa posiadała jeszcze od czasów średniowiecznych, a zostało ono powtórzone przez Cesarza Franciszka II w 1793 roku¹². Na początku XIX wieku w mieście nie było zajazdu. Na terenie Skawiny nie mieszkał też żaden rzeźnik, a mięso było sprzedawane przez mieszkańców okolicznych wsi¹³. Skawina nie posiadała także wagi miejskiej, co zapewne było związane z tym, że handel prowadzony w mieście obsługiwał jedynie rynek lokalny.

Miasto miało wcześniej przywilej króla Augusta II na urządzenie ośmiu jarmarków rocznie¹⁴. Przywilej ten został rozszerzony w 1793 roku przez Cesarza Franciszka II, który pozwolił Skawinie na organizację czterech jarmarków dodatkowo. Oprócz jarmarków miasto posiadało jeszcze średniowieczny przywilej cotygodniowych targów czwartkowych. Taryfy opłat targowych w mieście zostały uregulowane w 1790 roku, a opłata mostowa¹⁵ na początku XIX wieku nie uległa zmianie¹⁶.

Reasumując przytoczone informacje, należy stwierdzić, że w przedmiotowym okresie Skawina nie rozwinęła się pod względem gospodarczym. Miasto też nie wzbogaciło się, o czym może świadczyć fakt braku na jego terenie browaru oraz zajazdu. Miasto było ciągle ośrodkiem rolniczym, którego mieszkańcy zaopatrywali Kraków w podstawowe produkty, takie jak warzywa, owoce czy nabiał.

3. Przemiany przestrzenne

O układzie urbanistycznym miasta z przedmiotowego okresu najwięcej informacji podaje mapa autorstwa Kajetana Möllera¹⁷ z 1785 roku w skali: 1:28 800. Mapa ta wykonana przez przysięgłego inżyniera geodetę przedstawia

¹⁰ Teki Schneidra, Skawina. Miasto, 1801. AP O. Kraków, sygn. TSch 1460.

¹¹ AP O. Kraków, Zbiór Dok. Rękop., sygn. Dok. Dep. 402.

¹² Ibidem.

¹³ Ibidem.

¹⁴ Przywilej nadany Skawinie w 1711 roku przez króla Augusta II.

¹⁵ Opłata mostowa w Skawinie była pobierana od 1760 roku na mocy przywileju króla Augusta III.

¹⁶ AP O. Kraków, Zbiór Dok. Rękop., sygn. Dok. Dep. 402.

¹⁷ Archiwum Państwowe w Krakowie, Oddział V – Materiałów Kartograficznych i Dokumentacji Technicznej, Zbiór Kartograficzny, sygn. VI 427.

gminę i miasto Skawina z podziałem gruntowym typu katastralnego. Powstała w ramach akcji ustalania przez władze austriackie wysokości podatków od przychodów gruntowych¹⁸.

Na mapie w centrum miasta zaznaczono zabudowę wokół rynku, a także rozproszone działki wokół lokacyjnego układu urbanistycznego, które podkreślały linie dróg prowadzących od miasta. Zaznaczony został także kościół parafialny pw. św. Szymona i Judy, zlokalizowany w bloku na północny-wschód od rynku. Na mapie zostały także zaznaczone poszczególne własności, takie jak duchowna, dworska i chłopska. W obrębie każdej własności wyodrębniono podział na działki, którym przyporządkowano numery. Na mapie naniesiono także drogi oraz tereny zielone, tj. łąki, pastwiska, pola uprawne i lasy.

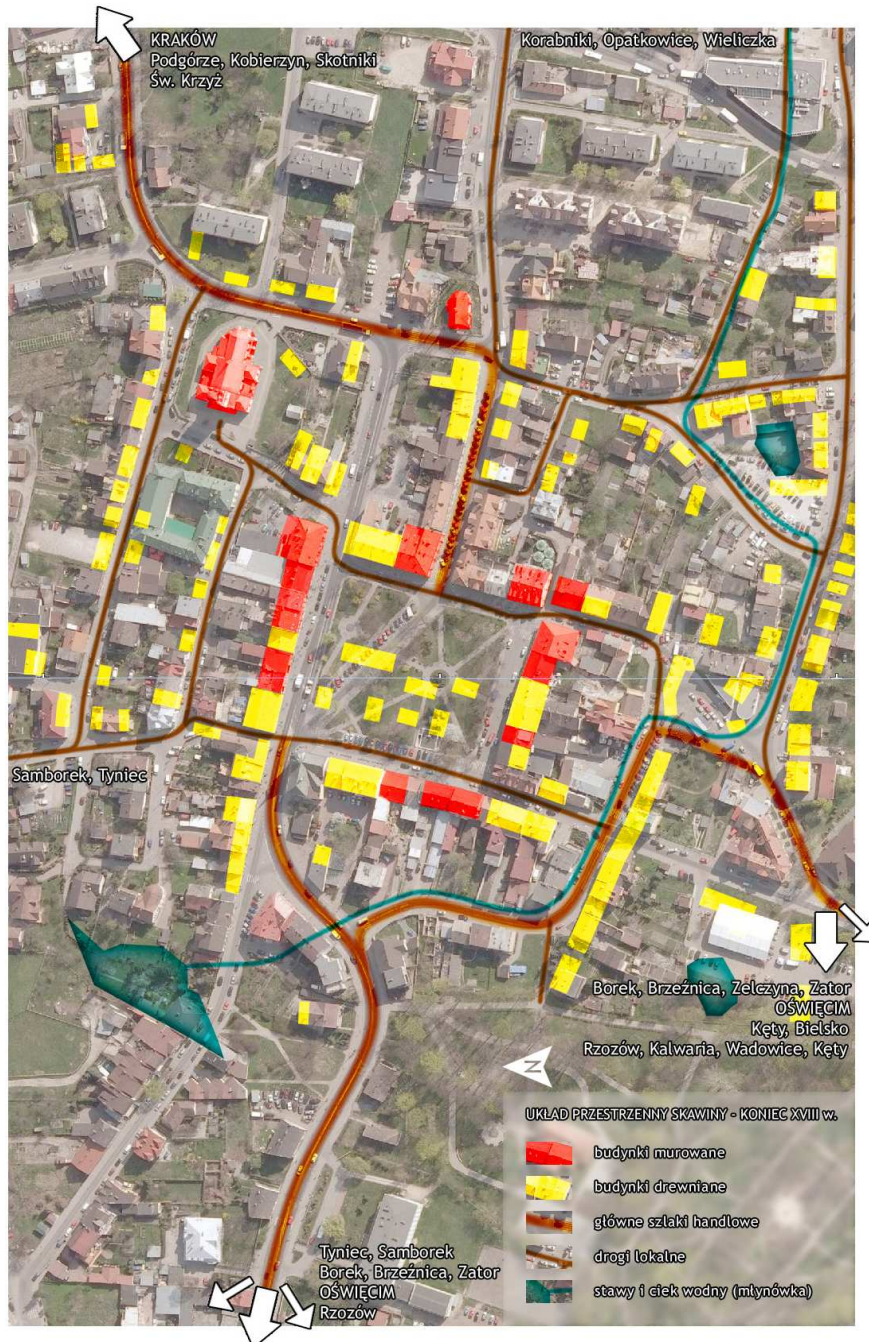
Skawinę w przedmiotowym okresie obrazuje także mapa Miega, która podobnie jak plan Kajetana Möllera powstała w XVIII wieku (1779-1783). Mapa ta potwierdza obraz miasta przedstawiony przez Möllera. Na rynku zostały zaznaczone zabudowania najprawdopodobniej związane z ratuszem i handlem, a wokół rynku ukazano zabudowę w formie bloków. W mieście zanotowano także dwa kościoły: pw. św. Szymona i Judy oraz pw. Nawiedzenia NMP oraz kilka kapliczek przy głównych traktach.

Na podstawie dostępnych materiałów, tj. studium historyczno-urbanistycznego oraz wymienionych archiwalnych XVIII-wiecznych map wykonano autorską analizę układu przestrzennego Skawiny wraz z zabudową na końcu XVIII wieku (rys. 1.).

Na początku XIX wieku miasto nie posiadało już murów miejskich, ani zamku obronnego, które zapewne zburzono w latach 80. XVIII wieku w ramach prac porządkowych realizowanych przez władze austriackie. Część materiału po umocnieniach użyto do budowy domów i brukowania ulic¹⁹. Nowe domy powstawały poza granicami miasta lokacyjnego. Drugi rząd bloków został niezabudowany. Ulice podmurne, charakterystyczne dla obronnych miast średniowiecznych zostały z czasem zabudowane obiektami gospodarczymi przez mieszkańców miasta, których posesje były zlokalizowane w pobliżu murów miejskich. Istotnym z punktu widzenia zmian przestrzennych w mieście wydaje się być założenie nowego cmentarza poza granicami średniowiecznego miasta lokacyjnego, na wschód od rynku.

¹⁸ Reforma przeprowadzona w 1785 roku przez cesarza austriackiego Józefa II nakazywała inwentaryzację (pomiar i spis) wszystkich gruntów na terenie monarchii oraz w konsekwencji obliczenie potencjalnych dochodów, jakie mogły przynieść.

¹⁹ Skawina. Studium historyczno-urbanistyczne, op.cit., T. I, s. 58.



Rys. 1. Układ przestrzenny Skawiny na końcu XVIII wieku

Fig. 1. Urban layout of Skawina at the end of 18th century

W omawianym okresie oprócz rozwoju miast galicyjskich pod względem kulturalnym i gospodarczym nastąpił także rozwój miejskich nekropolii. Szczególnie cenne są tutaj założenia urbanistyczne cmentarzy dużych miast galicyjskich, takich jak Kraków czy Lwów, charakteryzujące się bogactwem drzewostanu, pomników i nagrobków o wybitnych walorach architektonicznych²⁰.

W mniejszych ośrodkach jak Skawina cmentarze były nieco uboższe, ale też nie pozbawione wartości kulturowych. Najstarszy skawiński cmentarz znajdował się przy kościele parafialnym pw. św. Szymona i Judy. Został on zamknięty na końcu XVIII wieku w związku z nakazem chowania ciał zmarłych poza miastem, wydanym przez władze austriackie dekretem z 11 grudnia 1783 roku. Dekret ten polecał zamknięcie dotychczasowych przykościelnych cmentarzy i budowę nowych poza murami miasta²¹.

Nowy cmentarz miejski zlokalizowano na terenie położonym na wschód od rynku, na wzniesieniu zwanym potocznie „Spalone”. Grunt na cmentarz został kupiony przez miasto od szpitala oraz prywatnego właściciela Wojciecha Nowakowskiego w 1794 roku²². Pierwotnie cmentarz miał być ograniczony „groblami”, a nie tradycyjnym parkanem²³. Cmentarz został oficjalnie poświęcony 2 lutego 1806 roku²⁴.

4. Podsumowanie

Skawina, miasto sięgające swoim rodowodem połowy XIV wieku, chylące się ku upadkowi w XVII wieku, ponownie rozkwitło w pierwszej połowie XIX wieku. Miało to związek zżywieniem gospodarczym tej części Galicji oraz z polityką modernizacji infrastruktury galicyjskich miast prowadzonych przez zaborcę.

Rozwój Skawiny zapoczątkowany w pierwszej połowie XIX wieku postępował przez następne sto lat. Niewątpliwym bodźcem do podniesienia miasta z długiego okresu zastoju było uruchomienie w 1864 roku linii kolejowej z Krakowa do Oświęcimia przez Skawinę, co zaowocowało budową pierwszych zakładów przemysłowych w mieście. Zmiany w układzie urbanistycznym miasta związane z wprowadzeniem doń przemysłu będą przedmiotem kolejnej pracy.

²⁰ B. Bosakowa, Stary cmentarz w Jasle odbiciem przemian zachodzących w mieście w okresie autonomii, [w:] *Rozwój przestrzenny miast galicyjskich położonych między Dunajcem a Sanem w okresie autonomii galicyjskiej*, Z. Beiersdorf, A. Laskowski (red.), Jasło 2001, s. 241.

²¹ I. Korzeniowski, Zbiór przepisów odnoszących się do kościoła i duchowieństwa katolickiego (na podstawie zbioru ustaw administracyjnych). Lwów 1900, s. 86-89.

²² AP O. Kraków, Zbiór Dok. Rękop., sygn. Dok. Dep. 402.

²³ Księga Magistratu Skawiny 1785-1788, [w:] *Skawina. Studium historyczno-urbanistyczne*, op.cit., T. I A, cz. 1, s. 110.

²⁴ AP O. Kraków. Zbiór Dok. Rękop., sygn. Dok. Dep. 402.

Literatura

- [1] Mączak A. (red.): Encyklopedia historii gospodarczej Polski do 1945 roku, t. I, II. Wydaw. Wiedza Powszechna, Warszawa 1981.
- [2] Krupa M.: Rozwój przestrzenny i architektura Skawiny w XIX i 1 połowie XX wieku. Wydział Architektury Politechniki Krakowskiej, Kraków 2011 (praca niepublikowana).
- [3] Kuśnierz-Krupa D.: Skawina w średniowieczu. Zagadnienia urbanistyczno-architektoniczne. Wydaw. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2012.
- [4] Beiersdorf Z., Laskowski A. (red.): Rozwój przestrzenny miast galicyjskich położonych między Dunajcem a Sanem w okresie autonomii galicyjskiej. Jasło 2001.
- [5] Skawina. Studium historyczno-urbanistyczne, t. I-III, opr. S. Rusińska. PP PKZ o. Kraków, PDN-H, Kraków 1978-1979.

SPATIAL TRANSFORMATIONS OF SKAWINA ON THE BACKGROUND OF ECONOMIC RELATIONS IN THE FIRST HALF OF THE 19TH CENTURY

Summary

This article presents spatial transformations which took place in the urban layout of Skawina in the first half of the 19th century, on the background of economic relations occurring in the town. Skawina is located around 15 km to the south-west of Kraków and currently is generally perceived as an industrial town connected with Aluminum Works and Power Plant. Not many people know that it was founded already in the Middle Ages by king Casimir the Great. Location on the state border and along important trade routes connecting Silesia and Moravia with the Salt Mines in the Kraków region, caused the town to flourish and develop into a significant trade center until the mid 17th century. Economic regression the town suffered was caused mainly by war damage during the so called „Swedish deluge”. In 1772, as a result of the First Partition of Poland, Skawina found itself under Austrian occupation, in the imperial province called „Galicia” established at the time. It was then small agricultural and trading town with relics of medieval defensive walls bearing evidence of its former status. The symptoms that the town was roused from stagnation appeared as late as the second half of the 19th century, when the first factories were erected in Skawina. The next economic boom occurred when the railway line from Kraków to Oświęcim via Skawina was opened. It resulted in other factories being built, as well as changes in the urban layout of the town. These changes took place in the vicinity of the medieval urban structure owing to which urban layout of Skawina from the foundation period was not destroyed.

Keywords: Skawina, 19th century, urban layout

DOI:10.7862/rb.2013.60

Przesłano do redakcji: 14.11.2013 r.

Przyjęto do druku: 03.12.2013 r.

Dominika KUŚNIERZ-KRUPA¹

REWALORYZACJA ZABYTKÓW DZIEDZICTWA KULTUROWEGO MAŁYCH MIAST PODKARPACIA NA PRZYKŁADZIE SIENIAWY

Niniejsza praca omawia zagadnienie rewaloryzacji zabytków na terenie małych miast Podkarpacia, które jest regionem o dużym zasobie cennych zabytków dziedzictwa kulturowego. Oprócz większych miast, takich jak Rzeszów, Przemyśl, Krosno, Przeworsk czy Jarosław, na terenie Podkarpacia istnieją także mniejsze ośrodki o równie bogatej tradycji i walorach kulturowych. W miastach tych niejednokrotnie znajdują się cenne obiekty o ponadprzeciętnych wartościach, które należy otaczać troską, a ich historię przekazywać lokalnym społecznościom. W publikacji zaprezentowano dwa przykłady obiektów zabytkowych, których rewaloryzacja przyniosła miastu wymierne korzyści w postaci podniesienia rangi najważniejszych obiektów w mieście, a także zaszczepienia świadomości i lokalnego patriotyzmu wśród jego mieszkańców. Omówione przykłady interwencji konserwatorskich dobudowy wieży do zabytkowego ratusza oraz rewaloryzacji budynku Towarzystwa Gimnastycznego „Sokół” pochodzą z Sieniawy, miasta położonego na terenie powiatu przeworskiego. Są one przykładem prawidłowej dbałości właścicieli i użytkowników obiektów zabytkowych o ich stan techniczny. Władze miasta oprócz obowiązku, jaki nakłada na nie jako na użytkownika i właściciela obiektu zabytkowego ustawa o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami, zwracają uwagę lokalnej społeczności na potencjał, tradycję i historię miasta, a także dążą do przywrócenia najważniejszym obiektom i przestrzeniom publicznym w mieście właściwego wyglądu i rangi. Należy mieć nadzieję, że także inne miasta Podkarpacia o bogatym zasobie dziedzictwa kulturowego wezmą przykład z działań realizowanych na rzecz ochrony i rewaloryzacji zabytków w Sieniawie.

Słowa kluczowe: Podkarpacie, Sieniawa, rewaloryzacja, dziedzictwo kulturowe

1. Wprowadzenie

Podkarpacie jest regionem, w którym niemal każde miasto jest ośrodkiem zabytkowym z dużą liczbą cennych zabytków dziedzictwa kulturowego. Oprócz miast większych, takich jak Rzeszów, Przemyśl, Krosno, Przeworsk czy Jaro-

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Dominika Kuśnierz-Krupa, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, tel. (17) 8651041, e-mail: dkrupa@prz.edu.pl

sław, istnieją także mniejsze ośrodki o bogatej tradycji i cennym zasobie. Wśród nich należy wymienić Sieniawę w powiecie przeworskim. Miasto to w związku ze swą kilkunastowiekową historią ma na swym terenie obiekty i zespoły zabytkowe o nieprzeciętnej wartości architektonicznej i urbanistycznej. Są nimi: układ urbanistyczny miasta z rynkiem i ratuszem, pałac z zespołem parkowo-ogrodowym, zespół klasztorny Dominikanów Obserwantów, budynek Towarzystwa Gimnastycznego „Sokół” oraz spichlerz na Augustowie.

2. Z historii miasta

Sieniawa powstała w drugiej połowie XVII wieku. Prawa miejskie otrzymała w 1676 roku w związku z urbanizacją prywatnych dóbr rodu Sieniawskich. Akcja ta polegała na przebudowie struktury przestrzennej istniejącej wsi oraz jej adaptacji na potrzeby miasta. Powstałe na przełomie lat 70. i 80. XVII wieku miasto stało się więc zupełnie nową strukturą podporządkowaną programowi funkcjonalnemu, jaki został określony przez Mikołaja Sieniawskiego dla tej części jego dóbr².

Miasto powstało jako ośrodek rynku lokalnego oraz zaplecze i baza dla portu. Oprócz miasta wzniesiono także sprzężoną z nim twierdzę ziemno-ceglaną z drewnianym dworem oraz ogrodem kwaterowym. Wytworzony w ten sposób układ przestrzenny miasto–twierdza, tj. dwóch zasadniczych elementów sprzężonych ze sobą za pomocą osi kompozycyjnej, odpowiadał potrzebom funkcjonalnym ośrodka oraz był zgodny z tradycją zakładania miast rezydencjonalnych. Układ ten był uzupełniony o port rzeczny jako podstawowy czynnik miastotwórczy, klasztor Dominikanów Obserwantów – istotny atrybut miasta prywatnego oraz Przedmieście Tarnogrodzkie, na terenie którego znalazły się m.in. działki ogrodowe osadników oraz działki tkaczy (najważniejszego rzemiosła w początkowej fazie rozwoju zespołu)³.

Układ urbanistyczny Sieniawy ma konstrukcję ortogonalną, bloków i ulic przecinających się pod kątem prostym. Jest wynikiem konsekwentnego zagospodarowania terenu o nieregularnym kształcie, w sposób prosty, a zarazem ekonomiczny. Pod rozmierzenie miasta przewidziano teren o wymiarach średnio 350 x 350 m, o powierzchni ok. 12 ha⁴, zamknięty w obwodzie umocnień obronnych. Następnie rozmierzono w nim rząd pojedynczych bloków wokół wnętrza przeznaczonego na plac rynkowy, wpisując te formy w siatkę konstrukcyjną 1 „dużego” sznura (tj. 44,465 m, 75 łokci, 150 stóp)⁵.

² K. Kuśnierz, Sieniawa. Historia rozwoju przestrzennego. Wydaw. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2001, s.102.

³ Ibidem, s. 104.

⁴ Ibidem, s. 105.

⁵ Ibidem, s. 107.

3. Rewaloryzacja dziedzictwa historycznego Sieniawy

Jak już wspomniano, Sieniawa zachowała do dzisiaj cenne zabytki dziedzictwa kulturowego. Są nimi przede wszystkim układ urbanistyczny miasta z rynkiem pochodzący z XVII wieku⁶, ratusz z drugiej połowy XVII wieku⁷, zespół pałacowo-ogrodowy z początków XVIII wieku, dawny klasztor Dominikanów Obserwantów (obecnie kościół parafialny) z XVIII wieku⁸ oraz gmach Towarzystwa Gimnastycznego „Sokół” z początków XX wieku⁹. Właściciele oraz użytkownicy tych zespołów i obiektów w ostatnich latach przeprowadzili szereg remontów konserwatorskich, aby przywrócić zabytkom ich dawną świetność. Przedmiotowa publikacja prezentuje dwie realizacje konserwatorskie, których inicjatorem były władze miasta.

Rewaloryzacja ratusza – dobudowa wieży

Sieniawski ratusz zbudowano zapewne z pomocą fundacji Mikołaja Hieronima Sieniawskiego na początku lat 80. XVII wieku. Zajął on miejsce centralne w planie miasta. Sposób usytuowania, staranność rozmierzenia oraz duże rozmiary zdają się podkreślać rolę, jaką miał odgrywać. Dotychczasowe ustalenia wskazują na istnienie od początku obiektu murowanego, częściowo podpiwniczonego, z dachem dwuspadowym. Przeprowadzona wstępna analiza jego planu, poparta dodatkowymi studiami archiwalnymi, wskazuje na możliwość występowania dwóch etapów formowania. W pierwszym etapie, trudnym do ustalenia w czasie, ale przed 1680 rokiem, był przypuszczalnie obiektem dwukondygnacyjnym, częściowo podpiwniczonym, trójtraktowym (sukiennice?) o wymiarach 30 x 60 łokci, murowanym oraz wzmocnionym w narożach skarpami. Ponadto w dłuższych elewacjach znajdowały się przypory. Z tego okresu do czasów współczesnych pozostały jedynie wspomniane skarpy i przypory w części zachodniej obiektu. Zachowała się również sień przejazdowa o szerokości dziesięciu łokci wzdłuż dłuższej osi obiektu, a z niej wejścia do piwnic i przypuszczalnie do przyległych pomieszczeń, które później częściowo zamurowano¹⁰. Powstanie w 1680 roku zasadniczego obiektu ratusza było związane z rozbudową i powiększeniem bryły pierwotnej budowli o jeden trakt (10 prętów) oraz o częściowo użytkowe poddasze. Wówczas zrezygnowano z umieszczenia w części wschodniej obiektu oskarpowań. Ponadto wybudowano nad nim drewnianą wieżę, w której umieszczono zegar¹¹.

⁶ A. Kłoczko, H. Krzyżanowska (red.): Zabytki architektury i budownictwa w Polsce, t. 33. Województwo przemyskie. Wydaw. Ośrodek Dokumentacji Zabytków, Warszawa 1998, s. 353.

⁷ Ibidem.

⁸ Ibidem.

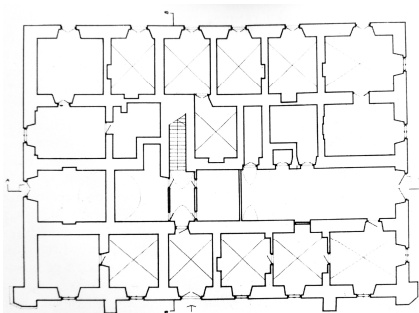
⁹ Ibidem.

¹⁰ Inwentaryzacja architektoniczna ratusza w Sieniawie z 1968 r. Archiwum IHAiKZ WA PK, s.v.

¹¹ K. Kuśnierz, op.cit., s. 121.

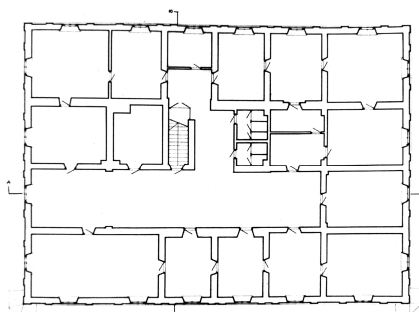
Jak wynika z niezbyt precyzyjnych opisów z lat 1718 i 1726, pokoje w ratuszu związane z funkcjonowaniem administracji miejskiej zajmowały po jednym z dużych, niepodzielnych jeszcze pomieszczeń na dole i na górze. Pozostałe pomieszczenia były przeznaczone na sklepy. W 1702 roku zanotowano, że w ratuszu mieściło się osiem sklepów czynnych, dwa puste oraz izba dla straży miejskiej. W następnych latach (ok. 1718 roku) wymieniono w ratuszu osiem dużych pomieszczeń, dwie komory, dwie piwnice dwukomorowe, sześć małych pomieszczeń, sienie na obu kondygnacjach i przedsionek przy głównym wejściu. Wówczas znajdowało się tam oprócz pomieszczeń ratuszowych dwanaście sklepów, a w jednym z nich (narożnym) waga miejska. W owym roku cały obiekt, a szczególnie pierwsze piętro było w złym stanie technicznym (brak okien, okiennic, pował nad częścią pomieszczeń i sienią, potrzaskane piece itp.). Następny opis pochodzący z 1726 roku sugeruje, że w przedmiotowym okresie obiekt był gruntownie remontowany. Źródła podają również informację, że w części podziemnej ratusza mieściło się więzienie.

Jak wspomniano, budowla ratusza powstała na rzucie prostokąta o wymiarach 40 x 60 łokci (po rozbudowie) (rys. 1., 2.). Jego osie były równoległe do odpowiednich pierzei rynkowych, a oś dłuższa skierowana na północ i południe. W planie wnętrza rynkowego budynek ten był odległy o 75 łokci od północnej pierzei, 60 łokci od wschodniej, 55 łokci od południowej oraz 50 od zachodniej. Pozostawienie większej ilości miejsca na placu od wschodu i północy wydaje się być celowe, gdyż właśnie od tej strony omijał go trakt doliny, przebiegający przekątniowo przez rynek do bram.



Rys. 1. Sieniawa – inwentaryzacja architektoniczna, rzut parteru budynku ratusza, 1968, Archiwum IHAIKZ WA PK, s.v.

Fig. 1. Sieniawa – architectonic inventory, ground floor plan of the town hall, 1968, Archive IHAIKZ WA PK, s.v.



Rys. 2. Sieniawa – inwentaryzacja architektoniczna, rzut pierwszego piętra budynku ratusza, 1968, Archiwum IHAIKZ WA PK, s.v.

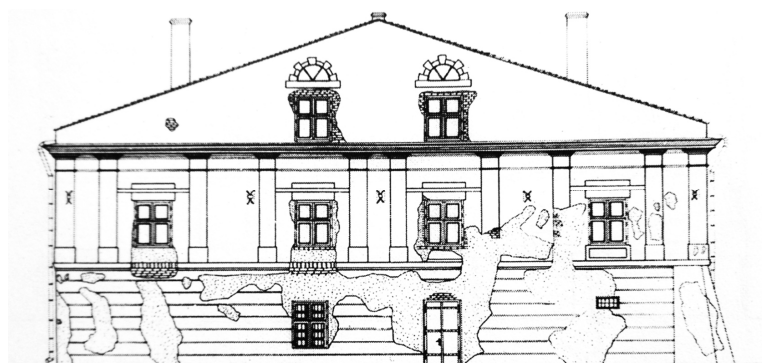
Fig. 2. Sieniawa – architectonic inventory, first floor plan of the town hall, 1968, Archive IHAIKZ WA PK, s.v.

Obecnie sieniawski ratusz jest budynkiem dwukondygnacyjnym, wzniesionym w technologii „tradycyjnej”, tj. murowanej. Jego dzisiejszy wygląd architektoniczny, pozostający pod wpływem XVIII-wiecznych prądów stylowych, pochodzi zapewne z ok. 1725 roku (rys. 3., 4.). Może o tym świadczyć fakt, że powstałe nieco później oba kościoły murowane otrzymały bardzo podobny wystrój zewnętrzny¹². Ściany kondygnacji nadziemnych wykonano z cegły pełnej i obustronnie otynkowano. W budynku ratusza zastosowano stropy gęstożebrowe (typu Klein), odcinkowe i częściowo na legarach drewnianych. Dach obiektu jest oparty na drewnianej więźbie o układzie płatwiowo-krokwiowym¹³ (rys. 5.).



Rys. 3. Sieniawa – inwentaryzacja architektoniczna, elewacja zachodnia budynku ratusza, 1968, Archiwum IHAIKZ WA PK, s.v.

Fig. 3. Sieniawa – architectonic inventory, west elevation of the town hall, 1968, Archive IHAIKZ WA PK, s.v.

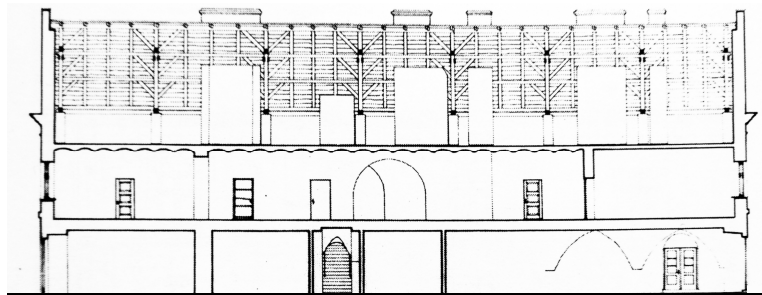


Rys. 4. Sieniawa – inwentaryzacja architektoniczna, elewacja północna budynku ratusza, 1968, Archiwum IHAIKZ WA PK, s.v.

Fig. 4. Sieniawa – architectonic inventory, north elevation of the town hall, 1968, Archive IHAIKZ WA PK, s.v.

¹² Ibidem, s. 127.

¹³ Inwentaryzacja architektoniczna ratusza w Sieniawie z 2006 r. (wyk. D. Kuśnierz-Krupa, M. Krupa, Ł. Wesołowski), Archiwum GP Zeriba.



Rys. 5. Sieniawa – inwentaryzacja architektoniczna, przekrój podłużny przez budynek ratusza, 1968, Archiwum IHAiKZ WA PK, s.v.

Fig. 5. Sieniawa – architectonic inventory, longitudinal section of the town hall, 1968, Archive IHAiKZ WA PK, s.v.

W 2006 roku władze miasta, którym zależało na podkreśleniu jego historycznego rodowodu, postanowiło odtworzyć wieżę ratuszową, która według informacji źródłowych istniała niegdyś na sieniawskim ratuszu (rys. 6., 7.). Inwestycja ta została sfinalizowana jesienią 2012 roku. Poprzedziły ją wielowarstwowe analizy historycznej ikonografii obiektu, wizje lokalne, inwentaryzacje, aż w końcu wielobranżowy projekt budowlany, który został pozytywnie zaopiniowany przez Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków¹⁴.



Rys. 6. Sieniawa – ratusz od strony południowo-zachodniej przed interwencją konserwatorską, fot. D. Kuśnierz-Krupa, 2005

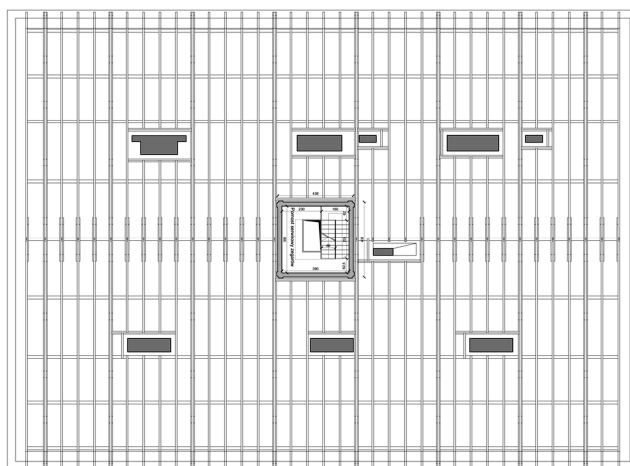
Fig. 6. Sieniawa – the town hall from the south-west before conservation intervention, photo by D. Kuśnierz-Krupa, 2005

¹⁴ K. Kuśnierz, D. Kuśnierz-Krupa: Revalorization of the town hall in Sieniawa, [w:] Structural analysis of historical constructions, J. Jasińko (red.), t. 3. Wydaw. DWE, Wrocław 2012, s. 2680.



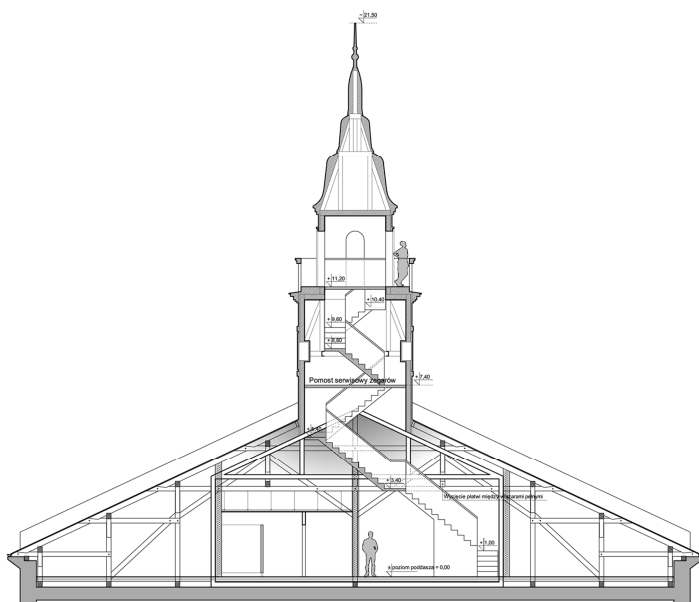
Rys. 7. Sieniawa – ratusz od strony południowo-wschodniej przed interwencją konserwatorską, fot. D. Kuśnierz-Krupa, 2005

Fig. 7. Sieniawa – the town hall from the south-east before conservation intervention, photo by D. Kuśnierz-Krupa, 2005



Rys. 8. Sieniawa – projekt architektoniczno-budowlany wieży na ratuszu, rzut więźby dachowej, autorzy: prof. dr hab. inż. arch. K. Kuśnierz oraz Grupa Projektowa Zeriba (dr inż. arch. D. Kuśnierz-Krupa, dr inż. arch. Michał Krupa, mgr inż. arch. Łukasz Wesołowski)

Fig. 8. Sieniawa – project design of the town hall tower, plan of roof truss, authors: prof. dr hab. inż. arch. K. Kuśnierz and Grupa Projektowa Zeriba (dr inż. arch. D. Kuśnierz-Krupa, dr inż. arch. Michał Krupa, mgr inż. arch. Łukasz Wesołowski)



Rys. 9. Sieniawa – projekt architektoniczno-budowlany wieży na ratuszu, przekrój poprzeczny, autorzy: prof. dr hab. inż. arch. K. Kuśnierz oraz Grupa Projektowa Zeriba (dr inż. arch. D. Kuśnierz-Krupa, dr inż. arch. Michał Krupa, mgr inż. arch. Łukasz Wesołowski)

Fig. 9. Sieniawa – project design of the town hall tower, plan of roof truss, authors: prof. dr hab. inż. arch. K. Kuśnierz and Grupa Projektowa Zeriba (dr inż. arch. D. Kuśnierz-Krupa, dr inż. arch. Michał Krupa, mgr inż. arch. Łukasz Wesołowski)



Rys. 10. Sieniawa – widok na wieżę ratusza od strony południowo-wschodniej po interwencji konserwatorskiej, fot. D. Kuśnierz-Krupa, 2012

Fig. 10. Sieniawa – view of the town hall tower from the south-east after conservation intervention, photo by D. Kuśnierz-Krupa, 2012



Rys. 11. Sieniawa – ratusz od strony północno-zachodniej po interwencji konserwatorskiej, fot. D. Kuśnierz-Krupa, 2012

Fig. 11. Sieniawa – the town hall from the north-west after conservation intervention, photo by D. Kuśnierz-Krupa, 2012



Rys. 12. Sieniawa – ratusz od strony południowo-zachodniej po interwencji konserwatorskiej, fot. D. Kuśnierz-Krupa, 2012

Fig. 12. Sieniawa – the town hall from the south-west after conservation intervention, photo by D. Kuśnierz-Krupa, 2012

Projekt zakładał zlokalizowanie wieży w centralnej części obiektu, podkreślając osiowy charakter każdej elewacji (rys. 8.). W związku z brakiem materiałów ikonograficznych przedstawiających kształt wieży jej forma została zainspirowana kształtem i detalami budynku ratusza oraz analogicznych obiektów wzniesionych w Polsce w podobnym okresie¹⁵.

Zaprojektowana wieża posiada konstrukcję stalową w formie ramy przestrzennej posadowionej za pośrednictwem słupów na istniejących ścianach konstrukcyjnych ratusza. Sztywność poziomą konstrukcji wieży wzdłuż podłużnych ścian budynku zapewniają ramy stalowe, natomiast w kierunku prostopadłym – układ stężeń. Siły wyrywające, powstałe w wyniku oddziaływania wiatru na wieżę, są przenoszone na konstrukcję budynku za pomocą kotew mechanicznych, wieńców żelbetowych oraz cięgien stalowych przenoszących obciążenia pionowe wyrywające na istniejące ściany konstrukcyjne obiektu. Konstrukcję nośną wieży zaprojektowano z profili stalowych, natomiast połączenia większości profili jako skręcane. Podobnie zaprojektowano schody, barierki i podesty. Ściany zewnętrzne zostały wykonane jako lekka obudowa stalowych elementów konstrukcyjnych, pomiędzy którymi znajduje się warstwa termoizolacji. Na poziomie +10,92 zaprojektowano żelbetową płytę o grubości 12 cm, która oprócz funkcji komunikacyjnej stanowi usztywnienie poziome wieży (rys. 9.). Detale historyczne na ścianach zewnętrznych zostały zrealizowane z wykorzystaniem gotowych oraz indywidualnie zaprojektowanych profili. Wyraz architektoniczny wieży ratuszowej dopełniają tarcze zegara zlokalizowane na jej ścianach oraz odpowiednio wyeksponowany herb miasta wkomponowany w iglicę¹⁶ (rys. 10.).

Realizacja wieży była dla władz miasta i jego mieszkańców niezwykle istotna z punktu widzenia podniesienia rangi najważniejszego budynku w mieście, jakim jest ratusz (rys. 11., 12.).

Rewaloryzacja gmachu Towarzystwa Gimnastycznego „Sokół”

Drugim istotnym osiągnięciem władz Sieniawy na polu rewitalizacji zabytków jest odnowienie zabytkowego gmachu Towarzystwa Gimnastycznego „Sokół”. Towarzystwo Gimnastyczne „Sokół” w Sieniawie powstało w pierwszej dekadzie XX wieku z inicjatywy mieszkańców miasta, którzy wcześniej należeli do gniazda jarosławskiego. W 1896 roku byli oni wymieniani w sprawozdaniu z prac polskich gimnastycznych towarzystw z okręgu Przemyśl–Jarosław jako licząca się grupa członków zamiejscowych¹⁷. Nowo zawiązane

¹⁵ Projekt wykonawczy architektoniczno-budowlany wieży na ratuszu w Sieniawie, autorzy: prof. dr hab. inż. arch. K. Kuśnierz oraz Grupa Projektowa Zeriba (dr inż. arch. D. Kuśnierz-Krupa, dr inż. arch. Michał Krupa, mgr inż. arch. Łukasz Wesołowski).

¹⁶ Projekt wykonawczy konstrukcyjny wieży na ratuszu w Sieniawie, autorzy: mgr inż. Jerzy Oleśiak, mgr inż. Piotr Sikora.

¹⁷ Przewodnik Gimnastyczny „Sokół”, nr 6. Wydaw. Polskie Towarzystwo Gimnastyczne „Sokół”, Lwów 1896, s. 77.

gniazdo sieniawskie złożyło gotowość przystąpienia do związku w lipcu 1904 roku¹⁸. Poświęcenie sztandaru „Sokoła” w Sieniawie miało miejsce w 1911 roku. Około dziesięć lat później wzniesiono siedzibę Towarzystwa na działce w pobliżu kościoła parafialnego (rys. 13., 14.). W budynku znajdowała się



Rys. 13. Widok „Sokoła” w Sieniawie od strony południowej w pierwszej ćwierci XX wieku w trakcie prac budowlanych, Archiwum IHAIKZ WA PK, s.v.

Fig. 13. View of „Sokol” building in Sieniawa from the south in the first quarter of the 20th century during construction work, Archive IHAIKZ WA PK, s.v.



Rys. 14. Widok „Sokoła” w Sieniawie od strony południowej w pierwszej połowie XX wieku, Archiwum IHAIKZ WA PK, s.v.

Fig. 14. View of „Sokol” building in Sieniawa from the south in the first half of the 20th century, Archive IHAIKZ WA PK, s.v.

¹⁸ Ibidem, nr 7, 1904, s. 56.



Rys. 15. Widok „Sokoła” w Sieniawie od strony południowej w latach 80. XX wieku, Archiwum IHAIKZ WA PK, s.v.

Fig. 15. View of „Sokół” building in Sieniawa from the south in the 1980s, Archive IHAIKZ WA PK, s.v.



Rys. 16. Widok „Sokoła” w Sieniawie od strony południowej przed interwencją konserwatorską, fot. D. Kuśnierz-Krupa, 2006

Fig. 16. View of „Sokół” building in Sieniawa from the south before conservation intervention, photo by D. Kuśnierz-Krupa, 2006

obszerna sala, w której urządzano spotkania członków Towarzystwa oraz prowadzono zajęcia gimnastyczne.

Po II wojnie światowej, kiedy organizacja przestała działać, w jej siedzibie zaczęła funkcjonować szkoła powszechna, później zaś znajdował się tutaj internat, a następnie kino (rys. 15., 16.). Po latach zapomnienia sieniawski „Sokół” został odrestaurowany dzięki inicjatywie władz miasta. Projekt modernizacji budynku zakładał przywrócenie mu funkcji kulturalno-oświatowej. Prace pro-

jektowe poprzedzono dogłębnymi studiami architektonicznymi i historycznymi obiektu. Koncepcja zakładająca m.in. odsłonięcie zamurowanych po II wojnie światowej kolumn przy głównym wejściu do budynku oraz okien w elewacji bocznej zyskała aprobatę Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków, co pozwoliło na opracowanie projektu budowlano-wykonawczego. Kolorystyka odrestaurowanego obiektu została utrzymana w odcieniu pastelowego beżu, nawiązując tym samym do pierwotnego wyglądu budynku. We wnętrzu, w miejscu, gdzie niegdyś istniała sala gimnastyczna Towarzystwa, zaprojektowano przestrzeń widowiskową, której przez ostatnie kilkadziesiąt lat w Sieniawie brakowało (rys. 17.). Podczas prac budowlanych udało się odsłonić zabytkowy, oryginalny sufit z fragmentarycznie zachowaną kolorystyką.



Rys. 17. Budynek „Sokoła” w Sieniawie po rewalo-ryzacji, widok na fragment wnętrza obiektu – salę widowiskową, fot. D. Kuśnierz-Krupa, 2009

Fig. 17. „Sokol” Building in Sieniawa after revalorization, view of an interior fragment – concert hall, photo by D. Kuśnierz-Krupa, 2009



Rys. 18. Widok ogólny „Sokoła” w Sieniawie od strony południowej po interwencji konserwatorskiej, fot. D. Kuśnierz-Krupa, 2009

Fig. 18. View of “Sokol” building in Sieniawa from the south after conservation intervention, photo by D. Kuśnierz-Krupa, 2009

Dzięki inicjatywie władz miasta odnowiona siedziba Towarzystwa Gimnastycznego „Sokół” w Sieniawie odzyskała dawny blask (rys. 18.) i ponownie służyła mieszkańcom miasta, tak jak to miało miejsce sto lat wcześniej.

4. Podsumowanie

Zaprezentowane realizacje konserwatorskie przeprowadzone w Sieniawie są przykładem prawidłowej dbałości właścicieli i użytkowników obiektów zabytkowych o ich stan techniczny. Władze miasta – oprócz obowiązku, jaki nakłada na nie jako na użytkownika i właściciela obiektu zabytkowego ustawa o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami – zwracają uwagę lokalnej społeczności na potencjał, tradycję i historię miasta, a także dążą do przywrócenia najważniejszym obiektom i przestrzeniom publicznym w mieście właściwego wyglądu i rangi.

Pozostaje mieć nadzieję, że także inne miasta Podkarpacia o bogatym zasobie dziedzictwa kulturowego wezmą przykład z działań na rzecz ochrony i rewaloryzacji zabytków, jakie realizuje się na terenie Sieniawy. Jedyne bowiem takie działania są w stanie uratować dziedzictwo kulturowe polskich miast i wsi.

Literatura

- [1] Kuśnierz K., Kuśnierz-Krupa D.: Revalorization of the town hall in Sieniawa, [w:] Structural analysis of historical constructions, J. Jasieńko (red.), t. 3. Wydaw. DWE, Wrocław 2012.
- [2] Kuśnierz K.: Sieniawa. Historia rozwoju przestrzennego. Wydaw. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2001.
- [3] Przewodnik Gimnastyczny „Sokół”, nr 6. Wydaw. Polskie Towarzystwo Gimnastyczne Sokół, Lwów 1896.
- [4] Kłoczko A., Krzyżanowska H. (red.): Zabytki architektury i budownictwa w Polsce. T. 33. Województwo przemyskie. Wydaw. Ośrodek Dokumentacji Zabytków, Warszawa 1998.

REVALORIZATION OF CULTURAL HERITAGE OF SMALL TOWNS IN PODKARPACIE ON THE EXAMPLE OF SIENIAWA

Summary

This article addresses the issue of monument revalorization in small towns of Podkarpacie which is a region with valuable cultural heritage. Besides larger cities such as Rzeszów, Przemyśl, Krosno, Przeworsk or Jarosław, in the area of Podkarpacie there also exist smaller towns with equally rich traditions and high cultural values. Those towns can frequently boast precious objects representing more than the average value, which should be taken care of, and their history popularized among local communities. The article presents two examples of historic buildings whose revalorization gave the town concrete benefits in the form of upgrading the rank of the most important objects, as well as instilling the awareness and local patriotism among its inhabitants. The examples of conservation interventions discussed below namely: addition of the tower to the his-

toric town hall and revalorization of the building of The „Sokół” Gymnastic Association come from Sieniawa, a town located in the Przeworsk County. They represent proper care which owners and users of historic buildings should take about their technical condition. Apart from the obligation imposed on them as the user and owner of the historic object by the Heritage Protection Act, town authorities draw the attention of the local community to the potential, tradition and history of the town, as well as aim at restoring the crucial objects and public spaces in the town to their proper appearance and rank. It is to be hoped that other towns in Podkarpacie with rich cultural heritage will also imitate the activities geared towards heritage protection and revalorization which are currently realized in Sieniawa.

Keywords: Podkarpacie, Sieniawa, revalorization, cultural heritage

DOI:10.7862/rb.2013.61

Przesłano do redakcji: 14.11.2013 r.

Przyjęto do druku: 03.12.2013 r.

Natalia MIRONOVA¹

Galina KALDA²

Oleg LISHCHUK³

PHYTOMELIORATIVE INFLUENCE OF THE MACROPHYTES OF DIFFERENT ECOLOGICAL GROUPS OVER THE OXYGENE REGIME IN THE TECHNOGENIC LAKES OF THE SMALL POLISSYA OF UKRAINE

The article presents the results of determining the characteristics of the oxygen regime in the macrophytes thickets of different ecological groups: of submerged (*Ceratophyllum demersum* L.), floating (*Potamogeton natans* L., *Nuphar lutea* (L.) Smith.) and air-water (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) in technogenic lakes of Small Polissya of Ukraine. Physiographic area of Small Polissya located mainly in the western regions of Ukraine, and a small part – in Poland, and differs plain relief, high humidification, closeness of groundwater from surface. Technogenic lakes were formed by sand mining using dredges as result underwater extraction in aqueous career. They have an age of between 30 and 60 years, can be flow-through and non-flow-through. Soluble oxygen, temperature and oxygen saturation were measured by the device Oxi 330i/SET. The largest concentration of oxygen is determined in areas of lakes occupied by submerged vegetation. In thickets of air-water and floating vegetation the oxygen content is almost identical and with the depth it gradually decreases. In the thickets macrophytes the oxygen regime is affected by the degree of flow-through and age of lakes. In the «younger» non-flowing lakes of 30-35 years of age the oxygen concentration is the largest, the lowest oxygen concentration is in the old lakes. According to the determination of dissolved oxygen at different depths and in the bottom layer we proved an active development of eutrophication processes in non-flowing technogenic lakes aged about 60 years.

Keywords: oxygen content, technogenic lakes, submerged, floating and air-and-water macrophytes

¹ Natalia Mironova, National Forestry University of Ukraine, Lviv, Ukraine, 26 Pribuzhska St., apt. 25, Khmeltsky Ukraine, tel. +0380671177093, e-mail: mironova72@mail.ru

² Autor do korespondencji/corresponding author: Galina Kalda, Rzeszow University of Technology, 35-084 Rzeszow, 2 Poznanska St., tel. (17) 8651068, e-mail: kaldagal@prz.edu.pl

³ Oleg Lishchuk, State Environmental Inspectorate in Khmeltsky Region, Khmelnytsky, Ukraine, 17 Matrosov St., tel. +0380678023871, e-mail: khmlab@mail.ru

1. Introduction

Technogenic geochemical and geomorphological transformation of land plots, on which the mining works are conducted, is the major factor of destabilization of natural territorial complexes. Therefore, their re-naturalization under the European Landscape Convention [1] is a priority for sustainable development in these areas.

One of the least studied effects of open pit mining is the formation of water reservoirs in the pit of the metallic minerals "wet" extraction, primarily sand, which commonly resemble lakes. Today the majority of scientific research is aimed at studying the negative impact over the environment and remediation measures for dry pits.

New items of hydrographic network of man-made landscape differ from both natural and man-made (anthropogenic) water bodies. The latter (eg. reservoirs, ponds) were created to carry out certain economic functions and were built to meet the requirements as close as possible to natural analogues. Formation of the reservoirs (lakes) in the result of mining activities is the result of technological developments, because in fact they are man-made, since their formation was influenced by technological and economic factors. In this regard, man-made lakes are different from natural ones by morphological structure, specific chemical composition of water and the bottom, broken edafotop and vegetation in the coastal zone.

The final stage of the operation of any career is its reclamation, which consists of technical and biological units [2], but often under conditions of low toxic environment (which is typical for sand extraction) this step is ignored, and the restoration of plant continuum is done due to self-development processes.

Phytocoenotic cover or autotrophic block of any system is biospherically active. In making their own ecological environment, vegetation performs numerous functions of biosphere, the results of which are phytomeliorative environment optimization [3]. Based on the analysis of the literature [4-9] we distinguished the following four functions of phytomeliorative vegetation optimization of man-made water lakes (Fig. 1).

Together with surface runoff in emerging coastal abrasion the reservoirs receive large amounts of suspended and slightly soluble organic and mineral substances. Vegetation acts as a mechanical filter, that stipulates reduction in flow velocity in the area of undergrowth and sedimentation of suspended particles. Influenced by phyto-filtration the water clarity increases and diminishes its salinity. Degradation and mineralization of complex organic compounds to simple and friendly ones with plants participation is done in an aqueous medium and in ecotonic area. This process in the life of the reservoir has a leading role.

Detoxification function lies in the fact that in the result of metabolism the higher aquatic plants release physiologically active substances such as volatile into the environment. This reduces the number of pathogenic organisms. Ho-

wever, plants remove from the water and the bottom substrate, which is represented by deposits of minerals extracted, not only nutrients, but also compounds of heavy metals.

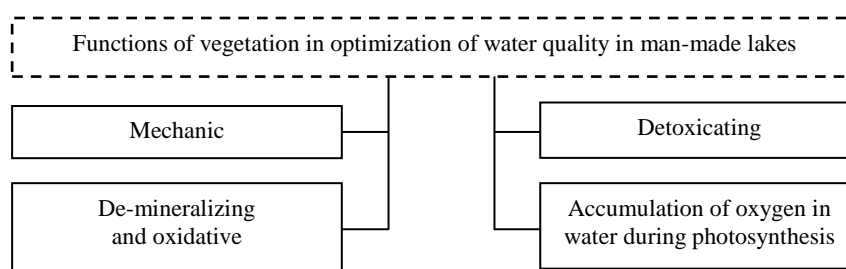


Fig. 1. Phyto-meliorative function of vegetation in technogenic lakes

Rys. 1. Fitomelioratywne funkcje roślinności w jeziorach technogenicznych

Higher aquatic vegetation has a favorable effect on the oxygen regime of reservoirs. The oxygen content in the water increases in photosynthesis, resulting, in turn, in rapid oxidation of organic matter and acceleration of the process of nitrification, increased consumption of free carbon dioxide and so on by the photo-synthetics. The latter type of phytomeliorative effects (production of oxygen by plants) is essential to man-made lakes that are fueled by underground sources, as is known, the soil and groundwater have low concentrations of dissolved oxygen [10]. This in turn may prevent the development of aquatic organisms and, consequently, the formation of a complete hydro ecosystem capable of recreational and environmental functions.

In the scientific literature there is enough information on the oxygen regime in the bush macrophytes in natural [11÷13] and man-made [14, 15] waters, but man-made ponds with its specific set of hydrometric, physical-chemical and hydrobiological parameters are hardly explored. Therefore, the aim of the research was to determine the oxygen regime of man-made lakes and the impact of plant groups belonging to different ecological groups.

2. Materials and methods of research

The study was conducted in the period of maximum development of higher aquatic vegetation in man-made lakes of different ages both non-flowing and with weak water exchange.

Soluble oxygen, temperature and oxygen saturation were measured by the device Oxi 330i / SET. The accuracy of the instrument for dissolved oxygen is 0.5% of the value which was obtained by measurement. Due to the possibility of daily dynamics of the oxygen concentration in the water in order to reduce the error the measurements were performed in the afternoon during 11÷16 hours.

Measurements were carried out in the existing populations of typical technological lake plants which belong to environmental groups of submerged (*Ceratophyllum demersum* L.), floating (*Potamogeton natans* L., *Nuphar lutea* (L.) Smith.) and air-water (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) plants.

3. Research results and discussion

Physiographic area of Small Polissya is located between Volyn Upland steppe in the north, north-west Roztocze and Podillya Upland steppe in the south-east.

The Small Polissya area has a triangle shape, the bigger side of which is located on the north side, and the opposite corner from it reaches an ancient settlement Zvenygorod in Peremyshl rayon of Lviv oblast. The west corner of the «triangle» is located in Tomaszów Lubelski in Poland, where the river Solokiya originates (the left tributary of the river Western Bug). This physical-geographic zone is characterized by high moisture, mild winters and moderately warm summers. The particular features of the geomorphological structure of the plains are stipulated by local climatic differences. Thus, the amount of rainfall in Small Polissya is greater and equals to 650÷740 mm, which is 11÷14% higher than in adjacent areas [16]. Such excess amount of precipitation is explained by higher forestation and water-logged areas. In the natural environment of Small Polissya the important role is played by groundwater. The aquifer in anthropogenic sediments lies at a depth of 0.5 m.

Technogenic lakes which are located in Small Polissya of Ukraine, were formed by sand mining dredge. The acquisition of this territory as raw materials base began in the early 20th century with the extraction of construction materials of local significance. In areas close to groundwater the extraction of sand in the upper layer was carried out in dry conditions. By reducing the working depth of the career it was done by the way of underwater extraction in aqueous career. Collection of sand was carried to reaching a depth of water to 15 m. After the termination of the career use there remained man-made water bodies like lakes, with devastated coastal zone within the career field and the adjacent territory.

The studied reservoirs are classified according to the area as small water surface areas of less than 1 km². Considering the genesis of man-made lakes, the structure of the created lakes is complex. In general, according to the shape they can be attributed to two groups – elongated and oval with uneven coastline, which is due to the spatial localization of specific minerals which are put out in the pits. It explains the absence of shallow water at some developed coastal areas. The lakes have a mixed type with a predominance of underground water supply and slope runoff, partly due to rainfalls.

In the conditions of newly created man-made hydrotopes there were created lake ecosystems that were trying to develop according to natural laws, with certain characteristics are similar to natural analogues. As you know, the main spe-

cific feature of the lakes is a positive balance of matter and energy. The natural process of «aging» of the lake lies in the accumulation of auto- and allochthonic organic and mineral matter, shoaling and full overgrowing. In lakes with flowing waters there is the outflow of water, allowing the ecosystem to maintain a stable level and not to «age». In lakes where there are no such external factors, there is a gradual accumulation of nutrients, resulting in the fact that an oligotrophic lake becomes eutrophic. The latter ones while aging are filled with bottom sediments, increase productivity, and experience natural eutrophication [17].

An adequate indicator of the degree of eutrophication is oxygen in summer [18]. Dissolved oxygen in the water is one of the most critical parameters characterizing the suitability of water for drinking and industrial water supply, as well as habitat for organisms. Its content largely determines the water quality and intensity of the processes occurring in the reservoir – pollution and purification, decomposition of organic matter, life of hydrobionts. The oxygen concentration, determined in water, is the resulting value, which depends on complex countervailing processes in the water column and at the boundaries between phases. Today it is proved that photosynthetic aeration often exaggerates the atmospheric one [10]. Therefore, determining the concentration of dissolved oxygen was conducted at sites in the intertidal niches of airy, floating and submerged aquatic vegetation in the man-made lakes of different age that are both flowing and non-flowing water reservoirs.

To conduct the research and analysis the lakes were divided into four groups.

The 1st group – non-flowing lakes formed about 60 years ago. Their depth during the development of the lake after sand extraction decreased from 15 m to 3÷5 m due to silting of sand that came from the coastal zone due to active erosion, as well as laying of organic remnants, the bottom being sandy and muddy. Overgrowing populations of higher aquatic plants of different ecological groups is 50÷65% (Fig. 2).

The 2nd group makes younger non-flowing lakes up to 30÷40 years old. Their depth is bigger and is 4÷7 m, processes of vegetation overgrowth are quite expressive, but less intense than in the lakes of the 1st group, and constitute 30÷45%.

The 3rd group – old flowing lakes aged 55÷60 years of slow water exchange with connection to the river network. Their depth is 5÷6 m. The overgrowth of aquatic vegetation is 30÷35%.

The 4th group – younger flowing lakes aged 30÷35 years of slow water exchange with connection to the river network. Their depth is 6÷10 m, averaging about 7 meters. The overgrowth of aquatic vegetation is 10÷20%.

The oxygen content in lakes of different groups in thickets of macrophytes during the period of observation varied in the range from 4.8 to 10.3 mg O₂/dm³ corresponding to 54÷121% saturation.

Figure 2 shows the average content of dissolved oxygen in lakes of the 1st group in the macrophyte thickets and in areas with no vegetation. Saturation of oxygen in the air-water thickets of vegetation depending on the depth ranged from 54÷77%, in the thickets of submerged vegetation – 85÷93%, in thickets of vegetation with floating leaves – 70÷76%, in areas without vegetation – 66÷78%. In the thickets of reeds, yellow spatter-dock, as well as in areas without vegetation the oxygen content at different depths was less than in the thickets of bushes submerged into water in 1,23÷3,0 times.

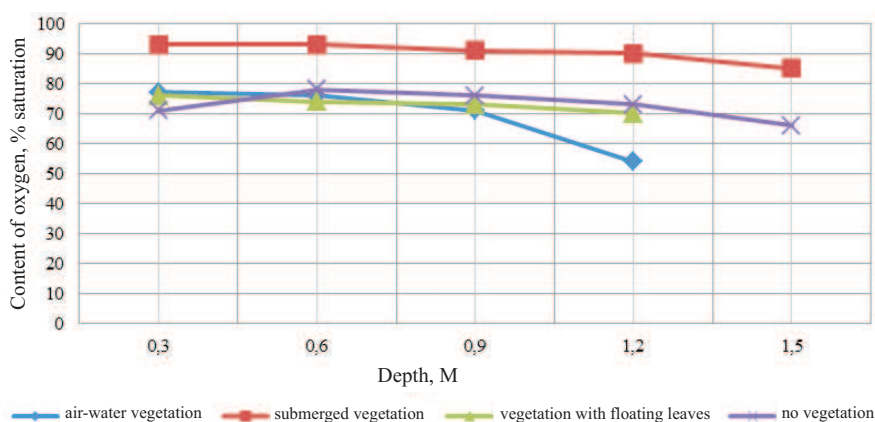


Fig. 2. Average values of oxygen [% of saturation] in the macrophyte thickets of various environmental groups in technogenic lakes in the 1st group

Rys. 2. Średni wskaźnik zawartości tlenu [% nasycenia] w zaroślach mikrofitów różnych grup ekologicznych w jeziorach technogenicznych I grupy

Within each group, there formed a specific mode of oxygen in the water, due to the structural features of plants of different ecological groups, and therefore to the intensity of photosynthesis process. In thickets of air-water aquatic vegetation the oxygen content begins to fall sharply at a depth of 0.9 m. In vegetation embedded to this depth the oxygen content is almost the same, and then its concentration gradually decreases. In areas with no vegetation, there is another pattern that, in our opinion, is due to the prevalence of atmospheric aeration in formation of oxygen regime in the water up to 0.5 m.

Figure 3 shows the content of dissolved oxygen in lakes of the second group in the macrophytes thickets and in areas with no vegetation.

Saturation of oxygen in the air-water thickets of vegetation depending on the depth varies within 104÷108%, in the thickets of submerged vegetation – 106÷121%, in the thickets of vegetation with floating leaves – 102÷106%, and in areas without vegetation – 103÷105% that exceeds the results in the older non-flowing lakes and indicates lower expenses of oxygen in productive-de-

structive dynamic processes occurring in aquatic ecosystems of this group of lakes.

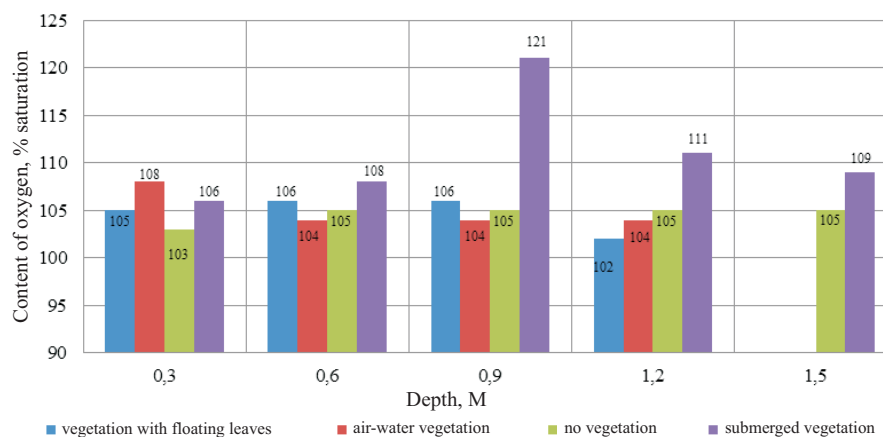


Fig. 3. Average values of oxygen content in the macrophytes thickets of different ecological groups of technogenic lakes in the 2nd group

Rys. 3. Średni wskaźnik zawartości tlenu w zaroślach mikrofitów różnych grup ekologicznych w jeziorach technogenicznych II grupy

In general, there remains a tendency of larger accumulation of oxygen in the thickets of submerged vegetation, but its maximum concentration is reached at a depth of 0.9 m, and then gradually decreases, but at a depth of 1.5 m it remains the highest compared with other environmental groups – 10% more oxygen in the thickets of vegetation with floating leaves, and respectively 6% and 4% oxygen in air-water thickets of vegetation and in areas without vegetation.

The content of dissolved oxygen in lakes of the 3rd group is shown in Fig. 4. Saturation of oxygen in lakes of the 3rd group in the thickets of air-aquatic vegetation depending on the depth ranges in 90÷99%, in the thickets of submerged vegetation – 100÷106%, vegetation with floating leaves – 85÷101%, and in areas without vegetation – 100÷101%. The oxygen content in the air-water thickets of aquatic vegetation and vegetation with floating leaves decreases with depth. In the thickets of submerged vegetation as well as in the lakes of the second group, there is a maximum accumulation of oxygen at a depth of 1 m, after which its concentration gradually decreases, but the absolute values of oxygen saturation of the "old" lakes with slow water exchange (3rd group) is 5÷15% lower than the in «young» non-flowing lakes (2nd group).

Figure 5 shows the distribution of oxygen concentrations by depth in the macrophyte lakes of the 4th group. Oxygen saturation in the lakes of the 3rd group in the thickets of air-aquatic vegetation depending on the depth varies

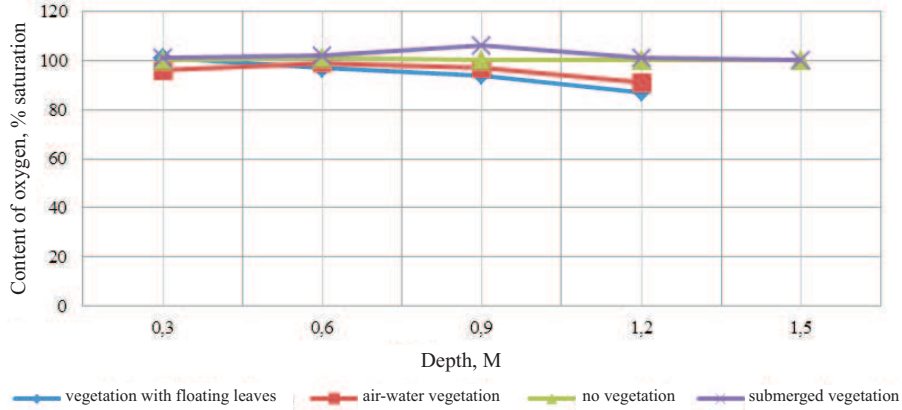


Fig. 4. Average values of the oxygen content in the macrophytes thickets of different ecological groups of technogenic lakes in the 3rd group

Rys. 4. Średni wskaźnik zawartości tlenu w zaroślach mikrofitów różnych grup ekologicznych w jeziorach technogenicznych III grupy

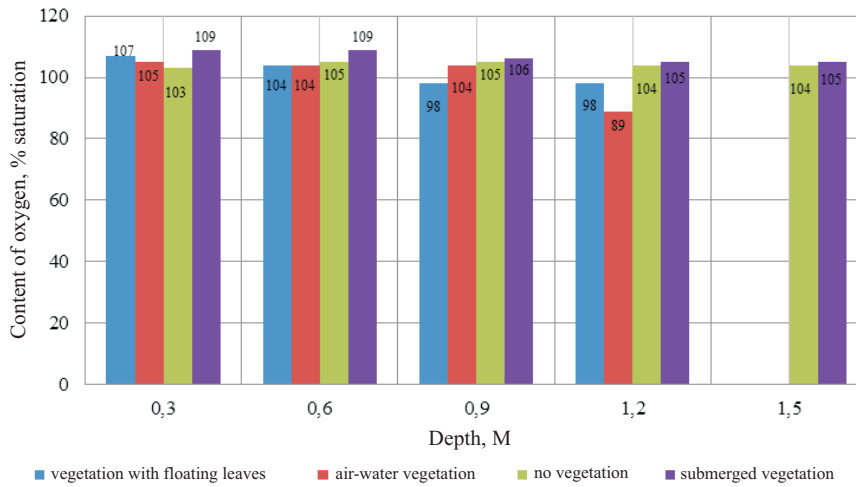


Fig. 5. Average values of oxygen content in the macrophytes of different ecological groups of technogenic lakes in the 4th group

Rys. 5. Średni wskaźnik zawartości tlenu w zaroślach mikrofitów różnych grup ekologicznych w jeziorach technogenicznych IV grupy

within 89÷105%, in thickets of submerged vegetation – 105÷109% in the thickets of vegetation with floating leaves – 98÷107%, and in areas without vegetation – 103÷105%. The concentration of oxygen in water of man-made lakes of the fourth group is relatively high, but their distribution in depth in areas occu-

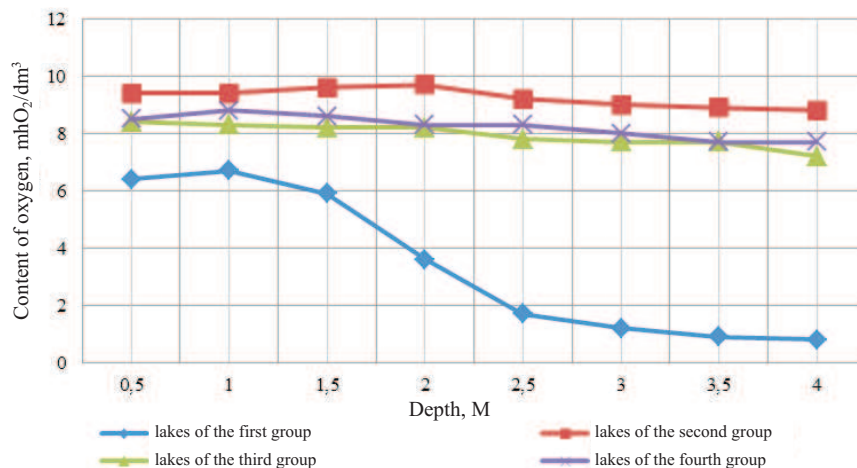


Fig. 6. Distribution of the average oxygen concentration in the depth of technogenic lakes in areas without vegetation

Rys. 6. Rozdzielczość średniej koncentracji tlenu według głębokości w jeziorach technogenicznych w częściach bez roślinności

pied by macrophytes of various environmental groups, has some differences compared to the previous two options and is similar to the oxygen content in the lakes of the 1st group, and in this case it indicates oligotrophic state of the lake.

In general, the analysis of charts and graphs shows that with depth the content of dissolved oxygen in water of man-made lakes decreases. When measuring, the lowest values were recorded in bottom layers of lakes in the 1st group (Fig. 6), where the oxygen content is reduced to $1.7 \text{ mhO}_2/\text{dm}^3$ that allows to affirm the active development of eutrophication processes and intensive "aging" of the 1st group of lakes, as it is well known that in summer in eutrophic lakes the oxygen content decreases sharply with depth, and at the bottom its content is minimal, which was recorded in research in the areas of lakes of the 1st group.

Lakes of other groups can be attributed to oligotrophic because in the unproductive lakes the oxygen content varies slightly with depth and in the bottom its content is sufficiently high.

4. Conclusions

Analyzing the received data can be noted that technogenic lakes of different age which are either non-flowing or with slow water exchange have individual concentration of dissolved oxygen. Thus, the oxygen content in non-flowing lakes at the age of 60 years in the water up to 1.5 m makes $4,8 \div 8,1 \text{ mhO}_2/\text{dm}^3$. In the «younger» non-flowing lakes of 30÷40 years of age the oxygen concentration is the largest and makes $8,7 \div 10,3 \text{ mhO}_2/\text{dm}^3$.

In lakes with slow water exchange aged 55÷60 years, the oxygen content is in the range of 7,5÷9,2 mhO₂/dm³. The same interval is typical for younger flowing lakes aged 30÷35 years. Thus, the degree of accumulation of oxygen in technogenic reservoirs is affected by both age and degree flow-through lake. In macrophytes thickets of various environmental groups a specific oxygen regime is formed through the structural features of plants of different ecological groups, and therefore the intensity of the process of photosynthesis in depth is different. The highest amount of oxygen is accumulated in the lakes in the bush submerged vegetation and makes 85÷121% saturation. In areas of undergrowth air-water vegetation the oxygen content varies widely (54÷108%) and strongly depends on the type and depth of the reservoir. A similar range of oxygen (70÷107% saturation) is characteristic of undergrowth plants with floating leaves. The oxygen concentration in the last two environmental groups gradually decreases with depth. In the thickets of submerged vegetation there are two versions of the oxygen regime, the first mode (gradual decrease in concentration) – typical for water of the first and 4th groups that have lower concentrations of oxygen (85÷109%), the 2nd – for ponds of the second and 3rd groups with peak of oxygen accumulation at a depth of about 1 m (106÷121% saturation), then the oxygen content decreases with increasing depth.

The content of dissolved oxygen in the water during the summer is an important indicator of the eutrophic water degree. According to the determined data, on the lakes of the first group there is the development of eutrophication processes, as it was revealed a sharp fall in oxygen concentration with depth and its low value in the bottom layer.

References

1. Law of Ukraine „On ratification of European Landscape Convention” from 7.09.2005. N 2831-IV. Notes from Supreme Court of Ukraine, 2005, 51.
2. Kucheryavy V.P.: Reclamation and fitomelioration. Lviv, Svit 2006.
3. Kucheryavyi V.P.: Phytomelioration: Manual. Lviv, Svit 2003.
4. Sadchikov A.P.: Ecology of coastal-water vegetation (training manual for students of high schools. Publishing house NIA-Priroda, REFIA 2004.
5. Dubyna D.V., Stoyko S.M., Sytnyk K.M.: Macrophytes – the indicators for environmental changes. Naukova Dumka, 1993.
6. Krotkevych P.G.: Role of vegetation in protection of water reservoirs: Manual. Znaniye 1982.
7. Krot Y.G.: Using of up-water aquatic plants in biotechnology for cleaning of upper waters and sewage waters. Hydrobiological Journal, 42, 1, 2006, 47-61.
8. Kokin K.A.: Ecology of higher vegetation: Manual. Znaniye 1982.

9. Gallon C., Munger C., Premont S., Campbell P.G.C.: Hydroponic study of aluminum accumulation by aquatic plants. Effects of fluoride and pH. *Water, Air, and Soil Pollution*, 153, 1-4, 2004, 135-155.
10. Konstantinov A.S.: General hydrobiology. High School, 1079.
11. R. Hohmann, R. Kipfer et al.: Processes of deep-water renewal in Lake Baikal, *Limnology. Oceanogr.*, 42, 5, 1997, 841-855.
12. Karpova G.A.: Oxygen regime in the macrophytes thickets with different intensity of water exchange (based on the examples of flood-plain ponds of the Dnieper). *Hydrobiological Magazine*, 44, 4, 2008, 56-66.
13. Tsaplina E.N.: Role of higher vegetation in the oxygen regime of the water reservoirs of Ukraine. Presentation at the V All-Russian conference on water vegetation „Hydrobotanics 2000”. Borok 10-13 October 2000, 227-228.
14. Gerasimova T.N.: Interrelations between trophic chains and influence of non-ivy hydrophytes over the oxygen regime of eutrophic water reservoirs. *Water Resources*, 6, 1998, 724-729.
15. Einor L.O.: Special features of the oxygen regime formation and pH of natural water influenced by submerged vegetation in conditions of Ivankov water reservoir. *Water Resources*, 2, 1984, 122-131.
16. Babichenko V.N., Barabash M.B., Logvinov K.T.: Nature of Ukrainian SSR. Climate, Naukova Dumka, 1984.
17. Kucheryavy V.P.: General Ecology. Lviv, Svit 2010.
18. Pianka E.: Evolutional Ecology. Publishing House „Myr”, 1981.

FITOMELORATYWNY WPŁYW MAKROFITÓW RÓŻNYCH GRUP EKOLOGICZNYCH NA WARUNKI TIENOWE JEZIOR TECHNOGENICZNYCH MAŁEGO POLESIA UKRAINY

Streszczenie

W pracy zostały przedstawione wyniki określenia cech warunków tlenowych w zaroślach makrofitów różnych grup ekologicznych, do których są zaliczane zanurzone (*Ceratophyllum demersum* L.), pływające (*Potamogeton natans* L., *Nuphar lutea* (L.) Smith.) i powietrzno-wodne rośliny (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) rosnące w jeziorach technogenicznych Małego Polesia Ukrainy. Teren fizyczno-geograficzny Małego Polesia znajduje się w większości na zachodniej części Ukrainy i na niewielkiej wschodniej części Polski. Są to tereny płaskie, o wysokim stopniu wilgotności, wykształcone w niewielkiej odległości od powierzchni wód podziemnych. Jeziora technogeniczne na tym obszarze zostały utworzone w wyniku wydobywania piasku z wykorzystaniem pogłębiarki w warunkach wodnych kanionów przed 30-60 laty. Jeziora można zaliczyć zarówno do jezior przepływowych, jak również do zamkniętych. Tlen rozpuszczony, temperatura oraz nasycenie tlenem było mierzone na różnych głębokościach za pomocą narzędzi Oxi 330s/SET. Największe koncentracje tlenu wykryto w częściach jezior zajętych roślinnością zanurzoną. W powietrzno-wodnych zaroślach oraz wśród roślinności pływającej zawartość tlenu jest prawie jednakowa. Ten wskaźnik stopniowo się zmniejsza wraz z głębokością. Na warunki tlenowe w zaroślach makrofitów wpływa wiek i przepływalność jezior. Koncentracja tlenu największa jest w stosunkowo „młodszych” przepływowych jeziorach (30-35-letnich), najmniejszą zaś w starszych jeziorach, które cechuje największy stopień zarośnięcia. Według rezultatu pomiaru tlenu rozpuszczonego na różnych głębokościach i przy warstwie

dolnej ustalono aktywny rozwój procesów eutrofizacji w nieprzepływowych jeziorach technogenicznych przez ok. 60 lat.

Słowa kluczowe: zawartość tlenu, jeziora technogeniczne, zanurzone, pływające powietrzno-wodne makrofity

DOI:10.7862/rb.2013.62

Przesłano do redakcji 10.10.2013 r.

Przyjęto do druku: 13.11.2013 r.

Witold NIEMIEC¹
Honorata TRZCIŃSKA²
Monika MAKOWIECKA³

PROMOCJA GMINY JAKO STYMULANTA ROZWOJU JEDNOSTEK SAMORZĄDU TERYTORYALNEGO

W opracowaniu podjęto próbę ukazania znaczenia promocji jednostek samorządu terytorialnego w stymulowaniu rozwoju lokalnego gminy. W tym celu dokonano analizy wydatków wybranej jednostki (Krynica-Zdrój) przeznaczonych na finansowanie promocji w wybranej gminie, jak również analizy ruchu turystycznego. W opracowaniu została także poruszona kwestia bezrobocia w gminie oraz zagadnienie dochodów własnych gminy i ich przeznaczenia w analizowanym okresie (2005÷2011). Autorzy szczególną uwagę zwrócili na zależności między analizowanymi zagadnieniami, wyznaczając współczynnik korelacji Pearsona. Ponadto w pracy zaprezentowano podejmowane przez gminę działania w realizacji Strategii Promocji Krynicy-Zdroju do 2016 roku, które wykorzystują potencjał jednostki, zaspokajając potrzeby odbiorców jej oferty i jednocześnie budując tożsamość konkurencyjną miasta.

Wyniki analizy pozwoliły stwierdzić, że skuteczne działania marketingowe wpływają nie tylko na zmniejszenie bezrobocia czy zwiększenie „popularności” gminy (wyrażającej się w szczególności w zwiększeniu w budżecie wpływów z turystyki), lecz przede wszystkim przyczyniają się do jej rozwoju, zapewniając wyższą jakość życia mieszkańców. Kompleksowe działania promocyjne prowadzą do ukształtowania pozytywnego i konkretnego wizerunku danej jednostki samorządu terytorialnego, a tym samym do jej rozwoju.

Analizowana w opracowaniu gmina Krynica-Zdrój w ostatnich latach zintensyfikowała działania promocyjne, zwiększając (z wyjątkiem 2011 roku) wydatki na marketing terytorialny, co przyczyniło się do zwiększenia dynamiki ruchu turystycznego, a tym samym do generowania dochodów w gminie. Pozwala to mieć nadzieję na dynamiczny rozwój omawianej jednostki w kolejnych latach.

Słowa kluczowe: promocja gminy, rozwój gminy, ruch turystyczny, bezrobocie, finanse gminy

¹ Witold Niemieć, Politechnika Rzeszowska, ul. Poznańska 2, 35-959 Rzeszów, tel.: 502663479, e-mail: wniemiec@prz.rzeszow.pl

² Autor do korespondencji/corresponding author: Honorata Trzcńska, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nowym Sączu, ul. Traugutta 42/8, 33-300 Nowy Sącz, tel.: 506393766, e-mail: onore123@tlen.pl

³ Monika Makowiecka, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nowym Sączu, ul. 29 Listopada 18 I/16, 33-300 Nowy Sącz, tel.: 665459080, e-mail: monika.makowiecka@onet.eu

1. Wprowadzenie

Obecnie, aby móc zaistnieć oraz sprawnie funkcjonować na rynku, należy podejmować wiele działań promocyjnych. Dotyczy to nie tylko rozwiniętych podmiotów gospodarki narodowej, ale również jednostek samorządu terytorialnego. W ostatnich latach władze samorządowe zaczęły dostrzegać konieczność prowadzenia aktywnych przedsięwzięć mających na celu promocję gminy (a tym samym przeznaczania coraz większych kwot na ich finansowanie), uwzględniając je w strategiach rozwoju lokalnego. Jednostki samorządu terytorialnego coraz częściej zdają sobie sprawę z konieczności podejmowania działań promocyjnych w gminie, tworząc atrakcyjne oferty nie tylko dla inwestorów, lecz także turystów, a tym samym zyskując szansę na dalszy rozwój. Przystąpienie Polski do Unii Europejskiej dało samorządom nowe możliwości w zakresie promocji, a także dodatkowe środki finansowe z UE na promocję w ramach regionalnych programów operacyjnych⁴.

Promocja jednostek samorządu terytorialnego jest obecnie jednym z priorytetowych zadań, jakie stoją przed samorządem lokalnym, który coraz skuteczniej wykorzystuje do tego celu wszelkie środki. Można do nich zaliczyć w szczególności: targi, wystawy, konferencje, publikacje własne, prasę codzienną, ekonomiczną, gospodarczą czy turystyczną, jak również media elektroniczne (radio, telewizję, internet).

Celem prezentowanego opracowania jest próba ukazania znaczenia promocji w procesie rozwoju lokalnego podstawowej jednostki samorządu terytorialnego, jaką jest gmina, na przykładzie uzdrowiska Krynica-Zdrój. W odniesieniu do problemu badawczego została przeprowadzona m.in. analiza wydatków na finansowanie promocji w gminie, jak również analiza ruchu turystycznego. Ponadto w opracowaniu poruszono kwestię bezrobocia w gminie oraz zagadnienie dochodów własnych gminy i ich przeznaczenie w analizowanym okresie (2005÷2011). Zważywszy na złożoność omawianego zagadnienia artykuł porusza jedynie wybrane aspekty traktujące o problematyce działań promocyjnych jednostki samorządu terytorialnego stymulujących jej rozwój.

2. Finansowanie promocji w gminie

Warunkiem skutecznej promocji gminy są znaczne zasoby finansowe przeznaczone na wspieranie wartościowych, oryginalnych inicjatyw oraz przedsięwzięć gospodarczych, kulturalnych czy sportowych. To one tworzą markę danej jednostki, budując jednocześnie poczucie integracji całej społeczności. Przyczyniają się także do stałego osiedlania na terenie gminy. Promocja jest skuteczna, gdy dobre opinie o działalności samorządu przekładają się na nowe inwestycje oraz miejsca pracy.

⁴ Promocja samorządów i firm za unijne pieniądze. PAP, 19.08.2010 r., <http://finanse.wp.pl/>.

Spora grupa samorządów lokalnych opracowuje konkretne plany działań co do promocji gminy. Inne, zdając sobie sprawę z konieczności odpowiedniej promocji, dopiero przymierzają się do podjęcia odpowiednich przedsięwzięć. Cele strategiczne działalności promocyjnej jednostek samorządu terytorialnego są określane w różnych długofalowych dokumentach planistycznych. W Krynicy-Zdroju opracowano strategię promocji gminy⁵, przyjętą uchwałą Rady Gminy 14 grudnia 2013 roku. Priorytetem w działalności promocyjnej gminy Krynica-Zdrój jest wzrost rangi turystyki i lecznictwa uzdrowiskowego gminy.

Z działaniami promocyjnymi gminy nierozdzielnie wiążą się wydatki. Wydatki na promocję gminy, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Finansów w sprawie szczegółowej klasyfikacji dochodów, wydatków, przychodów i rozchodów oraz środków pochodzących ze źródeł zagranicznych⁶, są realizowane w dziale 750 „Administracja publiczna”, rozdział 75075 „Promocja jednostek samorządu terytorialnego”. Wydatki gminy Krynica-Zdrój na promocję w latach 2005-2011 prezentuje tab. 1.

Tabela 1. Wydatki gminy przeznaczane na promocję Krynicy-Zdroju w latach 2005-2011 [zł], na podstawie danych ze sprawozdań z wykonania budżetu Krynicy-Zdroju za lata 2005-2011

Table 1. Expenditure for municipalities to promote Krynica-Zdroj in 2005-2011 [PLN], based on the data from the reports on budget implementation Krynica-Zdroj for period 2005-2011

Promocja gminy Krynica-Zdrój	Wydatki na promocję	Ogółem wydatki gminy	Struktura wydatków [%]
2005	320888,00	35845965,00	0,90
2006	277372,54	41267848,74	0,67
2007	308360,82	48435717,76	0,64
2008	440406,68	66980545,15	0,66
2009	946216,04	73864931,21	1,28
2010	1187087,05	92540053,27	1,28
2011	720317,34	104798737,59	0,69

Analizując wydatki gminy Krynica-Zdrój przeznaczone na promocję, należy zauważyć, że do 2011 roku kwota wydatkowana na marketing w tej jednostce systematycznie wzrastała, osiągając w 2010 najwyższy poziom w odniesieniu do badanego okresu (2005÷2011), tj. 1 187 087,05 zł. Stanowiła wówczas 1,28% ogółu wydatków w gminie. W ostatnim analizowanym okresie (2011 rok) wyraźnie spadła (w stosunku do 2010 i 2009) kwota, którą gmina przeznaczyła na cele promocyjne, mimo że wydatki ogółem w Krynicy-Zdroju zwiększyły się

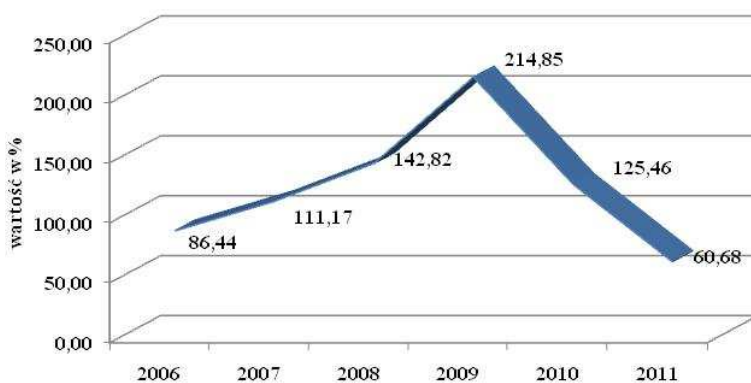
⁵ Strategia Promocji Gminy Krynicy-Zdroju. Uchwała nr XVIII.115.2011 Rady Miejskiej w Krynicy-Zdroju z dnia 14.12.2011 r. w sprawie przyjęcia Strategii Promocji Krynicy-Zdroju.

⁶ Rozporządzenie Ministra Finansów w sprawie szczegółowej klasyfikacji dochodów, wydatków, przychodów i rozchodów oraz środków pochodzących ze źródeł zagranicznych z dnia 02.03.2010 r., Dz.U. z 2010 r. Nr 38, poz. 207.

o ponad 12 mln zł. Niniejszą tendencję obrazuje rys. 1. przedstawiający dynamikę wydatków na promocję gminy Krynica-Zdrój w latach 2005-2011.

Największy wzrost tego rodzaju wydatków odnotowano w 2009 roku w porównaniu z 2008, kiedy na cele promocyjne w gminie wydano kwotę o ponad 114% większą niż przed rokiem. Największe zmniejszenie omawianych wydatków odnotowano w ostatnim analizowanym okresie (2011 rok). Na działania promocyjne przeznaczono wówczas o 40% mniej niż w 2010 roku.

Dokonując analizy zmian w kwotach przeznaczanych na promocję gminy Krynica-Zdrój, wyznaczono dla omawianego obszaru linię trendu (rys. 2.)⁷, model zaś zweryfikowano za pomocą współczynnika determinacji⁸.



Rys. 1. Dynamika wydatków na promocję Krynicy-Zdroju (wskaźniki łańcuchowe za lata 2005-2011) [%]

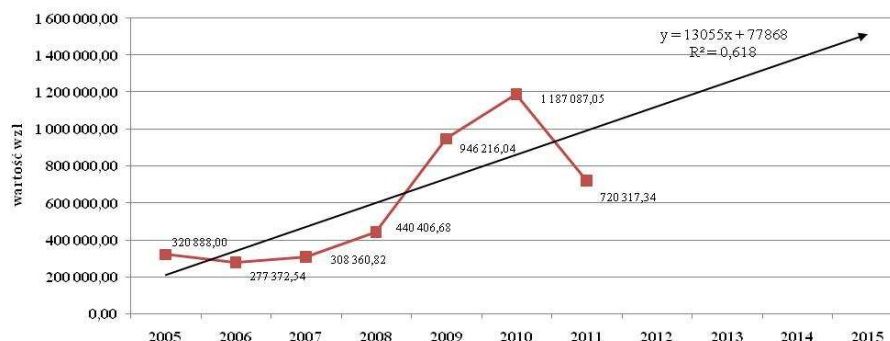
Fig. 1. The growth of Krynica-Zdroj promotion (chain indices for the period 2005-2011) [%]

⁷ Linie trendu wyznaczono za pomocą funkcji liniowej.

⁸ R^2 (ang. *r square*) współczynnik determinacji. Miara oceny dopasowania funkcji regresji do danych empirycznych, która informuje, jaka część zmienności zmiennej objaśnianej Y została wyjaśniona przez zmienność zmiennej objaśniającej X . Współczynnik determinacji oblicza się według wzoru:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2},$$

gdzie: y_i – wartości empiryczne zmiennej $Y (i=1, \dots, N)$, \hat{y}_i – wartości teoretyczne zmiennej $Y (i=1, \dots, N)$ wyznaczone na podstawie linii regresji, N – liczebność próby (szereg szczegółowy). Ponadto prawdziwe są zależności: $R^2 = 1 - \varphi^2$ (współczynnik zbieżności), $R^2 = r_{YX}^2$ (współczynnik determinacji). Wartość współczynnika determinacji mieści się w przedziale $[0, 1]$. Im wyższa wartość, tym lepsze dopasowanie linii regresji do danych empirycznych. Przy drugiej wartości skrajnej, jeżeli współczynnik wyznaczania ma wartość 0, równanie regresji nie jest pomocne w obliczaniu prognozowanej wartości Y .



Rys. 2. Wydatki na promocję gminy Krynica-Zdrój w latach 2005-2011 [zł] oraz linii trendu do 2015 roku, na podstawie danych ze sprawozdań z wykonania budżetu Krynicy-Zdroju za lata 2005-2011

Fig. 2. Expenditure on promotion of Krynica-Zdroj municipalities in 2005-2011 [PLN] and trend lines for 2015, based on the data from the reports on budget implementation Krynica-Zdroj for period 2005-2011

Współczynnik determinacji wyznaczony celem określenia istotności niniejszego modelu wskazuje, że wyjaśnia on 62% zmiennej objaśnianej dla gminy Krynica-Zdrój. Wyniki przeprowadzonej analizy wskazują na wyraźny wzrost wydatków na działania promocyjne w gminie Krynica-Zdrój do 2010 roku. Mimo zmniejszenia wydatków na ten cel w ostatnim analizowanym okresie (2011 rok), można przewidywać, że w kolejnych okresach (do 2015 roku) wartość ta będzie znów wzrastała.

Niemniej jednak przewidywania nie zapewniają osiągnięcia zakładanego wyniku w przyszłości. Zwiększenie działań promocyjnych w gminie, a co za tym idzie – rozwój lokalny tej jednostki jest uwarunkowany wieloma czynnikami. Należy podkreślić znaczenie występowania szans i ograniczeń wynikających z ogólnych uwarunkowań procesów gospodarowania.

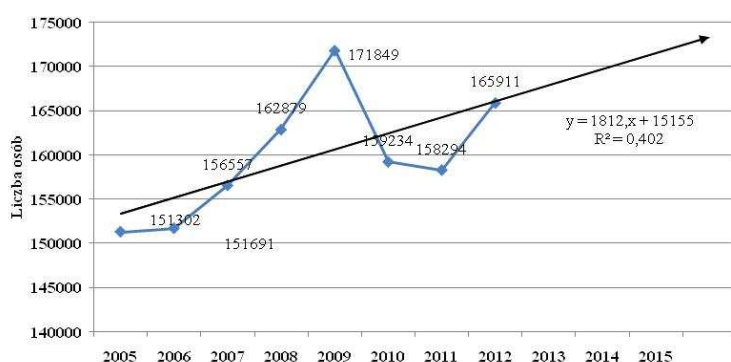
3. Analiza ruchu turystycznego w gminie Krynica-Zdrój

Jedną z ważniejszych kwestii, na które promocja gminy ma niezwykle istotny wpływ, jest ruch turystyczny. Istotność tego zjawiska wynika przede wszystkim z faktu, że to właśnie ruch turystyczny stanowi o funkcji turystycznej danego obszaru, przyczyniając się w dużej mierze do rozwoju jednostki samorządu terytorialnego, zwłaszcza jeśli jest to obszar „atrakcyjny” turystycznie posiadający status uzdrowiska. Z kolei posiadanie statusu miejscowości uzdrowskiej ma duże znaczenie dla dochodów w gminie, ponieważ lecznictwo uzdrowskie⁹, w tym turystyka uzdrowska, na skutek przemian społeczno-

⁹ Lecznictwo uzdrowskie to zorganizowana działalność polegająca na udzielaniu świadczeń opieki zdrowotnej, prowadzona w uzdrowsku przez zakłady lecznictwa uzdrowskiego z wykorzystaniem warunków naturalnych, takich jak: właściwości naturalne surowców leczni-

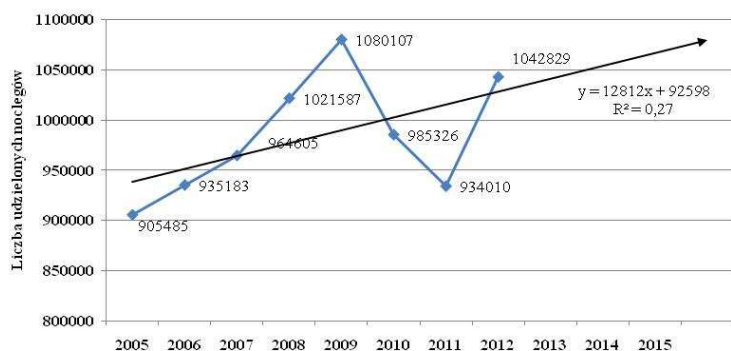
-gospodarczych oraz wzrostu świadomości społeczeństwa nabiera coraz większego znaczenia.

Podjęta w pracy próba analizy ruchu turystycznego gminy Krynica-Zdrój traktuje o wszystkich grupach odbiorców oferty (kuracjuszach oraz turystach) omawianej jednostki. Niemniej jednak, ze względu na ograniczenia związane z niepełnym dostępem do danych statystycznych oraz zebranie niektórych danych jedynie na poziomie województwa, w opracowaniu uwzględniono lata 2005-2011 z punktu widzenia liczby osób korzystających z noclegów w gminie (rys. 3.) oraz liczby udzielonych noclegów ogółem (rys. 4.).



Rys. 3. Korzystający z noclegów ogółem w gminie w latach 2005-2012, na podstawie danych GUS za lata 2005-2012

Fig. 3. Accommodated in total in the municipality in 2005-2012, based on CSO data for the period 2005-2012



Rys. 4. Udzielone noclegi ogółem w gminie w latach 2005-2012, na podstawie danych GUS za lata 2005-2012

Fig. 4. Granted total accommodation in the community in 2005-2012, based on CSO data for the period 2005-2012

czych, właściwości lecznicze klimatu oraz właściwości lecznicze mikroklimatu, a także towarzyszące temu zabiegi fizykalne – ustawa z dnia 28 lipca 2005 r. o lecznictwie uzdrowiskowym, uzdrowiskach i obszarach ochrony uzdrowiskowej oraz gminach uzdrowiskowych (Dz.U. 05.167.1399).

Analiza danych statystycznych o przyjazdach turystów do gminy Krynica-Zdrój pozwala zauważyć, że systematycznie (poza 2010 i 2011 rokiem) zwiększa się liczba odwiedzających obiekty zbiorowego zakwaterowania. Największą liczbę korzystających z obiektów zbiorowego zakwaterowania zaobserwowano w 2009 roku, kiedy z usług noclegowych Krynicy-Zdroju skorzystało blisko 172 tys. osób. Na szczególną uwagę zasługuje ostatni analizowany okres (2012 rok), kiedy odnotowano wzrost liczby udzielonych noclegów w badanej gminie (o około 5% w odniesieniu do 2011 roku i 4% w stosunku do 2010).

Linie trendu wskazują, że w najbliższym czasie liczba osób korzystających z obiektów zbiorowego zakwaterowania, którymi dysponuje Krynica-Zdrój, będzie wykazywała tendencje rosnące. Współczynnik determinacji wyznaczony dla określenia istotności niniejszej analizy informuje, że model wyjaśnia 40% zmiennej objaśnianej dla analizowanej cechy. Podobne tendencje wykazuje również analiza udzielonych noclegów ogółem w gminie Krynica-Zdrój w latach 2005-2012 (rys. 4.).

Najwięcej noclegów w odniesieniu do analizowanego okresu (2005-2012) udzielono w 2009 roku, kiedy liczba ta kształtowała się na poziomie 1 080 107. Analogicznie do liczby osób korzystających z obiektów zbiorowego zakwaterowania również w odniesieniu do liczby udzielonych noclegów największe „załamanie” wskaźnika odnotowano w 2011 roku. Udzielono wówczas około 14% noclegów mniej niż w 2009 roku i o około 5% mniej niż w 2010. Tendencje wzrostowe zaobserwowano natomiast w 2012 roku, kiedy liczba udzielonych noclegów zwiększyła się (w porównaniu z 2011) o 12%.

Linie trendu obrazujące tendencje kształtowania się liczby udzielonych noclegów wskazują, że w najbliższych latach liczba ta będzie się sukcesywnie zwiększać. Aby uszczegółowić analizę, model zweryfikowano (podobnie jak w przypadku badania liczby korzystających z noclegów) za pomocą wskaźnika determinacji, który wskazuje, że model wyjaśnia 27% zmiennej objaśnianej dla badanej cechy.

Oferta turystyczna i uzdrowiskowa gminy Krynica-Zdrój oraz możliwości zaspokajania potrzeb wynikających głównie z dostępnej infrastruktury bezdyskusyjnie przyczyniają się do rozwoju tej jednostki samorządu terytorialnego. Jakość i różnorodność oferty turystycznej, w tym uzdrowiskowej, przy dużej konkurencji oraz wyczerpująca informacja o oferowanych usługach mają ogromne znaczenie dla zwiększenia liczby osób z niej korzystających.

W celu oceny relacji między wydatkami przeznaczanymi na promocję gminy a liczbą osób odwiedzających uzdrowisko Krynica-Zdrój obliczono współczynnik korelacji liniowej Pearsona¹⁰. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń ustalono współczynnik korelacji liniowej Pearsona na poziomie: $r_{xy} = 0,60$.

¹⁰ Współczynnik określający poziom zależności liniowej między zmiennymi losowymi.

Niech x i y będą zmiennymi losowymi o ciągłych rozkładach, x_i , y_i oznaczają wartości prób losowych tych zmiennych ($i = 1, 2, \dots, n$), natomiast \bar{x} , \bar{y} – wartości średnie z tych prób, tj.

Dokonując interpretacji wskaźnika korelacji dla analizowanych wielkości, należy stwierdzić, że zależność liniowa dwóch badanych zmiennych jest bardzo duża. Wysokie skorelowanie badanych parametrów zmiennych oznacza, że „popularność” gminy Krynica-Zdrój oceniana w niniejszym opracowaniu na podstawie liczby udzielonych noclegów w latach 2005-2011 jest istotna z punktu widzenia podejmowanych przez gminę działań promocyjnych i odwrotnie. Uzyskany wynik świadczy także o wysokim skorelowaniu liniowym. Między promocją gminy Krynica-Zdrój a „popularnością” wśród osób przyjeżdżających do tego uzdrowiska istnieją ściśle powiązania. Turyści oraz kuracjusze odwiedzający badaną gminę wpływają bowiem w dużej mierze na rozwój tej jednostki (m.in. poprzez zapotrzebowanie na nowe dobra i usługi), a co za tym idzie – powstawanie nowych miejsc pracy i zmniejszenie bezrobocia w gminie.

4. Problem bezrobocia

Analizując problem bezrobocia w gminie Krynica-Zdrój (rys. 5.), należy zwrócić uwagę, że począwszy od 2008 roku wskaźnik udziału bezrobotnych w liczbie ludności w wieku produkcyjnym jest w miarę stabilny z niewielką tendencją wzrostową (poziom bezrobocia w tej jednostce nadal jest relatywnie niski – 10,2%). Świadczy to o podwyższonym (w odniesieniu do lat 2005-2011) poziomie bezrobocia w gminie, a tym samym o pogorszeniu sytuacji na rynku pracy. Wartość wskaźnika może świadczyć nie tylko o zwiększeniu bezrobocia w gminie, lecz także o występowaniu w analizowanej jednostce mniejszej liczby ludności w wieku produkcyjnym.

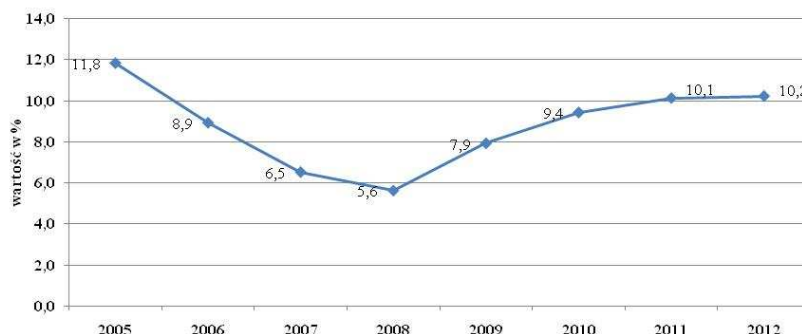
Rezultatem działań promocyjnych gminy jest nie tylko tzw. „popularność” jednostki samorządu terytorialnego wśród turystów (o czym wspomiano wcześniej) czy relatywnie niski poziom bezrobocia. Efektem omawianych działań oraz środków przeznaczanych na promocję są także większe dochody budżetu

$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$. Wówczas estymator współczynnika korelacji liniowej definiuje się

następująco: $r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$. Ogólnie współczynnik korelacji liniowej

dwóch zmiennych jest ilorazem kowariancji i iloczynu odchyłeń standardowych tych zmiennych: $r_{xy} = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y}$.

Wartość współczynnika korelacji mieści się w przedziale domkniętym $[-1, 1]$. Im większa jego wartość bezwzględna, tym silniejsza jest zależność liniowa między zmiennymi, $r_{xy} = 0$ oznacza brak liniowej zależności między cechami, $r_{xy} = 1$ – dokładną dodatnią liniową zależność między cechami, natomiast $r_{xy} = -1$ – dokładną ujemną liniową zależność między cechami tzn. jeżeli zmienna x rośnie, to y maleje i na odwrót. Korelację można interpretować jako silne, słabe, ujemne; interpretacja taka jest jednak arbitralna i nie można jej traktować zbyt ściśle.



Rys. 5. Udział bezrobotnych zarejestrowanych w liczbie ludności w wieku produkcyjnym w latach 2005-2012 [%], na podstawie danych GUS za lata 2005-2012

Fig. 5. The share of unemployed registered in the number of working-age population in 2005-2012 [%], based on CSO data for the period 2005-2012

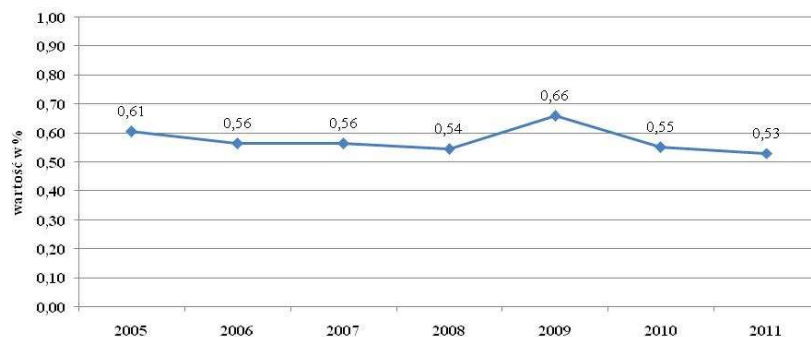
gminy, które z kolei przyczyniają się do dalszego jej rozwoju (m.in. poprzez podejmowanie działań inwestycyjnych), wywierając znaczący wpływ na jej poziom społeczno-gospodarczy.

5. Dochody własne gminy i ich przeznaczenie

Szczególną częścią dochodów gminy wpływającą w dużej mierze na poziom jej zamożności, a tym samym przyczyniającą się do jej rozwoju, są dochody własne¹¹ (w tym w dużej części dochody ze świadczonych usług uzdrowiskowych), będące tym samym źródłem finansowania zadań własnych danej jednostki samorządu terytorialnego, na których wysokość gmina ma możliwość oddziaływania. Udział dochodów własnych w dochodach ogółem w odniesieniu do analizowanej gminy Krynica-Zdrój przedstawia rys. 6.

Analizując kształtowanie się wskaźnika udziału dochodów własnych w dochodach ogółem w gminie Krynica-Zdrój w latach 2005-2011, można stwierdzić, że w każdym badanym okresie jego wartość osiągała zbliżony poziom (między 0,53 a 0,66). Wielkość dochodów własnych omawianej jednostki ozna-

¹¹ Zgodnie z ustawą z dnia 13 listopada 2003 roku o dochodach jednostek samorządu terytorialnego (Dz.U. z 2003 r. Nr 203, poz. 1966, art. 3) dochody własne obejmują: wpływy z podatków, wpływy z opłat, dochody uzyskane przez jednostki budżetowe oraz wpłaty od gminnych jednostek budżetowych oraz gminnych zakładów budżetowych, dochody z majątku gminy, spadki, zapisy oraz darowizny, dochody z tytułu kar pieniężnych i grzywnien regulowanych przez odrębne przepisy, odsetki z tytułu: pożyczek, nieterminowych należności, środków finansowych, 5,0% dochodów uzyskiwanych na rzecz budżetu państwa w związku z realizacją zadań z zakresu administracji rządowej oraz innych zadań zleconych ustawami (o ile odrębne przepisy nie stanowią inaczej), dotacje z budżetów innych jednostek samorządu terytorialnego, udziały we wpływach z podatku dochodowego od osób fizycznych, z podatku dochodowego od osób prawnych oraz inne dochody należne gminie na podstawie odrębnych przepisów.



Rys. 6. Udział dochodów własnych gminy Krynica-Zdrój w dochodach ogółem w latach 2005-2011 [%], na podstawie danych GUS za lata 2005-2011

Fig. 6. The share of own revenues Krynica-Zdroj in total income in 2005-2011 [%], based on CSO data for the period 2005-2011

cza, że źródłami finansowania zadań tej miejscowości uzdrowiskowej były (w każdym badanym roku) w dużej mierze środki własne.

Należy podkreślić, że wzrostowi dochodów własnych gminy sprzyja wzrost lokalnej bazy ekonomicznej, możliwy do osiągnięcia m.in. w wyniku realizacji inwestycji. Procesy te w dłuższym okresie zwiększają bazę podatkową. Wysoki poziom dochodów własnych jest związany z relatywnie dużą stabilnością w czasie, a to z kolei umożliwia podejmowanie działań strategicznych i jest zjawiskiem korzystnym. Jednym z działań mających skutki w dłuższym czasie są tzw. decyzje lokalizacyjne (tab. 2.).

Tabela 2. Wydane pozytywne decyzje lokalizacyjne w Krynicy-Zdrój na podstawie ustawy z dnia 27 marca 2003 roku o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym, na podstawie danych GUS za lata 2009-2011

Table 2. Issued a positive location decisions in Krynica-Zdroj on the basis of the Act of 27 March 2003 about planning and spatial development, based on CSO data for the period 2009-2011

Wyszczególnienie	2009	2010	2011
Decyzje o ustaleniu lokalizacji inwestycji celu publicznego	10	8	22
Decyzje o ustaleniu warunków zabudowy ogółem	60	48	48
Decyzje dotyczące zabudowy usługowej	1	2	2
Decyzje dotyczące zabudowy innej	3	8	8

Gmina Krynica-Zdrój w latach 2009-2011 wydała łącznie: 40 decyzji dotyczących ustalenia lokalizacji inwestycji celu publicznego, 156 decyzji o ustaleniu warunków zabudowy, 5 decyzji związanych z zabudową usługową, 19 decyzji dotyczących pozostałej zabudowy w gminie. Należy także zauważyć dodatkowo tempo zmian w wydawanych decyzjach lokalizacyjnych na terenie Krynicy-Zdrój.

Warto wspomnieć, że pozyskiwanie nowych terenów pod zabudowę oraz wydawanie kolejnych decyzji lokalizacyjnych pod wszelkiego rodzaju działalność (niezbędną zarówno do prawidłowego funkcjonowania jednostki samorządowej, jak i jej rozwoju), nie może odbywać się kosztem degradacji środowiska¹². Dlatego też każde działanie sprzyjające rozwojowi danej jednostki samorządu terytorialnego powinno odbywać się zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju¹³.

Należy pamiętać, że stan (w tym zasoby) środowiska naturalnego (poza wymienionymi wcześniej czynnikami przyczyniającymi się do rozwoju społeczno-gospodarczego danej jednostki) jest także niezwykle istotną stymulantą determinującą rozwój lokalny. Promocja gminy nie przyniesie zakładanych efektów (m.in. wzrostu zainteresowania daną jednostką wyrażającym się w szczególności zwiększeniem ruchu turystycznego), jeśli gmina nie będzie dysponowała czystą wodą, świeżym powietrzem, zdatną do użytkowania glebą czy wolnym od hałd¹⁴ krajobrazem.

6. Podejmowane przez gminę działania w zakresie realizacji strategii promocji Krynicy-Zdroju do 2016 roku

Działania promocyjne gminy powinny wiązać się z kierunkami rozwoju jednostki, współgrać z jej strategią rozwoju, oferując zasoby oraz możliwości będące atrakcyjną propozycją dla potencjalnego odbiorcy. Wyniki badań przeprowadzonych przez twórców Strategii Promocji Krynicy-Zdroju pozwoliły wyłonić listę kryteriów stanowiących o wyjątkowości i popularności analizowanej gminy. Są nimi¹⁵:

- dobra infrastruktura – rozwinięta baza hotelowo-gastronomiczna, sale konferencyjne, dobry dojazd, parkingi, obiekty sportowo-rekreacyjne itp.,
- różnorodność oferty/wielofunkcyjność miejsca – wypoczynek bez względu na porę roku, przyroda, zabytki, sport, kultura, rozrywka, atrakcje dla dzieci itp.,

¹² Zanieczyszczenie środowiska naturalnego jest problemem globalnym i rozpatrywanym jako efekt uboczny rozwoju gospodarczego.

¹³ Rozwój zrównoważony – rozwój społeczno-gospodarczy, w którym następuje proces integrowania działań politycznych, gospodarczych i społecznych, z zachowaniem równowagi przyrodniczej oraz trwałości podstawowych procesów przyrodniczych, w celu zapewnienia możliwości zaspokajania podstawowych potrzeb poszczególnych społeczności lub obywateli zarówno współczesnego pokolenia, jak i przyszłych pokoleń. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz.U. Nr 62, poz. 627, z późn. zm.).

¹⁴ Hałdy – wysypisko skały płonnej lub stałych odpadów przemysłowych powstających w wyniku eksploatacji kopalni lub przerobu surowców w zakładach przemysłowych wydobywania i przetwórstwa węgla oraz rud metali, a także w zakładach związanych z energetyką.

¹⁵ Uchwała nr XVIII.115.2011 Rady Miejskiej w Krynicy-Zdroju z dnia 14 grudnia 2011 r. W sprawie przyjęcia Strategii Promocji Krynicy-Zdroju do 2016 roku, s. 39.

- unikatowy klimat – budowany zarówno przez mieszkańców, jak i gości, specyficzna architektura, magiczność miejsca, ciekawe wydarzenia, bliskość natury itp.

W ramach wyznaczonych kryteriów do realizacji przyjęto następujące działania promocyjne do 2016 roku¹⁶:

- 1) powołanie zespołu ds. marki jako ciała doradczego dla Urzędu Miasta we wdrażaniu i monitorowaniu realizacji strategii promocji,
- 2) opracowanie systemu identyfikacji wizualnej (SIW), którego głównym elementem jest logotyp miasta wyrażający wysokie aspiracje miasta, tak aby w przyszłości stało się kurortem,
- 3) zaprojektowanie oraz wdrażanie systemu informacji miejskiej (SIM), który ułatwi poruszanie się po mieście oraz poprawi estetykę przestrzeni publicznej,
- 4) uporządkowanie nośników reklamowych w gminie,
- 5) modyfikacja serwisu internetowego miasta w zakresie zarówno szaty graficznej, jak i prezentowanych treści,
- 6) Public Relations Krynicy – „duże efekty za małe pieniądze”, wyrażający się w wykorzystaniu narzędzi PR w przedstawianiu tematów i materiałów zainteresowanym ogólnopolskim i regionalnym mediom oraz rozwinięciu różnego rodzaju partnerstw, w tym także przez wprowadzanie na rynek markowych produktów z nazwą Krynica,
- 7) biuletyn „Kurort Krynica” – emisja własnego wydawnictwa, które będzie bezpłatnie kolportowane w miejscach odwiedzanych przez turystów oraz mieszkańców,
- 8) Miasto Nikifora – wykorzystanie pojawiających się pomysłów na podniesienie rangi Nikifora i wykorzystanie jego wizerunku w promocji miasta,
- 9) POP-Nikifor – twórcze i zabawne wykorzystanie wizerunku Nikifora,
- 10) „Krynica jak... Hollywood” – udoskonalenie i uzupełnienie listy charakterystycznych dla Krynicy-Zdroju miejsc, ikon, symboli, rozpoznawalnych obiektów i budowli,
- 11) Muzeum Jana Kiepurzy – „artysta z Krynica w tle” – zaplanowanie działania umiejscowienia w Patrii audiowizualnego muzeum artysty,
- 12) „Film o bohemie i Kiepurze” – wsparcie przez Krynica-Zdrój powstanie w mieście filmu na temat „złotej epoki”, czyli czasu przedwojennej prosperity,
- 13) „Gwiazdorska Krynica” – organizowanie w mieście wydarzeń i projektów zabawnych, ciekawych, niespotykanych itp.,
- 14) pozyskiwanie strategicznych inwestorów dla Krynicy.

Zaproponowane w strategii zadania wykorzystują potencjał Krynicy-Zdroju w sposób wiarygodny, oryginalny oraz interesujący, zaspokajając potrzeby po-

¹⁶ Ibidem, s. 56.

tencjalnych odbiorców oferty i budując tożsamość konkurencyjną miasta. Założenia Strategii Promocji Krynicy-Zdrój odwołują się ponadto do obowiązujących trendów w turystyce, zakładając tym samym współpracę wszelkich podmiotów (samorządu lokalnego, przedsiębiorstw, organizacji pozarządowych), co w znacznej mierze przyczynia się także do integracji mieszkańców z miastem.

Promując nowy wizerunek miasta Krynica-Zdrój, należy przede wszystkim skoncentrować się na wzmocnieniu wiarygodności jednostki i działających na jej obszarze podmiotów gospodarczych. Promocja gminy będzie efektywna tylko wtedy, gdy będzie realizowana w sposób planowany i skoordynowany, wspólnie przez władze samorządowe oraz wszelkie instytucje regionalne.

7. Podsumowanie

Podjęmowane przez jednostki samorządu terytorialnego przedsięwzięcia promocyjne są swego rodzaju stymulantą ich rozwoju. Skuteczne działania marketingowe wpływają bowiem nie tylko na zmniejszenie bezrobocia czy zwiększenie „popularności” gminy (wyrażającej się w szczególności w zwiększeniu w budżecie wpływów z turystyki), lecz przede wszystkim przyczyniają się do jej rozwoju, zapewniając jednocześnie wyższą jakość życia mieszkańców. Promocja gminy powinna opierać się na realnych założeniach, sięgać po autentyczne cechy, atuty oraz zalety miast¹⁷. Te kompleksowe działania prowadzą do ukształtowania pozytywnego i konkretnego wizerunku danej jednostki samorządu terytorialnego¹⁸, a tym samym do jej rozwoju.

Literatura

1. Promocja samorządów i firm za unijne pieniądze. PAP, 19 sierpnia 2010 roku.
2. Sobiech Ł.: Skuteczna promocja samorządu naprawdę się opłaca. Dziennik Gazeta Prawna, 13 grudnia 2007 r.
3. Stanowicka-Traczyk A.: Kształtowanie wizerunku miasta na przykładzie miast polskich. Oficyna Wydawnicza Branta, Bydgoszcz, Olsztyn 2008.
4. Rozporządzenie Ministra Finansów w sprawie szczegółowej klasyfikacji dochodów, wydatków, przychodów i rozchodów oraz środków pochodzących ze źródeł zagranicznych z dnia 02.03.2010 r., Dz.U. z 2010 r. Nr 38, poz. 207.
5. Uchwała nr XVIII.115.2011 Rady miejskiej w Krynicy-Zdroju z dnia 14 grudnia 2011 r. w sprawie przyjęcia strategii promocji Krynicy-Zdroju do 2016 roku.
6. Ustawa z dnia 28 lipca 2005 r. o lecznictwie uzdrowiskowym, uzdrowiskach i obszarach ochrony uzdrowiskowej oraz gminach uzdrowiskowych, Dz.U. z 2005 r. Nr 167, poz. 1399.

¹⁷ Sobiech Ł.: Skuteczna promocja samorządu naprawdę się opłaca. Dziennik Gazeta Prawna, 13.12.2007 r.

¹⁸ Stanowicka-Traczyk A.: Kształtowanie wizerunku miasta na przykładzie miast polskich. Oficyna Wydawnicza Branta, Bydgoszcz, Olsztyn 2008.

7. Ustawa z dnia 13 listopada 2003 roku o dochodach jednostek samorządu terytorialnego, Dz.U. z 2003 r. Nr 203, poz. 1966.
8. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. roku Prawo ochrony środowiska, Dz.U. Nr 62, poz. 627 z późn. zm.
9. www.stat.gov.pl, Bank Danych Lokalnych (21.06.2013).

PROMOTION OF LOCAL SELF-GOVERNMENT UNITS IN STIMULATING THE DEVELOPMENT OF LOCAL COMMUNES

Summary

This research has attempted to show the importance of promoting local self-government units in stimulating the development of local communes. That is why there have been analysed the expenses of a chosen unit (Krynica-Zdrój) on financing promotion in the chosen commune. The analysis of tourist movements has been made as well. The study has also touched the issue of unemployment and the matter of the commune own income and its allocation in the analysed period of time (2005-2011). The authors paid special attention to the correlations between the analysed issues setting Pearson product-moment correlation coefficient. The paper also presents the activities undertaken by the municipality in the implementation of the Strategy for Promotion of Krynica-Zdrój 2016 to use the potential of individuals, meeting the needs of customers of its offer, while building a competitive identity of the city.

The results of the analysis have managed to claim that the effective marketing activities affect not only reduce unemployment and increase the "popularity" of the municipality (as expressed, in particular, to increase the budget revenues from tourism), but above all contribute to its development, while providing a higher quality of life. Comprehensive promotional activities also lead to the formation of positive and concrete image of the local government units and thus to its development.

Analyzed in developing community Krynica-Zdrój in recent years has intensified its promotional activities, increasing the expenses on territorial marketing (with the exception of 2011). It resulted in increasing the dynamic of touristic movements and thus, accumulating income in the commune. All the above will hopefully influence the dynamic development of the analysed unit in the following years.

Keywords: promotion of community, development of the municipality, tourism, unemployment, municipal finance

DOI:10.7862/rb.2013.63

Przesłano do redakcji: 03.07.2013 r.

Przyjęto do druku: 13.11.2013 r.

Jolanta PIEŃCZAK¹
Jolanta WARCHOŁ²

SORBENTY STOSOWANE DO USUWANIA B(III) Z ROZTWORÓW WODNYCH

Bor i jego związki są powszechnie stosowane w przemyśle produkcyjnym jako dodatki do szkła borosilikatowego, emalii, kosmetyków, tkanin, farb do drewna, detergentów, środków owadobójczych i dezynfekujących oraz leków. Uwalniane ścieki przemysłowe są głównym źródłem skażenia środowiska naturalnego związkami boru. Bor działa toksycznie na wszystkie rodzaje komórek w organizmie, przy czym najbardziej uszkadza nerki oraz centralny system nerwowy, skórę, błony śluzowe, przewód pokarmowy i wątrobę. Maksymalne stężenie boru w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi zalecane przez Światową Organizację Zdrowia wynosi 0,5 mg B/dm³, natomiast wartość ta określona polskimi przepisami – 1,0 mg B/dm³.

Obecnie nie ma prostej i w pełni skutecznej metody pozwalającej na usunięcie boru z roztworów wodnych. Większość konwencjonalnych metod oczyszczania wody i ścieków pozwala na redukcję boru, ale nie zapewnia obniżenia jego stężenia do wartości normatywnych. Ze względu na wysoką efektywność i niskie koszty eksploatacyjne najbardziej atrakcyjne wydają się procesy sorpcyjne.

W pracy dokonano przeglądu literatury na temat sorpcji jonów B(III) z roztworów wodnych na różnych materiałach sorpcyjnych. Przeprowadzono charakterystykę poszczególnych grup sorbentów, takich jak: węgle aktywne, żywice syntetyczne, popioły lotne, minerały, muł czerwony, biopolimery, ciecz jonowe, pod względem pochodzenia, budowy i mechanizmu sorpcji jonów B(III). W przypadku większości przedstawionych materiałów sorpcyjnych maksymalną efektywność sorpcji uzyskano dla odczynu pH = 9, w którym dominuje anion dwuwartościowy H₁₀(BO₃)₄²⁻.

Słowa kluczowe: sorpcja B(III), materiały sorpcyjne, żywica poliamino-epichlorohydrynowa

1. Wprowadzenie

Bor jest mikroelementem, który w ilościach śladowych jest niezbędny do rozwoju organizmów żywych. W wyższych stężeniach oddziałuje negatywnie na

¹ Jolanta Pieńczak, Politechnika Rzeszowska

² Autor do korespondencji/corresponding author: Jolanta Warchoł, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. (17) 8651316, e-mail: jwarchol@prz.edu.pl

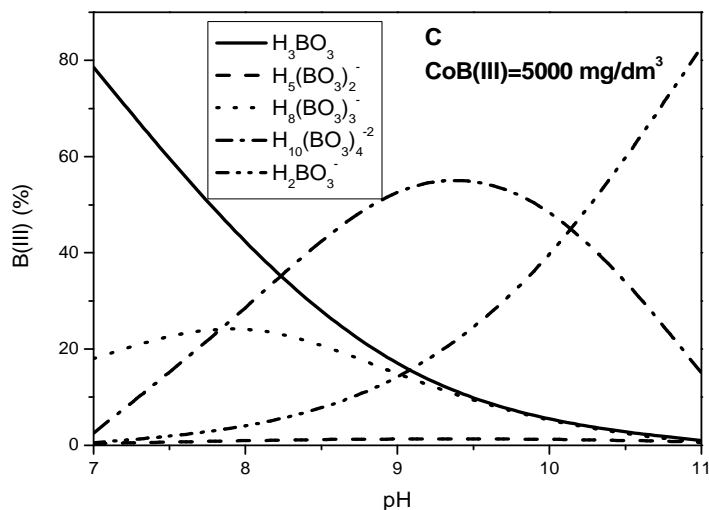
organizm ludzki, m.in. na układ nerwowy, układ trawienny oraz układ krążenia, jak i hamuje rozwój męskich narządów rozrodczych. Odkłada się również w tkankach roślinnych, powodując martwicę liści. Według Światowej Organizacji Zdrowia dopuszczalne stężenie B(III) w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi wynosi 1 g/dm^3 [1], a w wodzie używanej do nawadniania roślin $0,3\div 0,5 \text{ g/dm}^3$ [2].

W środowisku naturalnym bor występuje w skałach pochodzenia pegmatytowego, pneumatolitycznego i wulkanicznego. Istnieje wiele antropogenicznych źródeł boru, a są to głównie ścieki z przemysłu chemicznego i farmaceutycznego. Zawarty w nich bor wraz z metalami ciężkimi jest wprowadzany do wód powierzchniowych, z których częściowo migruje na duże głębokości, przyczyniając się do zanieczyszczenia wód gruntowych [3]. W ostatnich latach ze względu na rosnące trudności eksploatacyjne spowodowane niskimi zasobami rud boru pierwiastek ten zaczęto pozyskiwać z wód morskich, solanek oraz słonych jezior. W metodzie tej pierwotnie wytwarza się kwas borowy poprzez strącanie kwasem siarkowym bądź solnym podawanymi do solanki w niskiej temperaturze. Usunięcie pozostałości boru z roztworu nad osadem może nastąpić poprzez flotację, ekstrakcję rozpuszczalnikową lub adsorpcję. Najczęściej stosuje się metody adsorpcyjne ze względu na ich wysoką wydajność oraz brak produktów ubocznych procesu. Wybór sorbentu jest uzależniony od jego ceny i pojemności sorpcyjnej oraz selektywności. Istotne znaczenie ma również możliwość jego regeneracji w celu wielokrotnego użycia [4].

2. Budowa i właściwości boru

Bor jest pierwiastkiem, który występuje w środowisku naturalnym na III stopniu utlenienia. Posiada właściwości typowego niemetalu, tworzy bardzo twarde (twardość 9,3 w skali Mohsa), błyszczące, szaroczarne kryształy. Jest półprzewodnikiem słabo przewodzącym prąd elektryczny, jednak jego przewodność elektryczna wzrasta podczas ogrzewania. Znany jest również bor amorficzny (bezpostaciowy) mający brązową barwę, pozbawiony zapachu i nierozpuszczalny. Bor w środowisku naturalnym występuje głównie w dwóch formach: kwasu borowego bądź soli boranowych. W zależności od odczynu wody stosunek kwasu borowego i anionów boranowych ulega zmianie (rys. 1.).

Kwas borowy występuje przy odczynie $\text{pH} < 8$. Jak widać na rys. 1., stężenie kwasu dla odczynu $\text{pH} = 7$ wynosi ok. 80%, resztę stanowią aniony boranowe. Wraz ze wzrostem odczynu pH (w zakresie $8\div 9,5$) wzrasta udział formy anionowej H_2BO_3^- , maksymalnie do 80% dla odczynu $\text{pH} = 11$ [2].



Rys. 1. Udział form B(III) w zależności od pH środowiska

Fig. 1. Participation of B (III) forms depending on the pH

3. Sorbenty stosowane do usuwania boru

Węgiel aktywny

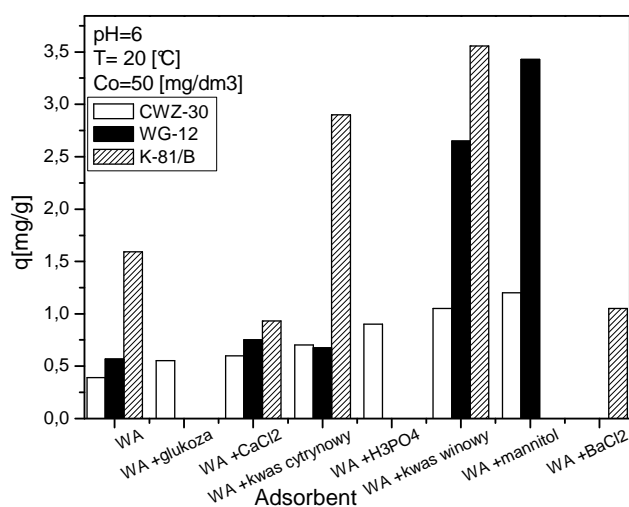
Węgiel aktywny (WA) ma obecnie największe znaczenie komercyjne. Materiał ten uzyskuje się w wyniku pirolizy węgla kamiennego oraz brunatnego. Do sorpcji jonów boru stosuje się m.in. węgle aktywne CWZ-30 oraz granulowane WG-12 i K-81/B, wyprodukowane w polskiej firmie Gryfskand. Sorbenty różniące się zawartością popiołów, powierzchnią właściwą oraz wielkością porów (tab. 1.) poddaje się impregnacji substancjami organicznymi (kwas winowy, mannitol, kwas cytrynowy, glukoza, kwas ortofosforowy) i nieorganicznymi (chlorek wapnia, chlorek baru). Badania Kluczki J. i innych [3] wskazują, że efektywność impregnacji zależy zarówno od właściwości węgla aktywnego, jak i substancji użytej do jego impregnacji.

Tabela. 1. Parametry węgla aktywnych poddanych impregnacji, na podstawie [3]

Table 1. Parameters of activated carbons subjected to the impregnation, based on [3]

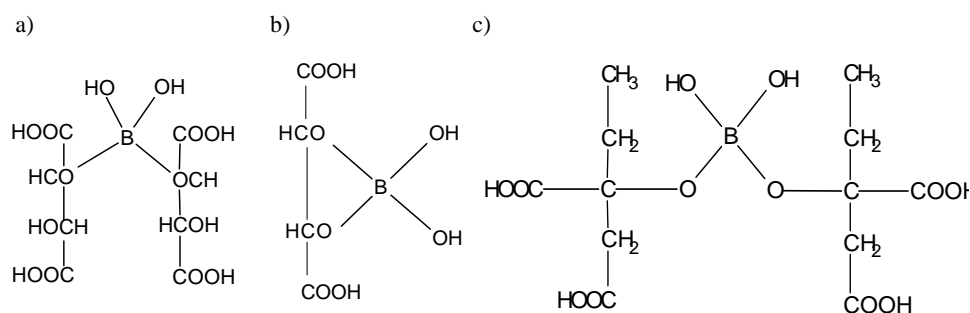
Parametry WA	CWZ-30	Granulowany WG-12	Granulowany K-81/B
Zawartość popiołów [%]	5-8	11	5,5
Powierzchnia właściwa [m ² /g]	900-1100	1000	1200
Porowatość (udział) [cm ³ /g]	-	0,8	0,9

Impregnowane węgle użyto następnie do sorpcji jonów B(III) z roztworów wodnych. Wyniki zamieszczone na rys. 2. wskazują, że węgiel K-81/B impregnowany solami nieorganicznymi (BaCl_2 i CaCl_2) ma niższą pojemność sorpcyjną B(III) niż węgiel nieimpregnowany. Największą efektywność sorpcji 3,56 mgB/g uzyskano dla granulowanego węgla aktywnego K-81/B impregnowanego kwasem winowym [3, 5].



Rys. 2. Porównanie efektywności sorpcji jonów B(III) na impregnowanych węglach aktywnych, na podstawie [3]

Fig. 2. Comparing the effectiveness of the sorption of B (III) ions on impregnated carbon active, based on [3]



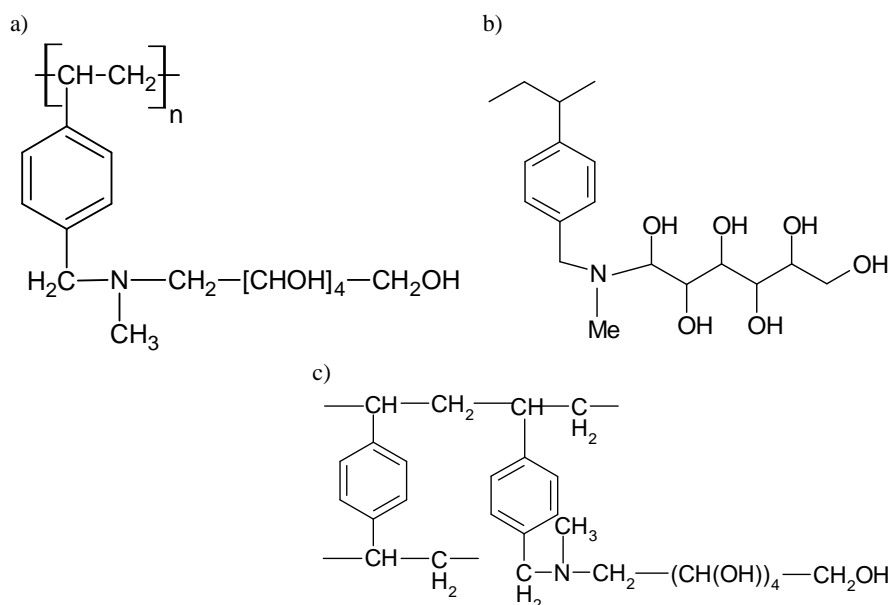
Rys. 3. Struktury kompleksów B(III) z: a) kwasem winowym – kompleks z dwoma cząsteczkami, b) kwasem winowym – kompleks z jedną cząsteczką, c) kwasem cytrynowym – kompleks z dwoma cząsteczkami, na podstawie [5]

Fig. 3. Structures of B (III) complexes from: a) with tartaric acid complex with two molecules, b) with tartaric acid complex with one molecule, c) with citric acid - complex with two molecules, based on [5]

Sorpcja boru na WA impregnowanych substancjami organicznymi zachodzi w wyniku tworzenia się kompleksów kwasu borowego lub jego soli z jedną lub dwoma cząsteczkami impregnatu (rys. 3.). Rodzaj kompleksu zależy od liczby dostępnych grup -OH sąsiednich cząsteczek impregnatu oraz odczynu pH roztworu B(III). W środowisku zasadowym w formowaniu kompleksu uczestniczy tylko jedna cząsteczka impregnatu (rys. 3a), natomiast w środowisku kwaśnym mogą powstawać kompleksy zarówno z jedną, jak i dwoma cząsteczkami impregnatu (rys. 3b, c).

Żywice syntetyczne

Do usuwania jonów B(III) stosuje się żywice syntetyczne o właściwościach anionowymiennych. Należą do nich żywice chelatujące typu Amberlite, Purolite czy Diaion (rys. 4.) [6].

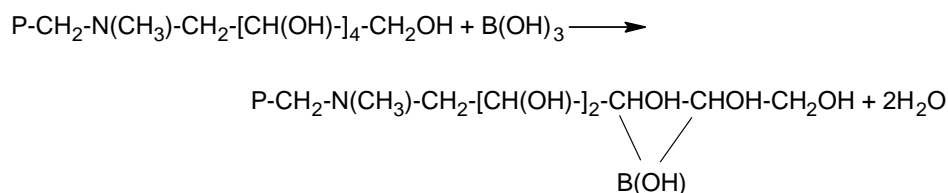


Rys. 4. Budowa przykładowych żywic jonowymiennych stosowanych do sorpcji B(III): a) Amberlite IRA-743, b) Purolite S 108 (1) oraz Purolite S 108 (2), c) Diaion CRB 01 oraz Diaion CRB 02, na podstawie [6]

Fig. 4. Structure of model resins ions exchange applied to the sorption B (III): a) Amberlite IRA-743, b) Purolite S 108 (1) and Purolite S 108 (2), c) Diaion CRB 01 and Diaion CRB 02, based on [6]

Wiązanie jonów boru jest oparte na tworzeniu kompleksu (chelatu) anionu boranowego z ligandem *N*-metyloglutaminowego (rys. 5.). Syntetyczne aniony charakteryzują się wysoką pojemnością jonowymienną, która np. dla żywicy Amberlite IRA-743 wynosi 6,7 mg B/g przy odczynie pH = 8 [7-9]. Wysoką

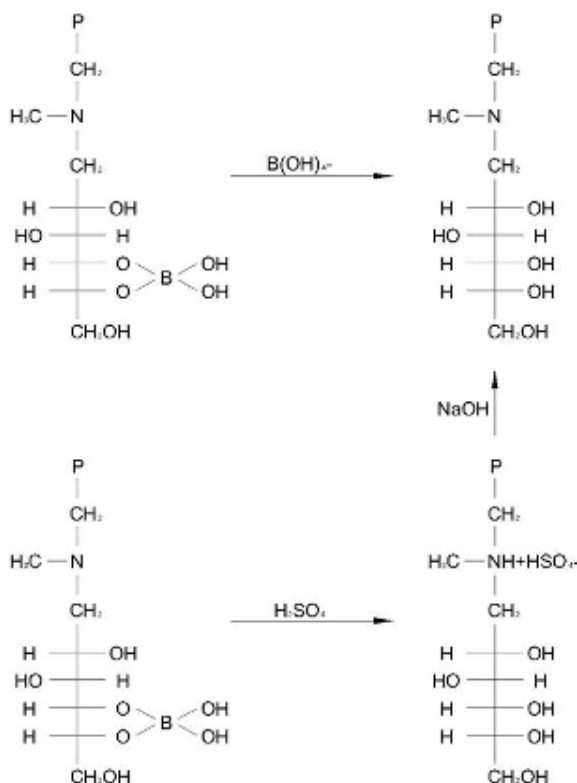
efektywność sorpcji (100% usuwania dla stężenia początkowego 100 mg B/dm³) oraz możliwość prowadzenia procesu w warunkach kolumnowych wykorzystuje się m.in. do oddzielania izotopów boru używanych w badaniach nuklearnych [10-12].



Rys. 5. Mechanizm sorpcji jonów boru na żywicach chelatujących

Fig. 5. Mechanism of the sorption of B(III) ions on chelating resins

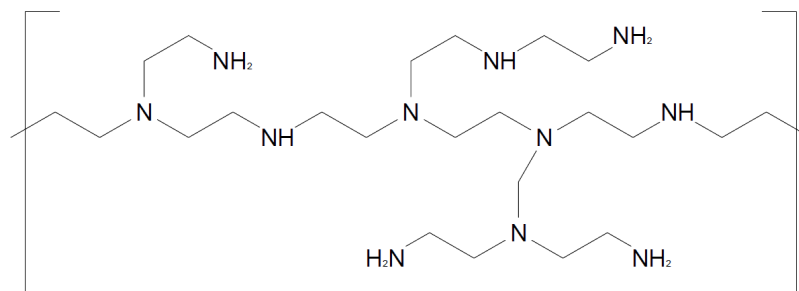
Do regeneracji żywic stosuje się kwasy nieorganiczne, najczęściej HCl lub H₂SO₄. Ich nadmiar może blokować wiązania aminowe ($\equiv\text{N}$) żywic, dlatego neutralizuje się je zasadą (NaOH) (rys. 6.). W trakcie regeneracji następuje całkowite usunięcie jonów boru. Nie stwierdzono przy tym obniżenia efektywności sorpcji nawet po kilkunastu cyklach wymiany i regeneracji.



Rys. 6. Proces sorpcji i regeneracji żywicy Amberlite IRA-743, na podstawie [6]

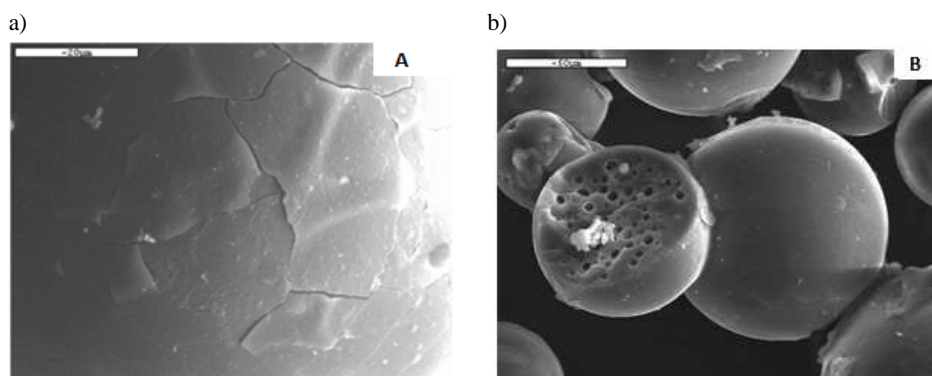
Fig. 6. Process of the sorption and the regeneration of Amberlite IRA-743 resin, based on [6]

Żywica poliamiono-epichlorohydrynowa (PAE) należy do grupy żywic epoksydowych (rys. 7.). W stanie suchym powierzchnia zewnętrzna ziaren jest gładka, natomiast w stanie wilgotnym popękana (rys. 8a) [13, 14]. Powierzchnia wewnętrzna ziaren żywicy jest mocno porowata, co przekłada się na dużą powierzchnię sorpcyjną (rys. 8b).



Rys. 7. Żywica poliamiono-epichlorohydrynowa (PAE)

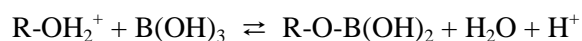
Fig. 7. Polyamine-epichlorohydrin resin (PAE)



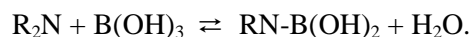
Rys. 8. Zdjęcia powierzchni żywicy PAE

Fig. 8. PAE surface

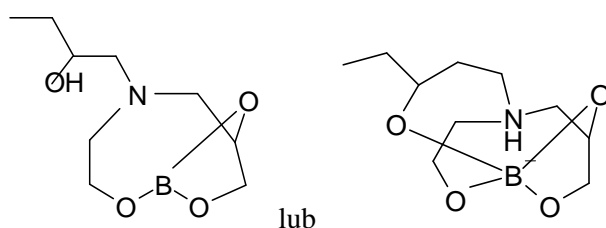
Właściwości sorpcyjne żywicy PAE są w głównej mierze uwarunkowane obecnością I-, II-, III-rzędowych grup aminowych oraz niewielkiej liczby grup -OH [15]. Sorpcja B(III) w środowisku kwaśnym następuje w wyniku formowania kompleksów z grupami -OH według reakcji [16]:



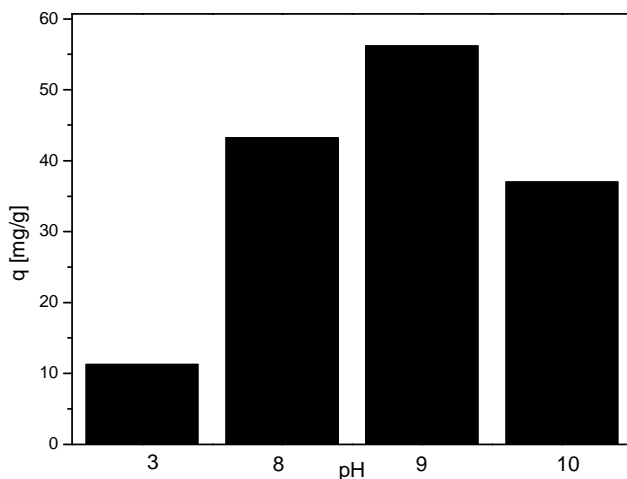
oraz tworzenia wiązań koordynacyjnych z grupami -NH, które nie uległy protonowaniu [17]:



Natomiast w środowisku zasadowym anion $B(OH)_4^-$ jest sorbowany w wyniku wymiany jonowej ($\equiv N^+$) oraz formowania estrów boratowych w obrębie jednego łańcucha węglowego [18]:

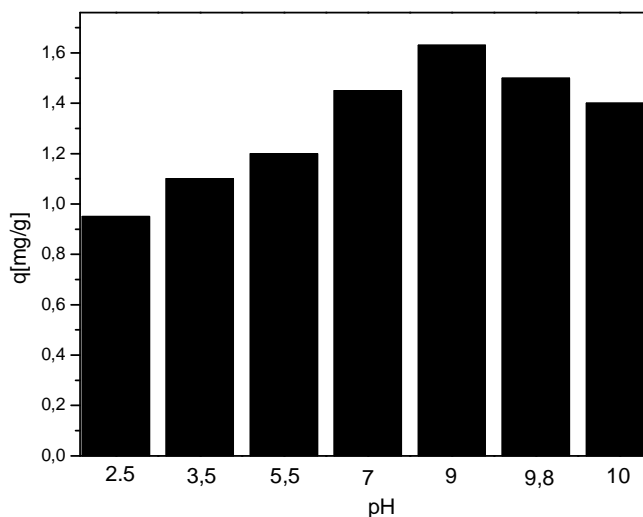


Największą efektywność sorpcji jonów boru (56,19 mg B/g) uzyskuje się dla roztworów o odczynie pH = 9 (rys. 9.). Podobną zależność uzyskano dla żywicy Si-MG (rys. 10.). Efektywność sorpcji w przypadku tej ostatniej była jednak znacznie mniejsza (1,63 mg B/g). Różnica wynika z różnych mechanizmów



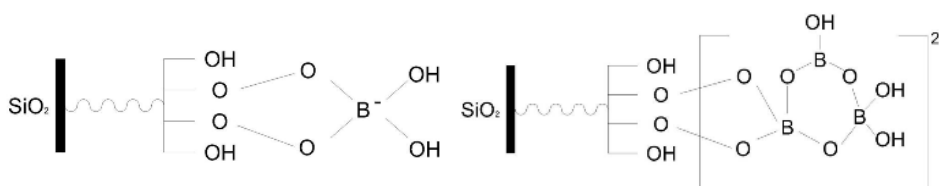
Rys. 9. Efektywność sorpcji B(III) na żywicy poliamino-epichlorohydrinowej dla różnych wartości odczynu pH

Fig. 9. Effectiveness of the sorption B (III) on polyamine-epichlorohydrin resin for different values of the reaction pH



Rys. 10. Efektywność sorpcji B(III) na żywicy Si-MG dla różnych wartości odczynu pH, na podstawie [4]

Fig. 10. Effectiveness of the sorption B (III) on resin Si-mg for different values of the reaction pH, based on [4]



Rys. 11. Mechanizm sorpcji boru na żywicy Si-MG, na podstawie [4]

Fig. 11. Mechanism of the sorption B(III) on resin Si-Mg, based on [4]

sorpcji. Żywica Si-MG posiada grupy 3-(glicydoksypropylotrimetoksy) krzemionkowe, które wiążą bor w postaci kompleksów z grupami hydroksylowymi. Ich struktura zależy od formy jonów B(III) w roztworze (rys. 11.).

Popioły lotne

Popioły lotne są produktami spalania węgla. Ich głównymi składnikami są SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 oraz CaO . Ponadto w składzie mineralogicznym stwierdza się obecność MgO , K_2O , Na_2O , TiO_2 oraz niewielkich ilości korundu, kwarcu i magnetytu. Skład popiołów zależy od regionu występowania (tab. 2.) i rodzaju spalnego węgla. Popioły ze spalania węgla brunatnego charakteryzują się wysoką zawartością CaO , MgO i SO_3 oraz niską ilością SiO_2 czy Al_2O_3 . Popioły

zawierające poniżej 10% CaO składają się głównie z glinokrzemianów, a w ich strukturze brak jest krystalicznych związków wapnia.

Tabela 2. Skład popiołów lotnych w różnych regionach świata, na podstawie [19]

Table 2. Composition fly ashes in different regions of the world, based on [19]

Składnik	Udział [%]				
	Europa	USA	Chiny	Indie	Australia
SiO ₂	28,5÷59,7	37,8÷58,5	35,6÷57,2	50,2÷59,7	48,8÷66,0
Al ₂ O ₃	12,5÷35,6	19,1÷28,6	18,8÷55,0	14,0÷32,4	17,0÷27,8
Fe ₂ O ₃	2,6÷21,2	6,8÷25,5	2,3÷19,3	2,7÷14,4	1,1÷13,9
CaO	0,5÷28,9	1,4÷22,4	1,1÷7,0	0,6÷2,6	2,9÷5,3
MgO	0,6÷3,8	0,7÷4,8	0,7÷4,8	0,1÷2,1	0,3÷2,0
Na ₂ O	0,1÷1,9	0,3÷1,8	0,6÷1,3	0,5÷1,2	0,2÷1,3
K ₂ O	0,4÷4	0,9÷2,6	0,8÷0,9	0,8÷4,7	1,1÷2,9
P ₂ O ₅	0,1÷1,7	0,1÷0,3	1,1÷1,5	0,1÷0,6	0,2÷3,9
TiO ₂	0,5÷2,6	1,1÷1,6	0,2÷0,7	1,0÷2,7	1,3÷3,7
MnO	0,03-0,2	nz	nz	0,5÷1,4	nz
SO ₃	0,1÷12,7	0,1÷2,1	1,0÷2,9	nz	0,1÷0,6
[O]	0,8÷32,8	0,2÷11,0	nz	0,5÷5,0	nz

nz – nie zbadano.

Efektywność sorpcji jonów boru przez popioły lotne w optymalnych warunkach odczynu pH = 9 osiąga 90% dla stężenia początkowego 5,3 mg/dm³ [20]. Z kolei maksymalną pojemność sorpcyjną B(III) 9 mgB/g [21] osiąga się dla popiołu lotnego pozyskanego ze spalania węgla brunatnego i biomasy (elektrownia Zgierz, skład popiołów lotnych przedstawiono w tab. 3.) dla pH = 10,5. Podobnie wysoką efektywność sorpcji otrzymuje się również dla pH < 5. Natomiast dla zakresu pH = 5÷10 ilość sorbowanego B(III) była najmniejsza.

Tabela 3. Skład popiołów lotnych z elektrowni ze Zgierza, na podstawie [21]

Table 3. Composition of fly ashes from the power station from Zgierz, based on [21]

Składnik	Anhydryt	Kwarc	Tlenek wapnia	Węgiel (niespalony)	Kalcyt	Hematyt
Udział	44,2	29,5	16,9	5,5	2,4	1,5

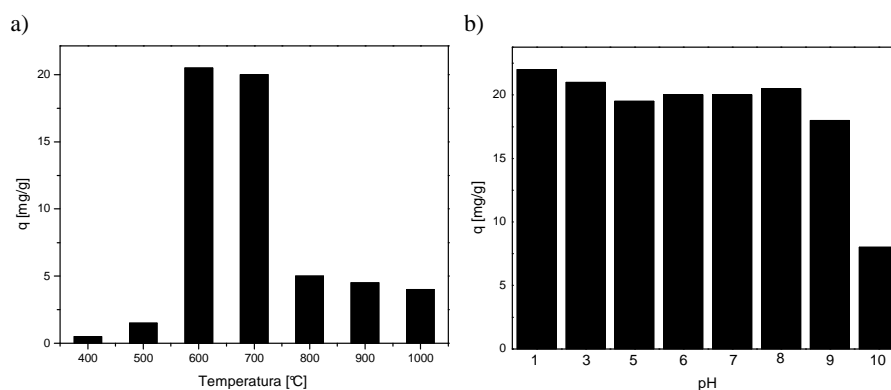
Sorbent o rozmiarze cząsteczek 1÷1,6 mm uzyskuje się w procesie aglomeracji (granulacji) w środowisku wodnym. Powierzchnia właściwa popiołu lotnego wynosi 17,3 m²/g, po procesie aglomeracji wzrasta, osiągając wartość 25,9 m²/g. Efektywność sorpcji B(III) zależy nie tylko od jego formy, ale również od ładunku powierzchni sorpcyjnej. Poniżej pH = 7 bor występuje jako

kwasy H_3BO_3 . Ilość tej formy maleje, wzrasta zaś udział anionów boranowych $B(OH)^4-$. Dla $pH = \text{ok. } 9$ stężenia obu form są takie same. Natomiast dla odczynu $pH > 10$ B występuje tylko jako jony $B(OH)^4-$. Badania zostały wykonane dla pH powyżej 10. W tym zakresie sorpcja jonów boru odbywa się przez współstrącanie węglanu wapnia, wodorotlenku magnezu, wodorotlenku wapnia oraz tlenku wapnia lub glinu. Jednocześnie w zasadowym odczynie powierzchnia sorpcyjna popiołu jest dodatnia. Wartość ładunku powierzchniowego wynika z formowania się fazy amorficznej $CaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$. Na takiej powierzchni chętnie sorbuje się anion boranowy $B(OH)^4-$.

Badania Blissetta i innych [19] wskazują, że istnieje również możliwość regeneracji popiołów roztworem gliceryny. Stopień odzyskania zaadsorbowanego boru sięga nawet 95%. Zaletą tej grupy sorbentów jest ich niska cena. Z drugiej jednak strony różnorodność składu chemicznego wymaga przeprowadzenia odrębnych badań eksperymentalnych dla każdej nowej próbki materiału [19, 20].

Minerały

Magnezyt jest naturalnym minerałem należącym do grupy węglanów. Używany jest m.in. do pozyskiwania magnezu i jego związków. W trakcie obróbki minerału (kruszenie, przesiewanie, płukanie i magnetyczna separacja) powstaje znaczna ilość odpadu zawierającego duże ilości magnezytu o niskiej zawartości MgO (35÷39%). Największą efektywność sorpcji jonów B(III) na magnezycie uzyskano w temperaturze 600÷700°C dla odczynu $pH < 10$ (rys. 12.) [22].

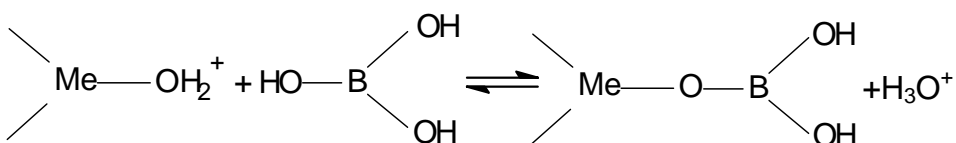


Rys. 12. Efektywność sorpcji B(III) na magnezycie, wpływ: a) temperatury, b) odczynu pH ; $C_0 = 500 \text{ mg/dm}^3$, na podstawie [22]

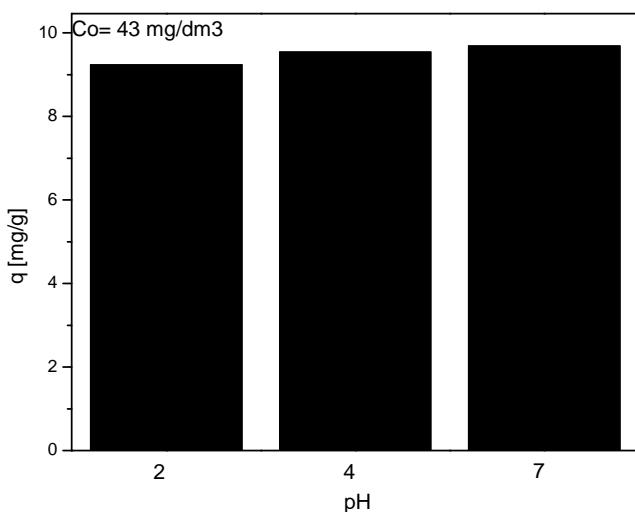
Fig. 12. Effectiveness of the sorption B (III) on magnesite, a) influence of the temperature, b) influence of the pH , $C_0 = 500 \text{ mg/dm}^3$, based on [22]

Muł czerwony

Stosowany do sorpcji jonów B(III) muł czerwony zwany *czerwonym szlamem* składał się z: 18,71% Al_2O_3 , 39,70% Fe_2O_3 , 4,90% TiO_2 , 8,82% Na_2O , 4,47% CaO , 14,52% SiO_2 . Najpierw muł poddano chemicznej aktywacji 0,1 M HCL: $\equiv\text{MeOH} + \text{H}^+ \rightleftharpoons \equiv\text{MeOH}_2^+$, a następnie użyto do wiązania jonów boru według reakcji:



W badaniach przeprowadzonych w zakresie pH 2÷7 stwierdzono nieznaczny wzrost efektywności sorpcji B(III) wraz ze wzrostem odczynu pH (rys. 13.) [23].



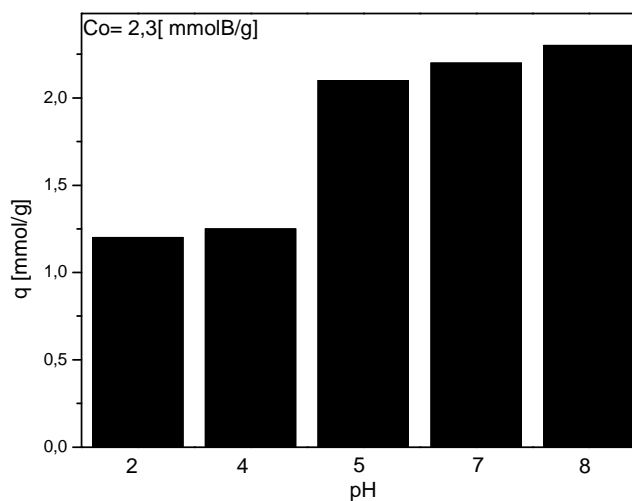
Rys. 13. Efektywność sorpcji B(III) na czerwonym szlamie dla różnych wartości odczynu pH w temperaturze 25°C, na podstawie [23]

Fig. 13. Effectiveness of the sorption B(III) on red mud for different values of the pH, in temperature 25°C, based on [23]

Biopolimery

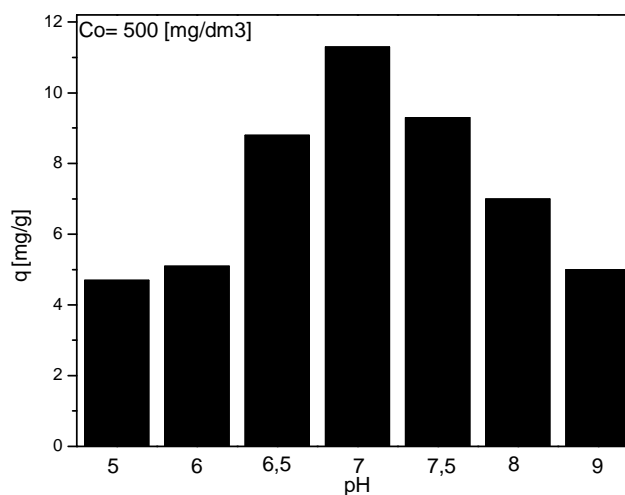
Chityna jest biopolimerem występującym w szkieletach stawonogów oraz ścianach komórkowych grzybów. Dużą pojemnością sorpcyjną charakteryzują się odacetylowane pochodne chityny, tj. chitosan. Impregnowany imino-bispropyloglikolem chitosan posiada w sąsiedztwie grupy aminowej cztery grupy hydroksylowe odpowiedzialne za skompleksowanie jonów B(III). Zdolność

sorpcja biopolimeru nieznacznie zwiększa się wraz ze wzrostem odczynu pH i osiąga maksymalną wartość 2,20 mmol/g dla pH = 8 (rys. 14.) [24].



Rys. 14. Efektywność sorpcji B(III) na chitosanie dla różnych wartości odczynu pH, na podstawie [24]

Fig. 14. Effectiveness of the sorption B(III) on chitosane for different values of pH, based on [24]



Rys. 15. Efektywność sorpcji B(III) na bawełnie dla różnych wartości odczynu pH, na podstawie [25]

Fig. 15. Effectiveness of the sorption B(III) on cotton for different values of the pH, based on [25]

ciecze IL tworzą z borem w pierwszej kolejności kompleksy jednochelatowe $IL^+-B(OH)_2^-$, a następnie kompleksy dwuchelatowe $(IL^+)_2-B^-$ [2].

4. Podsumowanie

Do sorpcji boru można stosować alternatywne materiały sorpcyjne charakteryzujące się często znacznie większą pojemnością sorpcyjną niż konwencjonalne węgle aktywne (tab. 4.). Ich wadą jest najczęściej: mała dostępność w stosunku do zapotrzebowania rynkowego, konieczność przeprowadzenia dodatkowej obróbki powierzchni sorpcyjnej (modyfikacji) oraz brak możliwości regeneracji.

Tabela 4. Porównanie właściwości sorpcyjnych niektórych sorbentów jonów boru
Table 4. Comparing the property sorption of some sorbents of boron ions

Rodzaj sorbentu	Maksymalna pojemność sorpcyjna [mgB/g]	Odczyn pH
Węgiel aktywny K-81/B	1,59	6
WA K-81/B impregnowany kwasem winowym	3,56	6
WA (WG-12) impregnowany mannitolem	3,43	6
Amberlite IRA-743	6,70	8
Żywica poliamino-epichlorohydryna	56,19	9
Żywica Si-MG	1,63	9
Popioły lotne	9	10÷10,5
Minerały	22,00	1÷3
Muł czerwony	9,686	7
Chitosan	24,87	8
Bawełna	11,30	7

Efektywność sorpcji zależy od budowy sorbentu (porowatości, powierzchni właściwej) oraz rodzaju grup funkcyjnych odpowiedzialnych za kompleksowanie jonów B(III). Wartość pH decyduje o protonowaniu i deprotonowaniu grup funkcyjnych sorbentu oraz o rodzaju i stężeniu form boru w roztworze. Dla większości przedstawionych materiałów sorpcyjnych maksymalną efektywność sorpcji uzyskuje się dla odczynu pH = 9, w którym dominuje anion dwuwartościowy $H_{10}(BO_3)_4^{2-}$. Wyjątek stanowią minerały, które lepiej sorbuje bor w środowisku kwaśnym. Największą efektywność sorpcji uzyskuje się dla żywicy poliamino-epichlorohydrynowej i chitosanu.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z 20.04.2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Dz.U. Nr 72, poz. 466 z 29.04.2010 r.
- [2] Joshi M.D., Steyer D.J., Anderson J.L.: Evaluating the complexation behavior and regeneration of boron selective glucaminium- based ionic liquids when used as extraction solvents. *Analytica Chimica Acta*, no 740, 2012, pp. 66-73.
- [3] Kluczka J., Trojanowska J., Zolotajkin M., Ciba J., Turek M., Dydo P.: Boron removal from wastewater using adsorbents. *Environmental Technology*, no 28 (1), 2007.
- [4] Xu Y., Jiang J.Q.: Technologies for boron removal. CEHE, Faculty of Engineering & Physics Science, C5. University of Surrey, Guildford, Surrey GU2 7XH, United Kingdom.
- [5] Rajaković Lj.V., Ristić M.Dj.: Sorption of boric acid and borax by activated carbon impregnated with various compounds. *Carbon* vol. 34, no 61, 1996, pp. 769-774.
- [6] Winnicki T.: *Polimery czynne w inżynierii ochrony środowiska*. Arkady, 1978.
- [7] Farmer J.B.: Removal of boron from solution with the boron specific resin amberlite XE-243. Technical Report, 7th December. Borax Technical, London 1977.
- [8] Hanay A., Boncukcuoglu R., Kocakerim M.M., Yilmaz A.E.: Boron removal from geothermal waters by ion exchange in a batch reactor. *Fresenius Environmental Bulletin*, no 12 (10), 2003.
- [9] Xiao Y., Liao B.Y., Liu W.G., Xiao Y., Swihart G.H.: Ion exchange extraction of boron from aqueous fluids by Amberlite IRA 743 Resin. *China Journal of Chemistry*, no 21, 2003.
- [10] Bryjak M., Wolska J., Soroko I., Kabay N.: Adsorption-membrane filtration process in boron removal from first stage seawater RO permeate. *Desalination*, no 241, 2009, 127-132.
- [11] Kabay N., Yilmaz I., Yamac S., Samatya S., Yuksel M., Yuksel U., Arda M., Saglam M., Iwanaga T., Hirowatari K.: Removal and recovery of boron from geothermal wastewater by selective ion exchange resins – I. Laboratory tests. *Reactive & Functional Polymers*, no 60, 2004, pp. 163-170.
- [12] Kabay N., Yilmaz I., Yamac S., Yuksep M., Yuksel U., Yildirim N., Aydogdu O., Iwanaga T., Hirowatari K.: Removal and recovery of boron from geothermal wastewater by selective ion-exchange resins – II. Field tests. *Desalination*, no 167, 2004, pp. 427-438.
- [13] Matejko P.: Usuwanie arsenu z roztworów wodnych przy użyciu żywicy poliamino-epichlorohydrynowej. WBiIS, Rzeszów 2008 (praca niepublikowana).
- [14] Matejko P.: Usuwanie boru z roztworów wodnych przy użyciu żywicy poliamino-epichlorohydrynowej. WBiIS Rzeszów 2008 (praca niepublikowana).
- [15] Warchoń J.: Badanie i modelowanie równowagi sorpcji jonów w układzie ciecz-ciało stałe. Polska Akademia Nauk, Oddział w Łodzi, Komisja Ochrony Środowiska, Łódź 2012.

- [16] Yu-Ting W., Yu-Ming Z., Paul Chen J.: Design and fabrication of an innovative and environmental friendly adsorbent for boron removal. *Water Research*, no 45, 2011, pp. 2297-2305.
- [17] Kaftan Ö., Açikel M., Eroğlu A.E., Shahwan T., Artok L., Ni C.: Synthesis, characterization and application of a novel sorbent, glucamine-modified MCM-41, for the removal/preconcentration of boron from waters. *Analytical Chemical Acta*, no 547, 2005, pp. 31-41.
- [18] Gazi M., Galli G., Bicak, N.: The rapid boron uptake by multi-hydroxyl functional hairy. *Separation Purification Technology*, no 62, 2008, pp. 484-488.
- [19] Blissett R.S., Rowson N.A.: A revive of the multi-component utilization of coal fly ash. *Fuel*, no 97, 2012, pp. 1-23.
- [20] Polat H., Vengosh A., Pankratov I., Polat M.: A new methodology for removal of boron from water by coal and fly ash. *Desalination*, no 164, 2004, pp. 173-188.
- [21] Polowczyk I., Ulatowska J., Koźlecki T., Bastrzyk A., Sawiński W.: Studies on removal of boron from aqueous solution by fly ash agglomerates. *Desalination*, no 310, 2013, pp. 93-101.
- [22] Kipçak I., Özdemir M.: Removal of boron from aqueous solution using calcined magnesite tailing. *Chemical Engineering Journal*, no 189-190, 2012, pp. 68-74.
- [23] Cengeloglu Y., Tor A., Guslin A., Ersoz M., Gezgin S.: Removal of boron from aqueous solution by using neutralized red mud. *Journal of Hazardous Materials*, no 142, 2007, pp. 412-417.
- [24] Gazi M., Shahmohammadi S.: Removal of boron from aqueous solution using iminobis-(propylene glycol) modified chitosan beads. *Reactive & Functional Polymers*, no 72, 2012, pp. 680-686.
- [25] Liu R., Ma W., Jia C.Y., Wang L., Li H.Y.: Effect of pH on biosorption of boron onto cotton cellulose. *Desalination*, no 207, 2007, pp. 257-267.

ABSORBENTS FOR DISPOSAL B (III) FROM AQUEOUS SOLUTIONS

Summary

Boron is an essential element and micronutrient for plants but its essentiality for humans has not yet been convincingly demonstrated. It is commonly found as boric acid or borate ion in the soil and water and an essential element for plant growth and human health. The boron content in drinking, irrigation and wastewater is mostly regulated by the legislation of individual countries. According to WHO standards the maximum boron content in drinking water is limited to 0.3 mg/l.

Different processes, such as coagulation, co-precipitation, adsorption, ion exchange, solvent extraction and reverse osmosis, have been proposed and applied for recovering boron from aqueous solutions. As indicated in the literature, there is no evidence that boron compounds could significantly be removed by conventional methods. Therefore, adsorption, ion-exchange and reverse osmosis could be considered as the most appropriate techniques for the boron removal.

This review collects the research results obtained for both commercial and alternative adsorption materials for B(III) removal. The structural characteristic and boron binding mechanism was discussed in relation to activated carbons (raw and impregnated), synthetic resins (Amberlite, Purolite, Diaion, Si-MG), polyamine-epichlorohydrin resin (PAE), fly ash, natural minerals

(magnesite), red mud, and biopolymers (chitosan, cotton). Alternative, low-cost adsorbents have been found to be highly promising materials for boron removal from contaminated waters.

Keywords: sorption, boron removal, sorption mechanism

DOI:10.7862/rb.2013.64

Przesłano do redakcji: 12.06.2013 r.

Przyjęto do druku: 13.11.2013 r.

Vyacheslav PISAREV¹
Dorian CZARNIECKI²

SYSTEM KLIMATYZACJI CENTRALNEJ ZE STROPAMI CHŁODZĄCYMI I GRUNTOWYM WYMIENNIKIEM CIEPŁA

Dynamiczny rozwój cywilizacyjny człowieka wraz z szybkim wzrostem liczby urządzeń przyspieszających i ułatwiających pracę oraz umilających odpoczynek (komputery, drukarki, dodatkowe oświetlenie itp.) emitujących ciepło oraz zmiany w technologii budowlanej przyczyniające się do skuteczniejszej izolacji powodują znaczny wzrost obciążeń cieplnych w pomieszczeniach. Efektem tego zjawiska jest wzrost obciążeń chłodniczych, co w przypadku zastosowania tradycyjnych systemów klimatyzacyjnych przyczynia się do przewymiarowania instalacji i spadku komfortu cieplnego w pomieszczeniach w wyniku wysokich prędkości i gradientów temperatury. Aby tego uniknąć, oddzielono funkcję chłodzenia realizowanego poprzez powierzchnie chłodzące w pomieszczeniu od klimatyzacji realizowanej przez oddzielny system. Stropy chłodzące zintegrowane z systemami wentylacji i klimatyzacji są coraz chętniej i powszechniej stosowane w obiektach, gdzie pojawia się nadmierna ilość zysków ciepła jawnego w pomieszczeniach. Sufity chłodzące działają przez ochłodzenie widocznej powierzchni stropu. Ochłodzone powierzchnie stropu odbierają ciepło od ludzi, przedmiotów, ścian pomieszczenia oraz powietrza przez promieniowanie i naturalną konwekcję (ruch powietrza wywołany wyłącznie różnicą gęstości). Odebrane ciepło zostaje następnie odtransportowane przez wodę stanowiącą czynnik chłodzący [1]. Opracowano metodę projektowania systemu klimatyzacji ze stropami chłodzącymi i gruntowo-powietrznym rurowym wymiennikiem ciepła. Metodę projektowania opisano przykładem obliczeniowym oraz przedstawiono wyniki obliczeń na wykresach $i-x$ powietrza wilgotnego dla okresu letniego.

Słowa kluczowe: klimatyzacja, strop chłodzący, gruntowo-powietrzny wymiennik ciepła

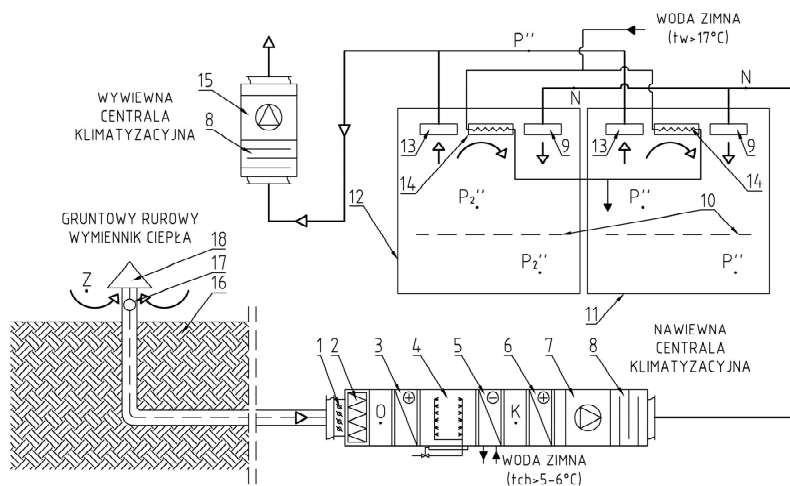
¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Vyacheslav Pisarev, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-029 Rzeszów, tel. (17) 8651946, pisarev@prz.edu.pl

² Dorian Czarniecki, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-029 Rzeszów, tel. 886399431, dorian.czarniecki@interia.pl

1. Zasady projektowania systemu klimatyzacji scentralizowanej dla okresu letniego

Strop chłodzący uzupełnia pracę instalacji klimatyzacyjnej. Współpraca ta jest bardzo efektywna – strop chłodzący odbiera zyski ciepła jawnego, natomiast system klimatyzacji reguluje warunki wilgotnościowe oraz zapewnia niezbędną czystość powietrza. W układzie tym urządzenie klimatyzacyjne jest stosunkowo niewielkie i powinno dostarczyć objętościowy strumień powietrza od 20 do 50 m³/h na osobę w zależności od sposobu użytkowania pomieszczenia [2].

Schemat systemu klimatyzacji centralnej współpracującej z gruntowo-powietrznym rurowym wymiennikiem ciepła oraz stropami chłodzącymi przedstawia rys. 1. Powietrze zewnętrzne pobierane przez czerpnię gruntową (18, rys. 1.) trafia do gruntowego rurowego wymiennika ciepła (16, rys. 1.), gdzie ulega ochłodzeniu przez wykorzystanie stałej temperatury gruntu. Jest to korzystne, ponieważ mniejsza temperatura powietrza latem zwiększa odczucie komfortu oraz poprawia jakość powietrza w klimatyzowanych pomieszczeniach. Strop chłodzący (14, rys. 1.) ochładza powietrze wewnętrzne cyrkulujące w pomieszczeniach (11 i 12, rys. 1.). Powietrze po gruntowo-powietrznym wymienniku ciepła (16, rys. 1.) w ilości niezbędnego strumienia objętościowego, zalecanego ze względów higienicznych do zapewnienia odczucia komfortu i świeżości, przepływa przez centralę klimatyzacyjną, gdzie jest uzdatnianie i nawiewane przez nawiewniki (9, rys. 1.) do pomieszczeń (11 i 12, rys. 1.), w których strumień ten miesza się ze strumieniem powietrza wewnętrznego.



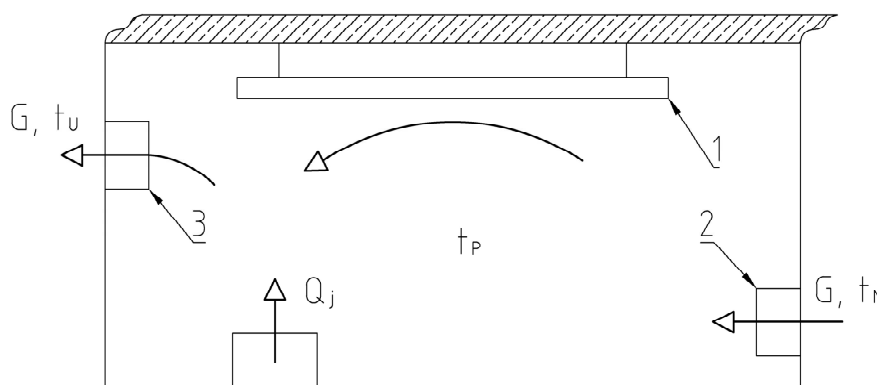
Rys. 1. Scentralizowany system klimatyzacji z gruntowo-powietrznym rurowym wymiennikiem ciepła oraz stropami chłodzącymi dla okresu letniego

Fig. 1. A centralized air-conditioning system of ground-air heat exchanger tube and chilled ceilings for the summer period

Na rysunku 1. przyjęto następujące oznaczenia: 1 – przepustnica powietrza zewnętrznego, 2 – filtr powietrza zewnętrznego, 3 – pierwsza nagrzewnica wodna powietrza, 4 – komora nawilżania parowego, 5 – chłodnica powietrza, 6 – druga nagrzewnica wodna powietrza, 7 – wentylator nawiewny, 8 – tłumik szumu, 9 – nawiew powietrza, 10 – strefa przebywania ludzi, 11 – pomieszczenie nr 1, 12 – pomieszczenie nr 2, 13 – wywiew powietrza, 14 – strop chłodzący, 15 – wentylator wywiewny, 16 – gruntowo-powietrzny rurowy wymiennik ciepła, 17 – rewizja, 18 – czerpnia gruntowa.

Temperaturę powietrza nawiewanego do pomieszczenia z centrali klimatyzacyjnej t_N określa się według warunków napływu powietrza z nawiewników (typ nawiewników, sposób wentylacji itp.). Wcześniej określa się różnicę temperatury nawiewu t_N i wywiewu powietrza t_U z pomieszczenia ($t_U - t_N$) odpowiednio do sposobu wentylacji [2]. Na rysunku 2. przedstawiono schemat przepływu i ruchu powietrza w pomieszczeniu. Punkty stanu powietrza na schemacie systemu klimatyzacji (rys. 1.) Z, O, K, N, P" odpowiadają punktom stanu powietrza na wykresie $i-x$ powietrza wilgotnego.

Na rysunku 2. przyjęto następujące oznaczenia: 1 – strop chłodzący, 2 – nawiewnik powietrza, 3 – wywiewnik powietrza, G – powietrze nawiewane do pomieszczenia, t_P , t_N , t_U – wartości temperatury odpowiednio: w pomieszczeniu, powietrza nawiewanego i wywiewanego.



Rys. 2. Schemat przepływu i ruchu powietrza w pomieszczeniu dla okresu letniego

Fig. 2. Flow diagram and air movement in the room for the summer period

Minimalna temperatura powietrza strumienia wewnętrznego po ochłodzeniu przez strop chłodzący zmienia się w granicach $19\div 21^{\circ}\text{C}$ (średnia temperatura wody zasilania stropu wynosi ok. $17\div 18^{\circ}\text{C}$) [2]. Różnica temperatury między powietrzem strefy górnej i strefy przebywania ludzi nie występuje (temperatura powietrza nie zmienia się wraz ze wzrostem wysokości pomieszczenia). Wywiew powietrza odbywa się ze strefy górnej.

Ochładzając powietrze w pomieszczeniu klubu studenckiego przez stropy chłodzące bez realizacji jego osuszania, można zapisać równanie bilansu wilgoci w pomieszczeniu [2]:

$$W = G \cdot (x_U - x_N) \cdot \rho \left[\frac{\text{g}}{\text{s}} \right] \quad (1)$$

gdzie: W – zyski wilgoci w pomieszczeniu klubu studenckiego [g/s],

x_U – zawartość wilgoci w powietrzu wywiewanym [g/kg],

x_N – zawartość wilgoci w powietrzu nawiewanym [g/kg],

ρ – gęstość powietrza [kg/m^3] $\rightarrow \rho = 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Zawartość wilgoci w powietrzu wywiewanym można określić z przekształconego wzoru (1):

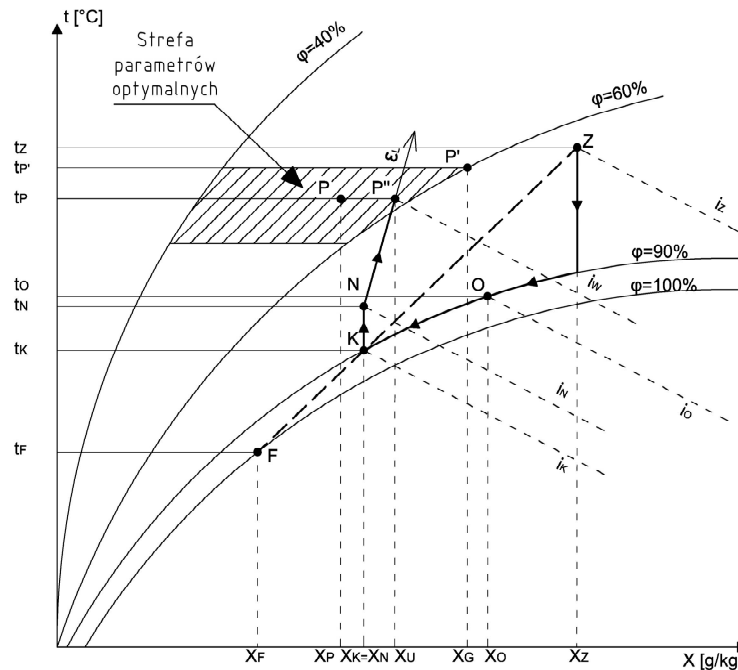
$$x_U = x_N + \frac{W}{G \cdot \rho} \left[\frac{\text{g}}{\text{kg}} \right] \quad (2)$$

Uzdatniając powietrze w komorach zraszania centrali klimatyzacyjnych lub w chłodnicach powierzchniowych, pojawia się minimalna zawartość wilgoci x_F (rys. 3.), jaką można osiągnąć. Wynika to z możliwości zamrażania wody wpływającej do uzdatniania powietrza przy jej uzdatnianiu w instalacji chłodniczej oraz właściwości termodynamicznych powietrza. Aby ocenić możliwość realizacji systemu klimatyzacji z centralą klimatyzacyjną i stropami chłodzącymi, na przykładzie obliczeniowym po metodzie [2] opracowano procesy uzdatniania powietrza na wykresach i - x powietrza wilgotnego.

Dane wyjściowe: okres letni, strefa klimatyczna III

- a) parametry powietrza zewnętrznego według normy PN-76/B-03420 [3]:
 - temperatura powietrza na termometrze suchym – t_z [$^{\circ}\text{C}$],
 - wilgotność względna – φ_L [%],
 - entalpia właściwa powietrza – i_L [kJ/kg],
 - zawartość wilgoci – x_n [g/kg],
- b) parametry powietrza wewnętrznego w pomieszczeniu przyjęto w celu zapewnienia komfortu cieplnego według normy PN-78/B-03421 [4]; w strefie przebywania ludzi należy utrzymać na odpowiednim poziomie:
 - temperaturę powietrza wewnętrznego – t_p [$^{\circ}\text{C}$],
 - wilgotność względną – φ_p [%],
- c) parametry technologiczne:
 - zyski ciepła całkowitego – ΔQ_C [kW],
 - zyski ciepła jawnego – Q_J [kW],
 - zyski wilgoci – W [kg/h],
 - niezbędny strumień objętościowy powietrza zewnętrznego ze względów higienicznych zalecany dla zapewnienia odczucia komfortu i świeżości [m^3/h].

Na rysunku 3. przyjęto następujące oznaczenia: P' – stan powietrza, który określa stan górny strefy parametrów optymalnych dla okresu ciepłego, P – zakładane parametry powietrza w pomieszczeniu, P'' – rzeczywiste parametry powietrza w pomieszczeniu, F – stan kresu możliwości ochładzania powietrza w chłodnicy powierzchniowej (5, rys. 1.).



Rys. 3. Przebieg zmian stanu powietrza na wykresie i - x powietrza wilgotnego systemu klimatyzacji scentralizowanej ze stropami chłodzącymi i gruntowo-powietrznym rurowym wymiennikiem ciepła w okresie letnim (nie występuje różnica temperatury między powietrzem strefy górnej i strefy przebywania ludzi)

Fig. 3. The course of changes of air in the chart h - x humid air conditioning system centralized with chilled ceilings and ground-air heat exchanger tube during the summer (there is no temperature difference between the air and the upper zone of the occupied zone)

Na wykres i - x powietrza wilgotnego (rys. 3.) nanosi się punkty odpowiadające parametrom stanu powietrza: zewnętrznego – punkt Z i wewnętrznego – punkt P [2]. Założono, że powietrze jest wywiewane z pomieszczenia o parametrach w punkcie P . Następnie zakłada się temperaturę t_o [°C] (punkt O) strumienia powietrza nawiewanego po wyjściu z gruntowo-powietrznego wymiennika ciepła (16, rys. 1.), w którym powietrze jest ochładzane.

Temperatura, do jakiej możliwe jest ochłodzenie latem powietrza w GWC, jest zależna od tzw. izoterm gruntu w sąsiedztwie wymiennika. Wartości izoterm są uzależnione od głębokości i pory roku. Przykładowo, na głębokości ok. 1,5 m (typowa dla rurowych GWC) wartość ta waha się w granicach od $+2^{\circ}\text{C}$ zimą do $+16^{\circ}\text{C}$ latem według zaleceń producentów rurowych gruntowych wymienników ciepła [5].

W celu otrzymania punktu O w pierwszej kolejności prowadzi się prostą $x_Z = \text{const}$ do miejsca przecięcia się z linią $\varphi = 90\%$, a następnie wzdłuż linii $\varphi = 90\%$ do miejsca przecięcia się z prostą $t_O = \text{const}$.

Punkt F określa średnią temperaturę na ściankach chłodnicy powierzchniowej. Zakłada się temperaturę na powierzchni chłodnicy t_F [$^{\circ}\text{C}$]. Temperatura t_F leży w strefie temperatury powyżej $7\div 8^{\circ}\text{C}$, co jest ograniczone temperaturą, która panuje w instalacji chłodniczej. Punkt F na wykresie $i-x$ powietrza wilgotnego naniesiono w miejscu przecięcia się linii $t_F = \text{const}$ i $\varphi = 100\%$. Następnie łączy się punkty Z i F ; na linii ZF określa się punkt stanu powietrza zewnętrznego (punkt K) po przejściu przez gruntowo-powietrzny rurowy wymiennik ciepła oraz po uzdatnieniu w chłodnicy powierzchniowej (jako wariant). Ochłodzenie powietrza (punkt O) wskutek krótkiego czasu przechodzenia strumienia powietrza przez wymiennik ciepła na całej jego powierzchni nigdy nie będzie wynosiło 100% , z tego też względu przyjęto 90% . Założono, że do temperatury t_k w procesie OK strumień powietrza jest ochładzany w chłodnicy powietrza (5, rys. 1.). Stąd określa się położenie punktu K , który będzie leżał na przecięciu linii łączącej punkty F i Z oraz linii $\varphi = 90\%$.

Określając stan powietrza nawiewanego – punkt N ($x_N = x_K$), uwzględniono minimalną temperaturę powietrza nawiewanego. Punkt ten leży na przecięciu się linii $x_K = \text{const}$ i izoterm t_N [$^{\circ}\text{C}$] obliczonej ze wzoru:

$$t_N = t_K + \Delta t \text{ [}^{\circ}\text{C]} \quad (3)$$

gdzie Δt – przyrost temperatury spowodowany ogrzewaniem się powietrza w przewodach i wentylatorze. Przyrost temperatury Δt można orientacyjnie określić na $1\div 1,5^{\circ}\text{C}$ [2]. Jednak w rzeczywistości przyrost tej temperatury należy każdorazowo obliczyć.

Punkt N umiejscawia się na przecięciu linii $t_N = \text{const}$ i $x_N = x_K = \text{const}$. Następnie sprawdza się możliwość rozdziału temperatury powietrza nawiewanego G w ilości niezbędnego strumienia objętościowego powietrza zewnętrznego, zalecanego ze względów higienicznych do zapewnienia odczucia komfortu i świeżości dla danego pomieszczenia z temperaturą t_N w pomieszczeniu. W znacznym stopniu możliwość rozdziału powietrza określa się typem nawiewników. Jeżeli przy danej temperaturze t_N nie można zapewnić warunków komfortu w strefie pracy, to trzeba przyjmować większą wartość temperatury t_N . W centrali klimatyzacyjnej należy uwzględnić drugą nagrzewnicę [2].

Korzystając ze wzoru (2), sprawdza się, czy nastąpi asymilacja zysków wilgoci W [g/kg] w pomieszczeniu przy udziale przyjętej ilości powietrza nawiewanego G [m³/h] z centrali klimatyzacyjnej. Jeżeli otrzymana wartość x_U (x_P) jest mniejsza od maksymalnej możliwej zawartości wilgoci powietrza wewnętrznego x_G w pomieszczeniu, odpowiadającego punktowi górnemu P' strefy parametrów optymalnych dla okresu ciepłego, to rozpatrywany system klimatyzacji będzie spełniał swoje zadanie. Jeżeli otrzymana wielkość $x_U > x_G$, to oznacza, że ilość powietrza uzdatnionego w centrali klimatyzacyjnej nie jest wystarczająca do asymilacji zysków wilgoci w pomieszczeniu. W rozpatrywanym przypadku, w sytuacji zastosowania stropu chłodzącego wykorzystanie systemu klimatyzacji pomieszczenia nie jest możliwe lub do spełnienia tego warunku trzeba zwiększyć przepływ strumienia powietrza zewnętrznego [2].

Na podstawie wykresu i - x powietrza wilgotnego określa się wydajność chłodnicy powierzchniowej (5, rys. 1.) centrali klimatyzacyjnej:

$$Q_{CH} = G \cdot \rho \cdot (i_O - i_K) \text{ [kW]} \quad (4)$$

gdzie: i_O – entalpia właściwa powietrza zewnętrznego po przejściu przez gruntowy rurowy wymiennik ciepła [kJ/kg] (wartość odczytana z rys. 3.),
 i_K – entalpia właściwa powietrza na końcu chłodnicy powierzchniowej [kJ/kg] (wartość odczytana z rys. 3.).

Następnie uściśla się położenie nowego (rzeczywistego) punktu stanu powietrza w pomieszczeniu – punktu P'' . Leży on na przecięciu linii $x_U = \text{const}$ i $t_P = \text{const}$. Na podstawie wykresu i - x powietrza wilgotnego określa się współczynnik kierunkowy zmiany stanu powietrza ε w pomieszczeniu, łącząc punkty N i P'' . Według skali współczynników kierunkowych przemiany stanu powietrza ε określa się wielkość tego współczynnika dla warunków danego pomieszczenia [2].

Następnie określa się ilość ciepła $Q_{C'}$, które przyjmuje powietrze nawiewane:

$$Q_{C'} = \varepsilon \cdot W \text{ [kW]} \quad (5)$$

gdzie: ε – współczynnik kierunkowy przemiany stanu powietrza [kJ/kg],
 W – zyski wilgoci [kg/s].

Oblicza się ilość ciepła pozostałego do przyjęcia przez stropy chłodzące, korzystając ze wzoru:

$$Q = Q_C - Q_{C'} \text{ [kW]} \quad (6)$$

gdzie $Q_{C'} < Q_C$.

Wielkość Q to pozostałe ciepło jawne. Z katalogów według wskazówek producentów dobiera się stropy chłodzące i pozostały osprzęt systemu klimatyzacji.

Oblicza się moc chłodniczą w gruntowo-powietrznym rurowym wymienniku ciepła (16, rys. 1.), korzystając ze wzoru:

$$Q_G = G \cdot (i_Z - i_O) \cdot \rho \text{ [kW]} \quad (7)$$

Gruntowo-powietrzny rurowy wymiennik ciepła stosowany w niewielkich instalacjach pozwala na pozyskanie z gruntu energii o mocy 30÷70 W z jednego metra bieżącego kanału [6]. Długość gruntowego-powietrznego rurowego wymiennika ciepła (16, rys. 1.) wyznacza się ze wzoru:

$$L = \frac{Q_G}{q_j} \text{ [m]} \quad (8)$$

gdzie: Q_G – moc chłodnicza wymiennika gruntowego [W],

q_j – ilość energii pozyskanej z gruntu z jednego metra bieżącego kanału [W/m].

2. Przykładowe rozwiązanie systemu klimatyzacji scentralizowanej

Przedmiotem niniejszego opracowania jest projekt wstępny systemu klimatyzacji w klubie studenckim z wykorzystaniem gruntowo-powietrznego rurowego wymiennika ciepła oraz stropów chłodzących. Założono, że do zadań instalacji klimatyzacyjnej będzie należeć utrzymanie w klubie studenckim stałej temperatury powietrza na poziomie $t_p = 23^\circ\text{C}$ i wilgotności względnej $\varphi = 50\%$, niezależnie od sezonów eksploatacji (zarówno latem i zimą, jak i w okresach przejściowych). Prędkość ruchu powietrza w strefie przebywania ludzi nie może przekraczać 0,3 m/s.

Wykonano obliczenie bilansu ciepłno-wilgotnościowego, a wyniki tych obliczeń przedstawiono w tab. 1.

Dane wyjściowe: okres letni – obrzeża miasta Rzeszów, strefa klimatyczna III

- a) parametry powietrza zewnętrznego według normy PN-76/B-03420 [3]:
 - temperatura powietrza na termometrze suchym – $t_L = 30^\circ\text{C}$,
 - wilgotność względna – $\varphi_L = 52\%$,
 - entalpia właściwa powietrza – $i_L = 66,0 \text{ kJ/kg}$,
 - zawartość wilgoci – $x_n = 12,4 \text{ g/kg}$,
- b) parametry powietrza wewnętrznego w klubie studenckim przyjęto w celu zapewnienia komfortu cieplnego według normy PN-78/B-03421 [4]; w strefie przebywania ludzi na odpowiednim poziomie należy utrzymać:

- temperaturę powietrza wewnętrznego – $t_p = 23^\circ\text{C}$,
 - wilgotność względną – $\varphi_p = 50\%$,
- c) parametry technologiczne:
- zyski ciepła całkowitego – $\Delta Q_C = 21,59 \text{ kW}$,
 - zyski ciepła jawnego – $Q_J = 13,75 \text{ kW}$,
 - zyski wilgoci – $W = 11,1 \text{ kg/h}$,
 - niezbędny strumień objętościowy powietrza zewnętrznego ze względów higienicznych zalecany dla zapewnienia odczucia komfortu i świeżości – przyjęto $20 \text{ m}^3/\text{h}$ na osobę, stąd dla 150 osób strumień ten wynosi $G_Z = 3000 \text{ m}^3/\text{h}$.

Tabela 1. Tabelaaryczne zestawienie wyników bilansu ciepłno-wilgotnościowego dla klubu studenckiego

Table 1. A tabular summary of the balance of heat and moisture for student's club

Okres	Zyski ciepła jawnego				Zyski ciepła utajonego		Suma zysków ciepła Q_c [kW]
	od ludzi Q_L [kW]	od oświetlenia elektrycznego Q_o [kW]	przez przegrody przezroczyste (okna) Q_{ok} [kW]	przez przegrody nieprzezroczyste Q [kW]	zyski wilgoci W [kg/h]	od ludzi utajone Q_U [kW]	
Lato	6,8	4,32	2,42	0,21	11,1	7,84	21,59
Zima	6,8	4,32	-	-	11,1	7,84	18,96

System klimatyzacji z wykorzystaniem gruntowo-powietrznego rurowego wymiennika ciepła oraz stropów chłodzących dla okresu letniego

Schemat przyjętego systemu klimatyzacji centralnej współpracującej z gruntowo-powietrznym rurowym wymiennikiem ciepła oraz stropami chłodzącymi przedstawiono na rys. 1. Powietrze zewnętrzne pobierane przez czerpnię gruntową (18, rys. 1.) trafia do gruntowo-powietrznego rurowego wymiennika ciepła (16, rys. 1.), gdzie ulega ochłodzeniu poprzez wykorzystanie stałej temperatury gruntu. Jest to korzystne, ponieważ mniejsza temperatura powietrza latem zwiększa odczucie komfortu oraz poprawia jakość powietrza w klimatyzowanych pomieszczeniach. Powietrze po gruntowo-powietrznym wymienniku ciepła (16, rys. 1.) przepływa przez nawiewną centralę klimatyzacyjną z pierwszą (3, rys. 1.) i drugą (6, rys. 1.) nagrzewnicą powietrza, chłodnicą powietrza (5, rys. 1.) i komorą nawilżania parowego (4, rys. 1.). Wymiana powietrza w klubie studenckim polega na usunięciu zużytego powietrza i dostarczeniu świeżego o wymaganych parametrach. W lecie nawilżacz parowy (4, rys. 1.) oraz nagrzewnice powietrza (3 i 6, rys. 1.) nie pracują. Zużyte powietrze jest transportowane za pomocą systemu kanałów do centrali wywiewnej, gdzie jest wyrzucone przez kanał wylotowy na zewnątrz budynku. Świeże powietrze jest zasysane kanałem wlotowym do wnętrza urządzenia klimatyzacyjnego, gdzie przechodzi

przez filtry, które wyłapują drobiny kurzu oraz alergeny, pyłki traw i drzew. Przepływając przez chłodnicę (5, rys. 1.), kontaktuje się z jej chłodną powierzchnią, w związku z czym obniża swoją temperaturę i ulega osuszaniu. Tak uzdatnione powietrze, przechodząc przez przewody złożone w pomieszczeniach nieklimatyzowanych i wentylator centrali klimatyzacyjnej, jest ogrzewane i tłoczony do klubu studenckiego, gdzie strumień powietrza nawiewanego miesza się ze strumieniem powietrza wewnętrznego. Strop chłodzący (14, rys. 1.) ochładza powietrze wewnętrzne cyrkulujące w pomieszczeniu klubu studenckiego. Ilość powietrza nawiewanego i wywiewanego jest jednakowa.

Na wykres i - x powietrza wilgotnego (rys. 4.) nanosi się punkty odpowiadające parametrom stanu powietrza: zewnętrznego – punkt Z ($t_Z = 30^\circ\text{C}$, $\varphi_Z = 52\%$) i wewnętrznego – punkt P ($t_P = 23^\circ\text{C}$, $\varphi_P = 50\%$) [2]. Założono, że powietrze jest wywiewane z pomieszczenia o parametrach w punkcie P .

Następnie przyjmuje się temperaturę t_O [$^\circ\text{C}$] (punkt O) strumienia powietrza nawiewanego po wyjściu z gruntowo-powietrznego wymiennika ciepła (16, rys. 1.), w którym powietrze jest ochładzane. Stosując gruntowo-powietrzny wymiennik ciepła, temperatura zewnętrzna została obniżona o 12°C , stąd $t_O = 18^\circ\text{C}$, co jest zgodne z zaleceniami producentów gruntowych wymienników ciepła [5].

W celu otrzymania punktu O w pierwszej kolejności prowadzi się prostą $x_Z = 12,4$ g/kg do przecięcia się z linią $\varphi = 90\%$, a następnie wzdłuż linii $\varphi = 90\%$ do miejsca przecięcia się z prostą $t_O = 18^\circ\text{C}$ [2].

Punkt F określa średnią temperaturę na ściankach chłodnicy powierzchniowej. Założono temperaturę na powierzchni chłodnicy t_F [$^\circ\text{C}$]. Temperatura t_F leży w strefie temperatury powyżej $7\div 8^\circ\text{C}$, co jest ograniczone temperaturą, która panuje w instalacji chłodniczej. Punkt F naniesiono na wykres i - x powietrza wilgotnego w miejscu przecięcia się linii $t_F = 8^\circ\text{C}$ i $\varphi = 100\%$. Po połączeniu punktów Z i F na otrzymanej linii ZF określono punkt stanu powietrza zewnętrznego (punkt K) po przejściu przez gruntowo-powietrzny rurowy wymiennik ciepła oraz po uzdatnieniu w chłodnicy powierzchniowej. Ochłodzenie powietrza określone stanem punktu O wskutek małego czasu przechodzenia strumienia powietrza przez wymiennik ciepła na całej jego powierzchni nigdy nie będzie wynosiło 100% , z tego też względu przyjęto 90% . Założono, że do temperatury t_k w procesie OK strumień powietrza jest ochładzany w chłodnicy powietrza (5, rys. 1.). Określa się położenie punktu K , który będzie leżał na przecięciu linii łączącej punkty F i Z oraz linii $\varphi = 90\%$. Z wykresu i - x powietrza wilgotnego (rys. 4.) odczytano parametry powietrza w punkcie K : $t_K = 12^\circ\text{C}$ i $x_K = 7,86$ g/kg.

Określając stan powietrza nawiewanego – punkt N ($x_N = x_K$), uwzględniono minimalną temperaturę powietrza nawiewanego. Punkt ten leży na przecięciu się linii $x_K = 7,86$ g/kg i izotermy t_N [$^\circ\text{C}$] obliczonej ze wzoru (3):

$$t_N = 12^\circ\text{C} + 1,5^\circ\text{C} = 13,5^\circ\text{C}.$$

Przyjęto $\Delta t = 1,5^\circ\text{C}$. Jednak w rzeczywistości przyrost tej temperatury należy każdorazowo obliczyć. Punkt N umiejscowiono na przecięciu się linii $t_N = 13,5^\circ\text{C}$ i $x_N = x_K = 7,86 \text{ g/kg}$.

Podczas obliczania ilości powietrza wentylacyjnego w ilości niezbędnego strumienia objętościowego powietrza zewnętrznego, zalecanego ze względów higienicznych dla zapewnienia odczucia komfortu i świeżości, uwzględniając ilość powietrza zewnętrznego przypadającego na jedną osobę, otrzymano wydajność objętościową dla klubu studenckiego $G_Z = 3000 \text{ m}^3/\text{h}$ ($0,833 \text{ m}^3/\text{s}$).

Korzystając ze wzoru (2), oblicza się zawartość wilgoci w powietrzu wiewanym z pomieszczenia klubu studenckiego:

$$x_U = 7,86 \frac{\text{g}}{\text{kg}} + \frac{3,08 \frac{\text{g}}{\text{s}}}{0,833 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 10,94 \frac{\text{g}}{\text{kg}}$$

Punkt P'' – stan powietrza w pomieszczeniu klubu studenckiego leży na przecięciu linii $x_U = 10,94 \text{ g/kg}$ i linii $t_P = 23^\circ\text{C}$.

Należy sprawdzić warunek wystąpienia asymilacji zysków wilgoci w pomieszczeniu ($x_U < x_G$). Maksymalna możliwa zawartość wilgoci powietrza wewnętrznego x_G w pomieszczeniu, odpowiadająca punktowi górnemu strefy parametrów optymalnych P' odczytana z rys. 4. dla okresu letniego, dla warunków klubu studenckiego wynosi $x_G = 12,9 \text{ g/kg}$. Warunek został spełniony, ponieważ $x_U = 10,94 \text{ g/kg} < x_G = 12,9 \text{ g/kg}$.

Współczynnik kierunkowy zmiany stanu powietrza w pomieszczeniu klubu studenckiego ε odczytany z wykresów $i-x$ powietrza wilgotnego poprzez połączenie punktów N i P_1'' (rys. 4. i 5.), a następnie przeniesiony na skalę współczynników kierunkowych wynosi $\varepsilon = 6000 \text{ kJ/kg}$.

Po analizie położenia punktu P_1 na wykresie $i-x$ powietrza wilgotnego (rys. 4.) można zauważyć, że przy spełnieniu tego warunku leży on poza strefą parametrów optymalnych. Aby tego uniknąć, rozpatrzono dwa warianty postępowania.

Wariant I

W celu stworzenia parametrów optymalnych w pomieszczeniu klubu studenckiego zwiększono przepływ strumienia powietrza zewnętrznego. Przekształcając wzór (2) i zakładając zawartość wilgoci mniejszą od maksymalnej i mieszczącą się w strefie parametrów optymalnych $x_{U2} = 10,36 \text{ g/kg}$ (rys. 4.), można określić wymagany przepływ strumienia powietrza zewnętrznego:

$$G = \frac{W}{(x_U - x_N) \cdot \rho} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \quad (9)$$

$$G = \frac{3,08 \frac{\text{g}}{\text{s}}}{\left(10,36 \frac{\text{g}}{\text{kg}} - 7,86 \frac{\text{g}}{\text{kg}}\right) \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 1,03 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 3696 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Dla strumienia powietrza zewnętrznego $G = 3696 \text{ m}^3/\text{h}$ warunek jest spełniony, gdyż punkt P_2'' leży w strefie parametrów optymalnych. System klimatyzacji pomieszczeń w postaci klimatyzacji centralnej zintegrowanej z wykorzystaniem stropów chłodzących jest możliwy.

Określono położenie nowego (rzeczywistego) punktu stanu powietrza w pomieszczeniu, tj. punktu P_2'' . Punkt ten leży w miejscu przecięcia się linii $x_{U2} = 10,36 \text{ g/kg}$ i $t_P = 23^\circ\text{C}$.

Wariant II

Inną możliwością stworzenia parametrów optymalnych w pomieszczeniu klubu studenckiego jest zwiększenie rzeczywistej temperatury powietrza w pomieszczeniu $t_{P''}$ [$^\circ\text{C}$] (rys. 5.). Zakłada się wzrost tej temperatury o 1°C , co spowoduje umiejscowienie się punktu P_3'' w strefie parametrów optymalnych. Zwiększenie tej temperatury spowoduje drobne zmiany, wskutek czego nie zostaną uwzględnione obliczenia nowego bilansu ciepłno-wilgotnościowego.

$$t_{P_3''} = t_{P_1''} + 1^\circ\text{C} \quad (10)$$

$$t_{P_3''} = 23^\circ\text{C} + 1^\circ\text{C} = 24^\circ\text{C}.$$

Dla rzeczywistej temperatury powietrza w pomieszczeniu $t_{P''} = 24^\circ\text{C}$ warunek jest spełniony, gdyż punkt P_3'' znajduje się w strefie parametrów optymalnych. System klimatyzacji pomieszczeń w postaci klimatyzacji centralnej zintegrowanej z wykorzystaniem stropów chłodzących jest możliwy.

Określono położenie nowego (rzeczywistego) punktu stanu powietrza w pomieszczeniu, tj. punktu P_3'' (rys. 5.). Punkt ten leży w miejscu przecięcia się linii $x_U = 10,94 \text{ g/kg}$ i linii $t_{P''} = 24^\circ\text{C}$.

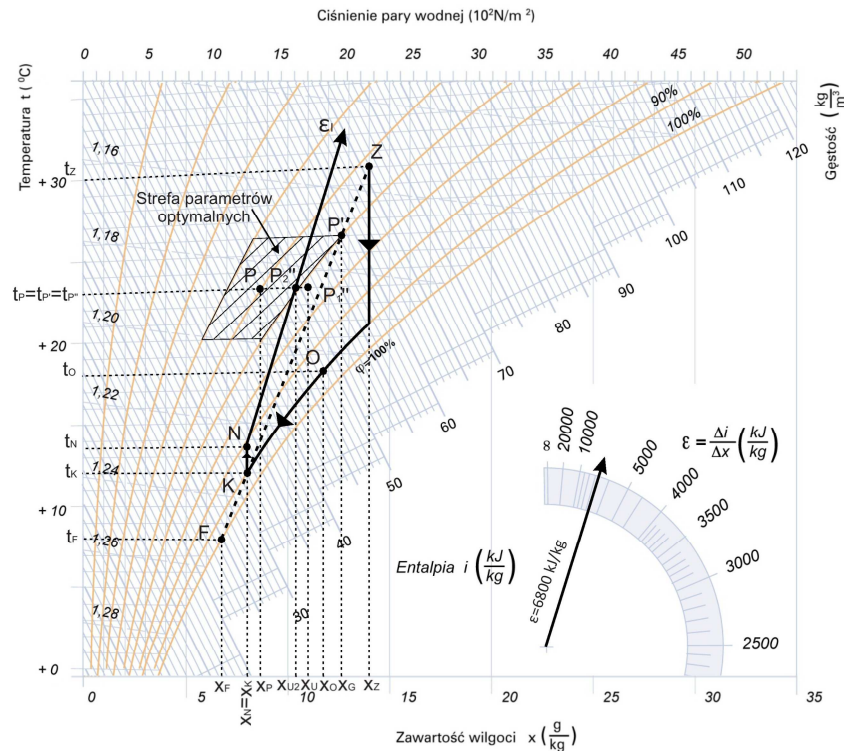
Następnie obliczono wydajność chłodnicy powierzchniowej Q_{CH} na podstawie wykresu $i-x$ powietrza wilgotnego (rys. 4. i 5.), korzystając ze wzoru (4) odpowiednio dla dwóch wariantów obliczeniowych (z rys. 4 odczytano $i_o = 47,8 \text{ kJ/kg}$ i $i_K = 32,0 \text{ kJ/kg}$):

- wariant I

$$Q_{CH} = 1,03 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(47,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 32,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) = 19,53 \text{ kW},$$

- wariant II

$$Q_{CH} = 0,833 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(47,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 32,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) = 15,79 \text{ kW}.$$

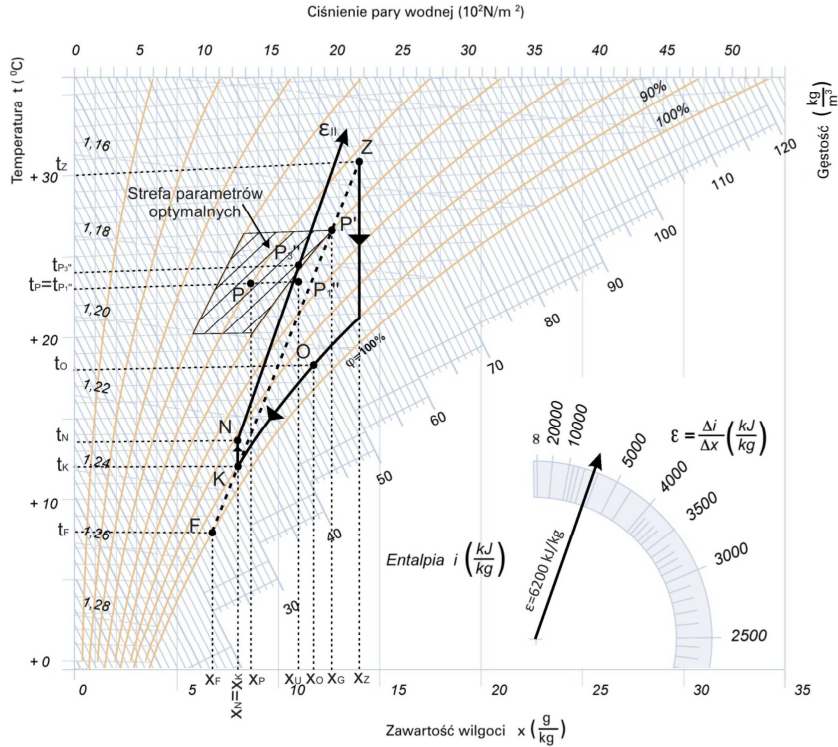


Rys. 4. Przebieg zmian stanu powietrza na wykresie i - x powietrza wilgotnego systemu klimatyzacji scentralizowanej we współpracy z gruntowo-powietrznym rurowym wymiennikiem ciepła i stropami chłodzącymi w okresie letnim (warian I)

Fig. 4. The course of changes of air in the chart h - x humid air conditioning system centralized in cooperation with ground-air heat exchanger tube and chilled ceilings in the summer (option I)

Na rysunkach 4. i 5. przedstawiono następujące procesy: ZO – ochładzanie powietrza za pomocą gruntowo-powietrznego rurowego wymiennika ciepła (16, rys. 1.), OK – ochładzanie i osuszanie powietrza na chłodnicy powietrza (5, rys. 1.), KN – ogrzewanie strumienia powietrza w przewodach i wentylatorze.

Współczynniki kierunkowe zmiany stanu powietrza w pomieszczeniu klubu studenckiego ε_I oraz ε_{II} odczytane z wykresów i - x powietrza wilgotnego poprzez połączenie punktów N i P_2'' (rys. 4.) oraz N i P_3'' (rys. 5.), a następnie przeniesione na skalę współczynników kierunkowych wynoszą odpowiednio $\varepsilon_I = 6800$ kJ/kg i $\varepsilon_{II} = 6200$ kJ/kg.



Rys. 5. Przebieg zmian stanu powietrza na wykresie i - x powietrza wilgotnego systemu klimatyzacji scentralizowanej we współpracy z gruntowo-powietrznym rurowym wymiennikiem ciepła i stropami chłodzącymi w okresie letnim (warian II)

Fig. 5. The course of changes of air in the chart h - x humid air conditioning system centralized in cooperation with ground-air heat exchanger tube and chilled ceilings in the summer (option II)

Następnie określa się ilość ciepła Q_C' , które przyjmuje powietrze nawiewane, za pomocą wzoru (5):

- wariant I

$$Q_C' = 6800 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 0,00308 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 20,94 \text{ kW},$$

- wariant II

$$Q_C' = 6200 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 0,00308 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 19,10 \text{ kW}.$$

Obliczono ilość ciepła pozostałego do przyjęcia przez stropy chłodzące, korzystając ze wzoru (6):

- wariant I

$$Q = 21,59 \text{ kW} - 20,94 \text{ kW} = 0,65 \text{ kW},$$

- wariant II

$$Q = 21,59 \text{ kW} - 19,10 \text{ kW} = 2,49 \text{ kW}.$$

Z katalogu firmy **Lindab Climate** [7] dobrano płyty chłodzące **Tectum**, które stanowią elementy stropów chłodzących. Dobór przeprowadzono na podstawie różnicy temperatury Δt i ilości ciepła Q do przejścia przez płyty chłodzące obliczonej ze wzoru (6).

Dobrana płyta Tectum oziębia ciepłe powietrze w pomieszczeniu w okresie letnim, które kontaktuje się z jej zimną powierzchnią, a także przejmuje ciepło z pomieszczenia poprzez promieniowanie niskotemperaturowe. Płyta Tectum może być podwieszana bezpośrednio na powierzchni sufitu lub montowana w suficie podwieszonym. W doborze konkretnej płyty Tectum zakłada się, że różnica temperatury powietrza w pomieszczeniu i średniej temperatury wody chłodzącej w płycie wynosi 8°C . Na tej podstawie dla klubu studenckiego dobrano:

- wariant I – 4 płyty długości 6,0 m, szerokości 0,33 m oraz grubości 0,06 m z efektem chłodzenia 167 W każda,
- wariant II – 6 płyt długości 6,0 m, szerokości 0,87 m oraz grubości 0,06 m z efektem chłodzenia 430 W każda.

Dobrano centrale nawiewno-wywiewne wewnętrzne odpowiednio dla wariantów obliczeniowych:

- wariant I – typu CV-A2, zestaw NW-1275A z katalogu firmy VTS Clima [8] o wydajności $G_{OPT} = 5100 \text{ m}^3/\text{h}$.
- wariant II – typu CV-A1, zestaw NW-1275A z katalogu firmy VTS Clima [8] o wydajności $G_{OPT} = 3200 \text{ m}^3/\text{h}$.

Zastosowanie II wariantu obliczeniowego umożliwiło zastosowanie mniejszej centrali klimatyzacyjnej.

Obliczono moc chłodniczą w gruntowo-powietrznym rurowym wymienniku ciepła (16, rys. 1.), korzystając ze wzoru (7) (z rys. 4. odczytano $i_z = 66,0 \text{ kJ/kg}$ i $i_o = 47,8 \text{ kJ/kg}$):

- wariant I

$$Q_G = 1,03 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot \left(66,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 47,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 22,5 \text{ kW},$$

- wariant II

$$Q_G = 0,833 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot \left(66,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 47,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 18,19 \text{ kW}.$$

Długość grunto-powietrznego rurowego wymiennika ciepła (16, rys. 1.) wyznaczono ze wzoru (8). Przyjęto, że gruntowy wymiennik z jednego metra gruntu pobiera 70 W chłodu [6]:

- wariant I

$$L = \frac{22500 \text{ W}}{70 \frac{\text{W}}{\text{m}}} = 321,4 \text{ m},$$

tj. długość wymiennika grunto-powietrznego rurowego wynosi 322 m,

- wariant II

$$L = \frac{18190 \text{ W}}{70 \frac{\text{W}}{\text{m}}} = 259,9 \text{ m},$$

tj. długość wymiennika grunto-powietrznego rurowego wynosi 260 m.

W tabeli 2. porównano te same parametry przedstawionego systemu klimatyzacji z wykorzystaniem grunto-powietrznego rurowego wymiennika ciepła i sufitów chłodzących z systemem klimatyzacji, gdzie wykorzystano tylko grunto-powietrzny rurowy wymiennik ciepła dla okresu letniego.

Tabela 2. Porównanie omówionych systemów klimatyzacyjnych dla okresu letniego

Table 2. Comparison of air conditioning systems discussed for the summer period

Porównanie systemów klimatyzacji klubu studenckiego w okresie letnim			
Porównywany parametr	system klimatyzacji bez stropów chłodzących	system klimatyzacji ze stropami chłodzącymi	
Sposoby odzysku ciepła	gruntowy rurowy wymiennik ciepła	gruntowy rurowy wymiennik ciepła, sufity chłodzące	
Wariant obliczeniowy	-	wariant I	wariant II
Temperatura wewnątrz klubu studenckiego [°C]	23	23	24
Wilgotność wewnątrz klubu studenckiego [%]	50	50	50
Temperatura nawiewu [°C]	15,1	13,5	13,5
Strumień powietrza nawiewanego [m ³ /h]	5100	3696	3000

Tabela 2 (cd.)

Table 2 (contd)

Porównanie systemów klimatyzacji klubu studenckiego w okresie letnim			
Porównywany parametr	system klimatyzacji bez stropów chłodzących	system klimatyzacji ze stropami chłodzącymi	
Współczynnik kierunkowy zmian stanu powietrza [kJ/kg]	7002,16	6800	6200
Moc nagrzewnicy [kW]	9,71	-	-
Moc chłodnicy [kW]	36,64	19,53	15,79
Ilość ciepła przejęta przez stropy chłodzące [kW]	-	0,65	2,49
Charakterystyka płyt chłodzących	-	4 płyty chłodzące o efekcie chłodzenia 167 W każda	6 płyt chłodzących o efekcie chłodzenia 430 W każda
Moc chłodnicza gruntowego rurowego wymiennika ciepła [kW]	31,01	22,5	18,19
Długość gruntowego rurowego wymiennika ciepła [m]	443	322	260

3. Podsumowanie

Przedstawione opracowanie metod projektowania ma stanowić wstęp do zrozumienia procesów uzdatniania powietrza, jakie mogą mieć miejsce w systemie klimatyzacyjnym z uproszczonymi założeniami. Na zasadzie wstępnej analizy analitycznej i obliczeniowej sformułowano następujące wnioski:

1. W wyniku zastosowania sufitów chłodzących znacznie się zmniejszyła wymagana ilość powietrza zewnętrznego przepływającego przez gruntowo-powietrzny rurowy wymiennik ciepła, a co za tym idzie wymagana wielkość tego wymiennika również zmalała z 443 na 322 m, wykorzystując wariant zwiększenia strumienia objętościowego powietrza nawiewanego (wariant I) lub na 260 m, wykorzystując wariant zwiększenia temperatury w pomieszczeniu (wariant II).

2. Ilość powietrza zewnętrznego nawiewanego do centrali jest określona warunkami higienicznymi i stworzeniem komfortu wewnątrz pomieszczenia.

3. Poprzez zastosowanie sufitów chłodzących uzyskano znaczne zmniejszenie mocy chłodnicy powietrza o 17,11 kW (wariant I) i 20,85 (wariant II).

4. W wariantcie II wymagane jest zainstalowanie większej liczby płyt chłodzących o lepszym efekcie chłodzenia.

5. W rozpatrywanym systemie klimatyzacji nie jest potrzebne zastosowanie nagrzewnicy powietrza, co umożliwi dodatkowe zredukowanie kosztów.

Stropy chłodzące doskonale uzupełniają pracę instalacji klimatyzacyjnej a współpraca ta jest bardzo efektywna. Instalacja klimatyzacyjna reguluje warunki wilgotnościowe oraz zapewnia czystość powietrza, podczas gdy sufity odbierają zyski ciepła jawnego.

Literatura

- [1] Pełech A.: Wentylacja i klimatyzacja. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008.
- [2] Pisarev V.: Wentylacja i klimatyzacja z wykorzystaniem belek i sufitów chłodzących. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2010.
- [3] PN-76/B-03420: Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego.
- [4] PN-78/B-03421: Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi.
- [5] Katalog firmy PRO-VENT. Gruntowe wymienniki ciepła, www.provent.pl.
- [6] Pisarev V.: Projektowanie instalacji wentylacji i klimatyzacji z rekuperacją ciepła. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2012.
- [7] Katalog firmy LindabClimate. Tectum Cooling panel, www.lindab.com.
- [8] Katalog central klimatyzacyjnych firmy VTS Clima.

CENTRAL AIR-CONDITIONING WITH CHILLED CEILINGS AND GROUND HEAT EXCHANGER

Summary

The authors presented the method of designing an air-conditioning system using the chilled ceilings in cooperation with ground-air heat exchanger tube along with computational example. The discussed system was compared with others, without the use of chilled ceilings.

This study was a preliminary design methods to the understanding of air conditioning that can occur in our air-conditioning system with simplified assumptions. By way of a preliminary analysis of the analytical and computing was obtained:

1. As a result of chilled ceilings significantly reduced the required amount of outside air flowing through the ground-air heat exchanger tube, and thus the required amount of heat also decreased from 443 m to 322 m using a variant of the increase in the supply air volume flow (option I) or 260 m using a variant of the temperature increase the room (option II).

2. Number of outdoor air supply to the control panel is specified hygienic conditions and the creation of indoor comfort.

3. The use of chilled ceilings, large reductions under the cooler air of 17.11 kW (option I) and 20.85 (option II).

4. The second variant is required to install more cooling plater a better cooling effect.

5. It has been considered air-conditioning system is not required in the use of the air heater to allow further reduction of costs.

As you can see in the above section cooling ceilings perfectly complement the work of the air conditioning system and this cooperation is very effective. Air conditioning system regulates the conditions of moisture and provides clean air, while the ceilings receive sensible heat gain.

Keywords: air conditioning, chilled ceiling, ground-air heat exchanger

DOI:10.7862/rb.2013.65

Przesłano do redakcji: 04.07.2013 r.

Przyjęto do druku: 13.11.2013 r.

Vyacheslav PISAREV¹

Krzysztof NOWAK²

ANALIZA WSPÓŁPRACY KURTYNY POWIETRZNEJ Z GRUNTOWĄ POMPĄ CIEPŁA W OKRESIE CAŁOROCZNYM

Kurtyna powietrzna to urządzenie, którego podstawowym celem jest stworzenie bariery izolującej przepływ powietrza pomiędzy pomieszczeniami lub strefami o różnych temperaturach. W dużych pomieszczeniach, takich jak: hale przemysłowe, warsztaty, magazyny, sklepy wielkopowierzchniowe czy centra handlowe, drzwi pozostają otwarte przez dłuższy czas. Jest to związane np. z koniecznością załadunku i rozładunku towarów na zapleczu magazynu lub z przechodzeniem klientów centrum handlowego. Otwarte drzwi, często dużych rozmiarów, powodują znaczne straty ciepła i zakłócają klimat panujący wewnątrz pomieszczeń. W przypadku gdy istnieje duża różnica temperatury między powietrzem wewnętrznym i zewnętrznym, mogą występować problemy związane z przeciągami oraz z utrzymaniem właściwej temperatury w pomieszczeniach. Kurtyna tworzy osłonę wentylacyjną, która przy otwarciu drzwi utrzymuje powietrze wewnątrz pomieszczenia. W okresie zimowym nawiewany strumień ciepłego powietrza zapobiega przedostawaniu się powietrza chłodnego do pomieszczenia, ograniczając tym samym straty ciepła, a co za tym idzie – straty energii. Latem stanowi idealną barierę przed gorącym powietrzem napływającym z zewnątrz pomieszczenia. Kurtyna powietrzna utrudnia również przedostawanie się do wnętrza kurzu, spalin i owadów, natomiast dla ludzi jest niewidoczna i nie stanowi przeszkody. W artykule przedstawiono analizę współpracy kurtyny powietrznej i gruntowej pompy ciepła w okresie całorocznym z porównaniem metod obliczeniowych opublikowanych w literaturze. Analizę przeprowadzono dla przykładowego budynku użyteczności publicznej (centrum handlowego) w okresie całorocznym. Otrzymane wyniki będą pomocne w doborze kurtyn powietrznych podczas wyboru i oceny jednej z metod obliczeniowych opublikowanych w literaturze.

Słowa kluczowe: kurtyna powietrzna, pompa ciepła, wentylacja, straty ciepła

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Vyacheslav Pisarev, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. (17) 8651946, e-mail: pisarev@prz.edu.pl

² Krzysztof Nowak, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. (17) 8651263, e-mail: krzynow@prz.edu.pl

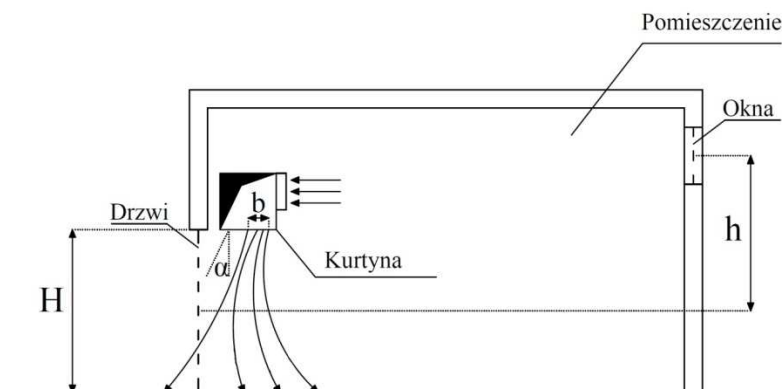
1. Kurtyna powietrzna

Przy każdym otwarciu drzwi na zewnątrz wydostaje się powietrze wewnętrzne, do środka przedostaje się zaś powietrze z zewnątrz. Przepływ powietrza jest wywołany przez siły termiczne, brak równowagi w systemie wentylacyjnym lub ciśnienie wiatru. Straty ciepła z powietrzem są szczególnie duże w przypadku znacznej różnicy między temperaturą zewnętrzną a wewnętrzną. Dotyczy to zarówno pomieszczeń ogrzewanych, jak i klimatyzowanych.

Kurtyna powietrzna tworzy osłonę wentylacyjną, która przy otwarciu drzwi utrzymuje powietrze wewnątrz pomieszczenia. Pozwala to na znaczne zmniejszenie kosztów energii i zapewnia komfort cieplny. Kurtyna utrudnia również przedostawanie się do wnętrza kurzu, spalin i owadów. Dla ludzi jest ona niewidoczna i nie stanowi przeszkody [1].

Powietrze zasysane do kurtyny jest tłoczone z dużą prędkością, co powoduje „ekran” w płaszczyźnie otworu, zabezpieczając tym samym otwór przed stratami ciepła/zimna z pomieszczenia (rys. 1.). Sposób zawieszenia kurtyny pozwala na ukierunkowanie strumienia powietrza stosownie do warunków panujących w danym otworze.

Celem opracowania jest wstępna analiza współpracy kurtyny powietrznej i gruntowej pompy ciepła dla przykładowego budynku użyteczności publicznej (centrum handlowego) w okresie całorocznym.



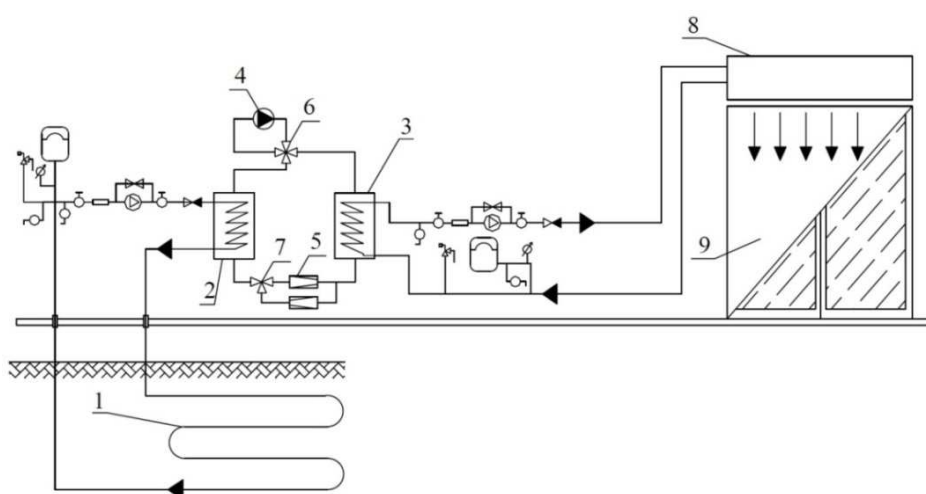
Rys. 1. Schemat kurtyny powietrznej z kierunkiem strumienia powietrza od góry do dołu

Fig. 1. Schema the air curtain to the direction of air flow up and down

Na rysunku 1. przyjęto następujące oznaczenia: b – szerokość szczeliny wypływu powietrza z kurtyny, h – różnica wysokości środka drzwi wejściowych i okien, α – kąt wypływu strumienia powietrza, H – wysokość drzwi.

2. Dane wstępne

W przykładowym budynku parterowym centrum handlowego zastosowano kurtynę powietrzną o przepływie strumienia powietrza od góry do dołu (rys. 1.). Kurtyna będzie umieszczona nad drzwiami wejściowymi do budynku i zasilana w ciepło lub chłód za pomocą pompy ciepła (rys. 2., 3.). Na schemacie (rys. 3.) został wykorzystany zasobnik ciepłej wody dla racjonalnej regulacji pracy pompy ciepła. Drzwi wejściowe o szerokości 1,75 m i wysokość 2,5 m są automatycznie otwierane.



Rys. 2. Schemat instalacji zaopatrzenia w ciepło kurtyny powietrznej z użyciem pompy ciepła z wymiennikiem gruntowym ciepła

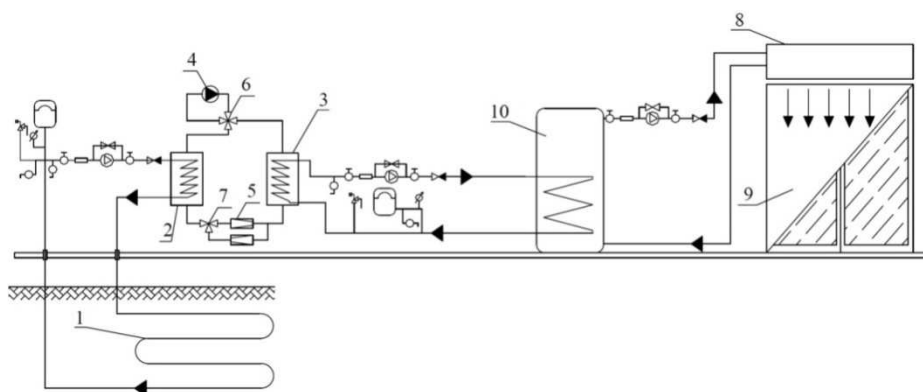
Fig. 2. Schema the air curtain system with a heat pump with a ground heat

Elementami składowymi instalacji przedstawionej na rys. 2. są: 1 – grunto-
wy wymiennik ciepła, 2 – parownik, 3 – skraplacz, 4 – sprężarka, 5 – zawór roz-
prężny, 6 – zawór czwódrogowy, 7 – zawór trójdrogowy, 8 – kurtyna powietrz-
na, 9 – drzwi wejściowe.

Kurtyna powietrzna pracuje przy otwartych drzwiach. Aby zmniejszyć stra-
ty ciepła, przed drzwiami wejściowymi wybudowano przedsionek [2]. Ciepło
w zimie oraz chłód w lecie będzie produkowane przez gruntową pompę ciepła.

Obliczenia sporządzono według metody przedstawionej w publikacji [2].
Otrzymane wyniki w okresie zimowym porównano do wyników obliczeń w pu-
blikacji [3] opracowanej według metody obliczeniowej [4]. Według metody [2]
obliczenia zostały sporządzone dla drzwi o takich samych wymiarach, jak we-
dług przyjętej metody [4], z tą różnicą, że zgodnie z założeniami w źródle [4]
drzwi będą dobierane dla ok. 100 ludzi przechodzących w ciągu godziny. W lite-

raturze [2] brak jednak informacji na temat charakterystyki drzwi oraz ilości osób przez nie przechodzących. Dane wstępne do obliczeń zestawiono w tab. 1. i 2.



Rys. 3. Schemat instalacji zaopatrzenia w ciepło kurtyny powietrznej z użyciem pompy ciepła z wymiennikiem gruntowym ciepła oraz zasobnikiem ciepłej wody

Fig. 3. Schema the air curtain system with a heat pump with a ground heat and hot water cylinder

Elementami składowymi instalacji przedstawionej na rys. 3. są: 1 – grunto-
wy wymiennik ciepła, 2 – parownik, 3 – skraplacz, 4 – sprężarka, 5 – zawór roz-
prężny, 6 – zawór czwórdrogowy, 7 – zawór trójdrogowy, 8 – kurtyna powietrz-
na, 9 – drzwi wejściowe, 10 – zasobnik ciepłej wody.

Tabela 1. Dane wstępne

Table 1. Preliminary data

Dane wstępne	Założenia do metody obliczeniowej [2]	Dane z publikacji [3]
Współczynnik przepływu dla rodzaju drzwi μ_0	0,64 (drzwi o ostrych krawędziach) [2]	0,55 (drzwi dwuskrzydłowe) [3]
Różnica wysokości środka drzwi wejściowych i okien h	6,25 m	6,25 m
Kąt wypływu strumienia powietrza α	(30÷60°) [2] przy założeniu 60°	nie uwzględniono
Względny wydatek powietrza q	(0,5÷1,0) [2] przy założeniu 0,8	nie uwzględniono
Względna szerokość szczeliny A_{szcz}/A_B	(1/10÷1/40) [2] przy założeniu 1/30	nie uwzględniono
Współczynnik dla drzwi z jednostronną zasłoną powietrzną μ	0,164 [2]	nie uwzględniono

Tabela 1 (cd.)

Table 1 (contd)

Dane wstępne	Założenia do metody obliczeniowej [2]	Dane z publikacji [3]
Powierzchnia nie szczelności nawiewanych $(\mu A)_n$	0,15 m ² [2]	nie uwzględniono
Powierzchnia nie szczelności wywiewanych $(\mu A)_w$	0,15 m ² [2]	nie uwzględniono
Powierzchnia drzwi $(A)_B$	4,4 m ²	4,4 m ²
Wysokość drzwi H	2,5 m	2,5 m
Szerokość drzwi B	1,75 m	1,75 m
Współczynnik dla liczby ludzi przechodzących przez drzwi k	nie uwzględniono	0,02 [3]

Tabela 2. Parametry powietrza dla okresów zimowego i letniego

Table 2. Air parameters for the winter and summer

	Okres zimowy	Okres letni
Temperatura/gęstość powietrza zewnętrznego t_z / ρ_z [5]	-20°C/1,395 kg/m ³	30°C/1,165 kg/m ³
Temperatura/gęstość powietrza w pomieszczeniu t_p / ρ_p (założono dla metody [2] i publikacji [3])	15°C/1,226 kg/m ³	23°C/1,197 kg/m ³
Temperatura/gęstość mieszaniny powietrza przenikającego do pomieszczenia t_m / ρ_m (założono dla metody [2], w publikacji [3] nie uwzględniono)	15°C/1,226 kg/m ³	23°C/1,197 kg/m ³
Temperatura/gęstość powietrza wywiewanego z pomieszczenia t_w / ρ_w (założono dla metody [2], w publikacji [3] nie uwzględniono)	17°C/1,215 kg/m ³	27°C/1,175 kg/m ³

3. Obliczenia dla okresu zimowego

Szerokość szczeliny b (rys. 1.) oblicza się ze wzoru [2]:

$$\frac{A_{szcz}}{A_B} = \frac{b}{H} \quad (1)$$

stąd

$$b = \frac{1}{30} \cdot 2,5 \text{ m} = 0,083 \text{ m.}$$

Położenie płaszczyzny wyrównania ciśnień określono ze wzoru [2]:

$$h_{wc} = \frac{h}{\left[\frac{(\mu \cdot A_B) \cdot \rho_m}{(\mu A)_w \cdot \rho_z} \cdot (1-q) + \frac{(\mu A)_n}{(\mu A)_w} \right]^2 \cdot \frac{\rho_z}{\rho_w} + 1} \quad [\text{m}] \quad (2)$$

$$h_{wc} = \frac{6,25 \text{ m}}{\left[\frac{0,164 \cdot 4,4 \text{ m}^2 \cdot 1,226 \text{ kg/m}^3}{0,15 \text{ m}^2 \cdot 1,395 \text{ kg/m}^3} \cdot (1-0,8) + \frac{0,15 \text{ m}^2}{0,15 \text{ m}^2} \right]^2 \cdot \frac{1,395 \text{ kg/m}^3}{1,215 \text{ kg/m}^3} + 1},$$

$$h_{wc} = 1,28 \text{ m.}$$

Strumień powietrza zewnętrznego przenikającego do pomieszczenia oblicza się ze wzoru [2]:

$$m_{pn} = A_B \cdot \mu \sqrt{2 \cdot g \cdot h_{wc} \cdot \rho_m \cdot (\rho_z - \rho_p)} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \quad (3)$$

$$m_{pn} = 4,4 \text{ m}^2 \cdot 0,164 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{9,81 \text{ m}}{\text{s}^2} \cdot 1,28 \text{ m} \cdot 1,226 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(1,395 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 1,226 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)},$$

$$m_{pn} = 1,64 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 5887 \frac{\text{kg}}{\text{h}}.$$

Strumień powietrza nawiewanego przez kurtynę określono ze wzoru [2]:

$$m_n = q \cdot m_{pn} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \quad (4)$$

$$m_n = 0,8 \cdot 1,64 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 1,31 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 4710 \frac{\text{kg}}{\text{h}}.$$

Strumień powietrza nawiewanego przez kurtynę w pracy [3] określono za pomocą metody [4]:

$$m'_n = 0,36 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 1296 \frac{\text{kg}}{\text{h}}.$$

Różnica strumieni powietrza nawiewanego określona metodami [2] i [4] może wynikać z założeń dla drzwi wejściowych – w metodzie [4] są otwierane dla 100 ludzi przechodzących w ciągu godziny, natomiast metoda [2] nie uwzględnia tego. Różnica ta może także wynikać z innych założeń przedstawionych w tab. 1.

Temperatura powietrza nawiewanego przez kurtynę określono ze wzoru [2]:

$$t_n = \frac{t_m - [1 - (1-a) \cdot q] \cdot t_z}{q \cdot (1-a)} \quad [^\circ\text{C}] \quad (5)$$

$$t_n = \frac{17^{\circ}\text{C} - [1 - (1 - 0,03) \cdot 0,8] \cdot (-20^{\circ}\text{C})}{0,8 \cdot (1 - 0,03)} = 25,1^{\circ}\text{C}.$$

Założono temperaturę strumienia powietrza nawiewanego przez kurtynę w publikacji [3]:

$$t'_n = 50^{\circ}\text{C}.$$

Moc nagrzewnicy obliczono ze wzoru [2]:

$$Q_n = m_n \cdot c_p \cdot (t_n - t_p) \text{ [kW]} \quad (6)$$

$$Q_n = 1,31 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (25,1 - 15)^{\circ}\text{C} = 13,28 \text{ kW}.$$

Moc nagrzewnicy obliczona w literaturze [3] wynosi:

$$Q'_n = 10,71 \text{ kW}.$$

Różne wielkości mocy nagrzewnicy obliczone metodami [2] i [4] wynikają z założeń wstępnych (tab. 1.), które z kolei mają wpływ na obliczenia strumienia nawiewanego przez kurtynę oraz temperatury powietrza nawiewanego. Różnica w mocy nagrzewnicy wynosi ok. 19,3%, co powoduje możliwość nieprawidłowego wymiarowania i utrudnia właściwy dobór kurtyny powietrznej.

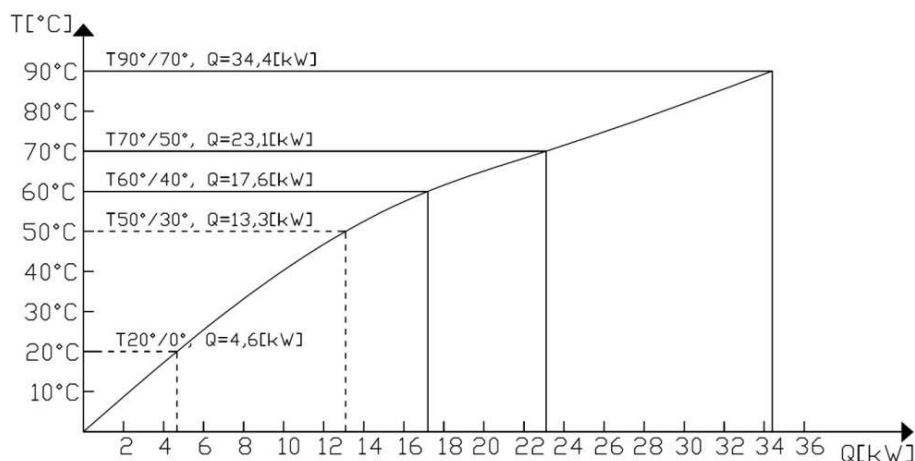
4. Dobór kurtyny powietrznej

Metoda przedstawiona w publikacji [2] nie precyzuje sposobu doboru wskaźników obliczeniowych, takich jak: kąt wypływu strumienia powietrza, względny wydatek powietrza, względna szerokość szczeliny. Natomiast producenci kurtyn powietrznych nie wymagają i nie umieszczają takich informacji w katalogach technicznych. Wykonując obliczenia według metody [4], projektant nie potrzebuje tych informacji.

W pracy [3] na podstawie analizy parametrów pracy nagrzewnicy dobrano kurtynę Frico WAC-302 o parametrach $T_1/T_2 = 50/30^{\circ}\text{C}$, gdzie: T_1 – temperatura nośnika ciepła na wejściu nagrzewnicy kurtyny, T_2 – temperatura nośnika ciepła na wyjściu nagrzewnicy kurtyny, wydajność $Q = 13,6 \text{ kW}$, maksymalny wydatek powietrza – $2500 \text{ m}^3/\text{h}$.

Na podstawie mocy nagrzewnicy obliczonej ze wzoru (6) w pracy dobrano najbardziej odpowiednią kurtynę powietrzną firmy Sonniger GuardPro200 [6]. W doborze uwzględniono dane techniczne katalogu [6] oraz ich interpretację (rys. 4.). Otrzymano parametry techniczne $T_1/T_2 = 50/30^{\circ}\text{C}$, wydajność $Q = 13,3 \text{ kW}$, maksymalny wydatek powietrza – $8600 \text{ m}^3/\text{h}$, długość kurtyny 2 m [6]. Moc kurtyny może być sterowana poprzez zmianę temperatur na wejściu nośnika ciepła do kurtyny, a także poprzez regulację przepływu strumienia czynnika

grzeijnego lub chłdniczego w kurtynie. Regulacja przepływu czynnika robocze-go odbywa się za pomocą pompy obiegowej zainstalowanej pomiędzy kurtyną a zasobnikiem ciepłej wody, natomiast regulacja temperatur poprzez zmianę pa-rametrów pracy pompy ciepła lub w inny sposób.



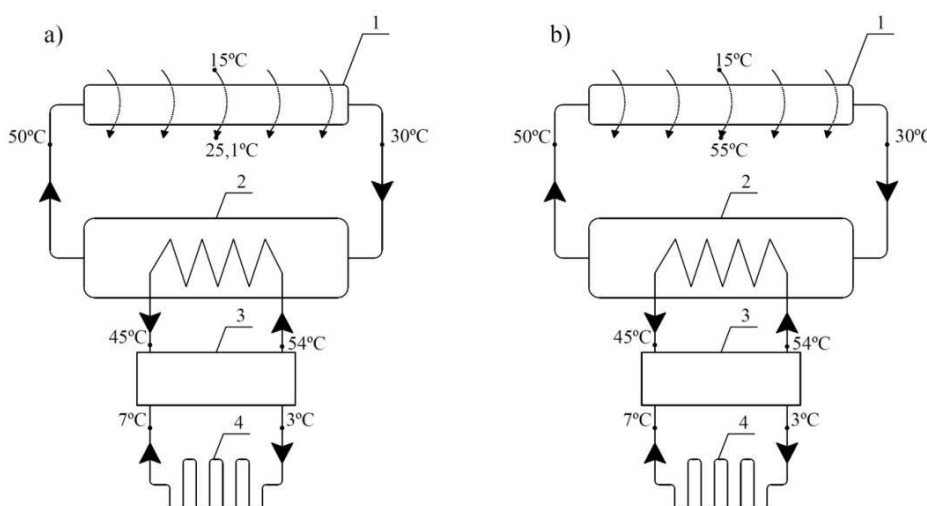
Rys. 4. Wykres charakterystyk technologicznych kurtyny powietrznej wykonany orientacyj-
nie, na podstawie danych Sonniger [6]

Fig. 4. Technological characteristics graph of the air curtain, based on Sonniger [6]

Podczas doboru kurtyn powietrznych według danych obliczeniowych w obu przypadkach nie odpowiada im zarówno obliczeniowa moc nagrzewnicy, jak również wielkość strumienia powietrza nawiewanego przez kurtynę. Przy zmianie ilości powietrza wentylacyjnego do wartości obliczeniowych zmienia się intensywność wymiany ciepła między czynnikiem roboczym w nagrzewnicy i strumieniem powietrza, w wyniku czego zmienia się moc cieplna. Będzie niemożliwe otrzymanie obliczeniowej temperatury strumienia powietrza. Stąd wynika, po pierwsze, kurtyna powietrzna dobrana z katalogu nie zawsze może być tak dobrana, aby możliwe było idealne jej dopasowanie do warunków oblicze-niowych. Po drugie, kurtyna powietrzna powinna być dopasowana do paramet-rów pracy pompy ciepła dla efektywnej pracy obu urządzeń. Po trzecie, metody obliczeniowe mają charakter empiryczny dostosowany do odpowiedniej kon-strukcji wejścia, co utrudnia dokładne zaprojektowanie kurtyny. Wskutek wyko-rzystania różnych metod można otrzymać różne wyniki.

Rozkład temperatur w instalacji pompy ciepła dla okresu zimowego (rys. 5.) został obliczony na podstawie publikacji [7] oraz danych technologicznych pracy kurtyny zamieszczonych w katalogach producentów. Zasobnik ciepła po-winien być tak dobrany, aby można było uzyskać odpowiednie parametry pracy instalacji. Na rysunkach 2. i 3. przedstawiono dwa warianty konstrukcji instala-

cji. Lepszym rozwiązaniem jest wariant zamieszczony na rys. 3. – zasobnik ciepłej wody ma za zadanie: magazynować nadwyżki ciepła lub chłodu produkowanego przez pompę ciepła w ilości przekraczającej chwilowe zapotrzebowanie; magazynować ciepło lub chłód, tak aby możliwe było jego wykorzystanie, gdy pompa ciepła nie pracuje; umożliwić pracę pompy ciepła w optymalnym zakresie; umożliwić podłączenie w jednej instalacji innych źródeł ciepła [8]. W rozpatrywanym przykładzie (rys. 5.) wykorzystanie zasobnika ciepłej wody (2) spełni swoje zadanie, jeśli urządzenie zostanie dokładnie zaprojektowane w sposób umożliwiający uzyskanie różnic temperatur około 10°C po stronie pompy ciepła oraz około 20°C po stronie odbiorcy.



Rys. 5. Rozkład temperatury na poszczególnych urządzeniach instalacji w okresie zimowym [9]: a) dla metody obliczeniowej według [2], b) dla metody obliczeniowej według [4]

Fig. 5. Distribution of temperature on each device installed in the winter [9]: a) the method of calculation [2], b) the method of calculation [4]

Elementami składowymi instalacji przedstawionej na rys. 5 są: 1 – kurtyna powietrzna, 2 – zasobnik ciepłej wody, 3 – pompa ciepła, 4 – gruntowy wymiennik ciepła.

5. Obliczenia dla okresu letniego

Obliczenia zostały wykonane na podstawie metody [2] i [4] z wykorzystaniem wzorów analogicznie do okresu zimowego.

Obliczenia według metody [2]

Szerokość szczeliny b pozostaje taka sama, jak dla okresu zimowego: $b = 0,083$ m. Położenie płaszczyzny wyrównania ciśnień określono na podstawie wzoru (2):

$$h_{wc} = \frac{6,25\text{m}^2}{\left[\frac{0,164 \cdot 4,4\text{m}^2 \cdot 1,198\text{kg/m}^3}{0,15\text{m}^2 \cdot 1,165\text{kg/m}^3} \cdot (1-0,8) + \frac{0,15\text{m}^2}{0,15\text{m}^2} \right]^2 \frac{1,165\text{kg/m}^3}{1,175\text{kg/m}^3} + 1} = 1,28 \text{ m.}$$

Strumień powietrza zewnętrznego przenikającego do pomieszczenia określono ze wzoru (3):

$$m_{pn} = 4,4\text{m}^2 \cdot 0,164 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,28\text{m} \cdot 1,198 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(1,198 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 1,165 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)},$$

$$m_{pn} = 0,71 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 2569 \frac{\text{kg}}{\text{h}}.$$

Prędkość powietrza nawiewanego zależy od kierunku nawiewania i wielkości drzwi. Chociaż w katalogach producentów rzadko można się spotkać z takimi informacjami, to przy nawiewie z góry i boków przyjmuje się prędkość wplywu z nawiewników ok. $10 \div 15$ m/s [2]. Ze względu na aerodynamikę procesu nawiewu powietrza i warunków pracy kurtyny założono taki sam strumień powietrza nawiewanego przez kurtynę, jak dla okresu zimowego:

$$m_n = 1,31 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 4712 \frac{\text{kg}}{\text{h}}.$$

Temperatura powietrza nawiewanego przez kurtynę określono według wzoru (5):

$$t_n = \frac{23 - [1 - (1 - 0,03) \cdot 0,8] \cdot 30}{0,8 \cdot (1 - 0,03)} = 19,7 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Moc chłodniczą określono ze wzoru (6) [2]:

$$Q_{ch} = 1,31 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (23 - 19,7)^\circ\text{C} = 3,04 \text{ kW}.$$

Obliczenia według metody [4]

Wydajność powietrza dla kurtyny powietrznej pozostaje taka sama, jak dla okresu zimowego ze względu na aerodynamikę procesu nawiewu powietrza i warunków pracy kurtyny [2]:

$$m'_n = 0,36 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 1296 \frac{\text{kg}}{\text{h}}.$$

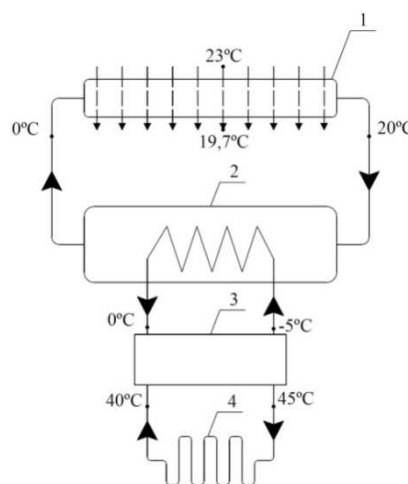
Przyjęto temperaturę strumienia powietrza nawiewanego przez kurtynę analogiczną do obliczeń według metody [2]:

$$t'_n = 19,7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Moc chłodniczą określono ze wzoru (6):

$$Q_{ch} = 0,36 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1,005 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot (23 - 19,7)^\circ\text{C} = 1,19 \text{ kW}.$$

Dane eksploatacyjne kurtyny powietrznej GuardPro200 [6] dla okresu letniego sporządzono na podstawie aproksymacji danych katalogowych [6], otrzymując wykres (rys. 6.) (nie istnieje inna metoda sporządzenia danych eksploatacyjnych): temperatura powietrza wlotowego 23°C , moc $Q = 4,6 \text{ kW}$, $T_1/T_2 = 0/20^\circ\text{C}$. Moc kurtyny, tak jak dla okresu zimowego może być sterowana poprzez zmianę temperatur na wejściu do kurtyny, a także poprzez regulację przepływu strumienia wody w kurtynie.



Rys. 6. Rozkład temperatury na poszczególnych urządzeniach instalacji dla metod obliczeniowych [2] i [4] w okresie letnim [9]

Fig. 6. Distribution of temperatures on each device installation for the calculation methods [2] and [4] in the summer [9]

Elementy instalacji dla okresu letniego przedstawione na rys. 6. pozostają takie same, jak dla okresu zimowego. Rozkład temperatur w okresie letnim został sporządzony na podstawie publikacji [7].

6. Dobór pompy ciepła

Pompę ciepła dobrano na podstawie mocy kurtyny powietrza dla okresu zimowego $Q = 13,3 \text{ kW}$. Moc grzejącą pompy ciepła obliczono ze wzoru [10]:

$$Q_{PC} = \frac{10}{10-t_z} \cdot Q_n \text{ [kW]} \quad (7)$$

gdzie: 10 – zakładany czas pracy pompy ciepła (czas otwarcia drzwi),

Q_n – moc potrzebna do zaopatrzenia w ciepło kurtyny powietrznej,

$$Q_n = 13,28 \text{ kW},$$

t_z – zakładany czas pracy wykorzystania zasobnika, $t_z = 2 \text{ h}$.

$$Q_{PC} = \frac{10 \text{ h}}{10 \text{ h} - 2 \text{ h}} \cdot 13,28 \text{ kW} = 16,6 \text{ kW}.$$

Dobrano pompę ciepła firmy VISSMANN VITOCAL 300-G typ 117 [11] (tab. 3.).

Tabela 3. Dane techniczne dobranej pompy ciepła VITOCAL 300-G typu 117 (temperatura solanki 7°C, temperatura wody 54°C)

Table 3. Technical data of the heat pump VITOCAL 300-G type 117 (brine temperature 7°C, water temperature 54°C)

Moc grzewcza	Q_{PC}	18,5 kW
Wydajność chłodnicza	Q_d	13,2 kW
Pobór mocy elektrycznej	P	5,6 kW
Stopień efektywności	ε	3,3

Do pompy ciepła Vitocal 300-G dobrano urządzenie (AC-Box) [11], które umożliwia odwrotną pracę pompy ciepła – tryb chłodzenia. Takie chłodzenie określa się również jako „odwrócony” tryb pracy pompy ciepła. Maksymalna moc modułu zależy od mocy zainstalowanej pompy ciepła; w rozpatrywanym przypadku wynosi ona 13,2 kW.

Zapotrzebowanie na ciepło z gruntu dla okresu zimowego obliczono ze wzoru [11]:

$$Q_d = Q_{PC} \cdot \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \text{ [kW]} \quad (8)$$

$$Q_d = 18,5 \text{ kW} \cdot \frac{3,3 - 1}{3,3} = 12,9 \text{ kW}.$$

Ilość ciepła, jaką należy przekazać do gruntu dla okresu letniego, obliczono na podstawie zmodyfikowanego wzoru (8) [9]:

$$Q_g = Q_{ch} \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \text{ [kW]},$$

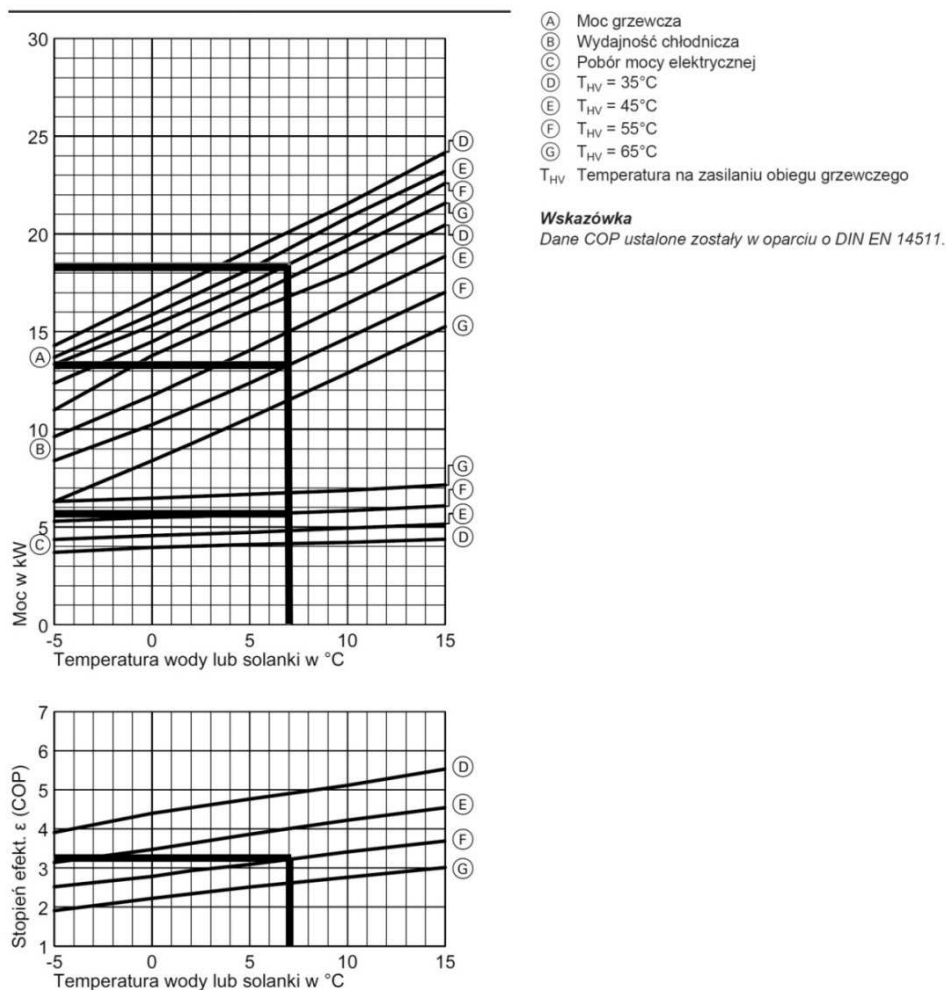
$$Q_g = 8,0 \cdot \frac{3,6}{3,6 - 1} = 11,1 \text{ kW},$$

gdzie: Q_{ch} – moc chłodnicza kurtyny powietrznej, $Q_{ch} = 8,0 \text{ kW}$,

ε – stopień efektywności odczytany z wykresu (rys. 5.) dla $Q_{ch} = 8,0 \text{ kW}$,

$$\varepsilon = 3,6.$$

Typ 117

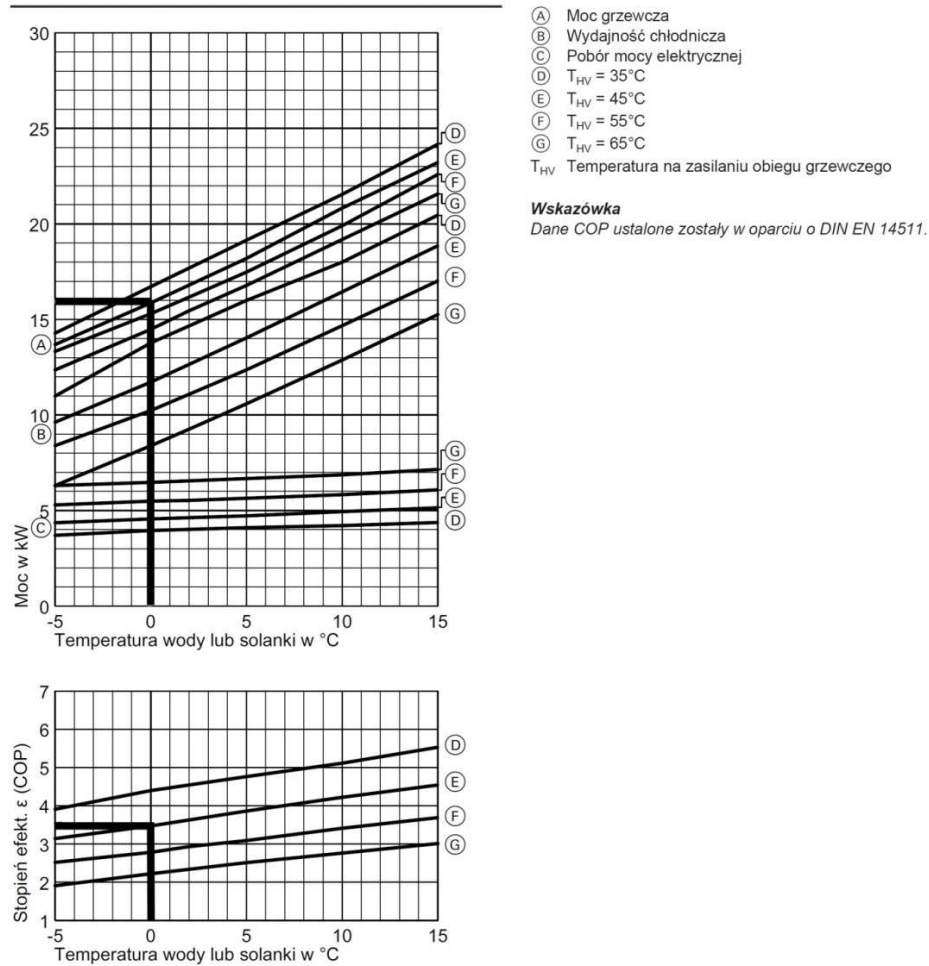


Rys. 7. Wykres wydajności dobranej pompy ciepła BW 117 firmy Viessmann, na podstawie [11] dla okresu zimowego

Fig. 7. Capacity graph of the heat pump Viessmann BW 117, according to [11] for the winter period

Dobór wymiennika gruntowego przeprowadzono zgodnie z zaleceniami producenta pomp ciepła współpracujących z wymiennikami gruntowymi firmy VISSMANN [11]. Wymiennik zaprojektowano jako poziomy z równoległym prowadzeniem rur (rys. 7., 8.).

Typ 117



Rys. 8. Wykres wydajności dobranej pompy ciepła BW 117 firmy Viessmann dla okresu letniego, na podstawie [11]

Fig. 8. Capacity graph of the heat pump Viessmann BW 117 for the summer period, based on [11]

Średnia moc poboru ciepła z gruntu wynosi: $q_e = 35 \text{ W/m}$ (wartość dla gruntu wilgotnego gliniastego). Długość wymiennika gruntowego wyznaczono ze wzoru [12]:

$$L = \frac{Q_d}{q_e} \text{ [m]} \quad (9)$$

$$L = 369 \text{ m.}$$

Przyjmuję długość gruntowego wymiennika ciepła równą $L = 370 \text{ m}$.

7. Wnioski

Pomieszczenia użyteczności publicznej poprzez duży przepływ osób (częste otwieranie drzwi) wymagają zwiększonych kosztów na ogrzewanie w okresie zimowym i chłodzenie w okresie letnim powietrza w pomieszczeniach. W tych przypadkach przez zastosowanie kurtyny powietrznej następuje zmniejszenie strat.

Przy wykorzystaniu metod obliczeniowych opublikowanych w literaturze w przypadku doboru kurtyn powietrznych wyniki obliczeń nie pokrywają się na co, wpływ na mają przede wszystkim różne założenia oraz wykorzystanie różnych wstępnych danych obliczeniowych przy jednakowych warunkach eksploatacji.

Analiza empirycznych metod obliczeniowych doboru pompy ciepła z wykorzystaniem danych katalogowych producentów dla jednakowych warunków eksploatacyjnych wejścia do budynku wykazały różne warianty eksploatacji kurtyn powietrznych w przykładzie obliczeniowym. Przy zbliżonej obliczeniowej mocy cieplnej kurtyny powietrznej otrzymuje się różne temperatury powietrza nawiewanego i różne ilości strumienia powietrza nawiewanego.

W katalogach technicznych kurtyn powietrznych są zawarte informacje dotyczące jedynie wysokich parametrów czynnika grzewczego, co uniemożliwia prawidłową analizę współpracy pompy ciepła i kurtyny powietrznej. Wykorzystanie dla kurtyn powietrznych pompy ciepła pracującej przy racjonalnych parametrach eksploatacyjnych wymaga dopasowania technologicznego i konstrukcyjnego.

Literatura

- [1] Materiały techniczne kurtyn powietrznych firmy Frico, www.argus.jaslo.pl.
- [2] Pełech A.: Wentylacja i klimatyzacja – podstawy. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008.
- [3] Kijanka R., Pisarev V.: System zaopatrzenia w ciepło kurtyny powietrznej z wykorzystaniem pompy ciepła i gruntowego wymiennika ciepła. Prace Kół Naukowych Politechniki Rzeszowskiej w roku akademickim 2007/2008, s. 59-69.
- [4] Sprawocznik projektirwoszczyka. Wentylacja i kondicioniowanie wozducha, cz. II. Strojizdat, 1977.
- [5] PN-76/B-03420: Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego.
- [6] www.sonniger.pl.
- [7] Adamczyk M., Sałaciński B., Pisarev V.: Temperaturowy zakres pracy chłodziarki sprężarkowej. Prace Kół Naukowych Politechniki Rzeszowskiej w roku akademickim 2005/2006, s. 57-67.
- [8] <http://ogrzewanie.drewnozamiastbenzyny.pl>.

- [9] Pisarev V., Nowak K.: Analiza techniczna i ekonomiczna pracy gruntowej pompy ciepła na gruntach różnej wilgotności. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, z. 59, t. II, Rzeszów 2012, s. 589-598.
- [10] Grzegorz W., Stanisław G., Gryciuk M.: Kolektory słoneczne, poradnik wykorzystania energii słonecznej. Warszawa 2001.
- [11] www.viessmann.pl.
- [12] Pompy ciepła. Poradnik projektanta. Viessmann, 2006.

ANALYSIS OF AIR CURTAIN WITH GROUNDHEAT PUMP COOPERATION

Summary

The air curtain is a device which aims to create isolating barrier for air flow between rooms or zones of different temperatures. In large locations such as industrial halls, workshops, warehouses, supermarkets and shopping centers door is left open for extended periods of time. This is due for example to the necessity of loading and unloading of goods at the back of the warehouse, or entering and leaving customers from the shopping center. Open door, often large in size, resulting in a significant loss of heat and disrupt the climate of the interior. If there is a large difference in temperature between the air inside and outside, you may experience problems with drafts and maintaining the right temperature in the room. Curtain creates the airflow shroud that keeps the air inside the room when the door is open. In the winter, the warm air stream blown prevents release of cold air into the room, reducing heat loss and thus the loss of energy. In summer is an excellent barrier to the hot air incoming from outside the room. The air curtain is also difficult to penetrate into the dust, fumes and insects, while for humans it is invisible and does not constitute an obstacle. This paper presents an analysis of cooperating the air curtain and heat pump during the whole year with a comparison of calculation methods published in the literature. Analysis was performed for the example public building (shopping center) during the whole year. The results will be helpful in the selection of the air curtains when choosing and ratings the one of the methods of calculation published in the literature.

Keywords: air curtain, heat pump, ventilation, heat losses

DOI:10.7862/rb.2013.66

Przesłano do redakcji: 08.11.2013 r.

Przyjęto do druku: 13.11.2013 r.

Vyacheslav PISAREV¹
Natalia ZIEMNIAK²

SYSTEM KLIMATYZACJI Z PROMIENNIKAMI STROPOWYMI

Ogrzewanie powietrzne z wykorzystaniem promienników stropowych jest realizowane poprzez wzrost temperatury przegród budowlanych w pomieszczeniu przy jednoczesnym zmniejszeniu temperatury powietrza wewnętrznego. Sytuacja ta nie ma wpływu na samopoczucie przebywających wewnątrz ludzi, gdyż temperatura odczuwalna, wyliczana jako średnia z temperatury powietrza wewnętrznego oraz temperatury powierzchni otoczenia, nie ulega zmianie [1]. Wzrost temperatury przegród pomieszczenia wynika z faktu, że stropowe promienniki płytowe większość swej energii cieplnej (60÷70%) oddają przez promieniowanie ciepłe (za pomocą fal elektromagnetycznych). Promieniowanie ciepłe po dotarciu na powierzchnię danych elementów otoczenia (ludzi, obiektów stałych, tj. maszyny, meble itp.) jest przez nie pochłaniane i wytwarza w nich ciepło. Powolne i ciągłe oddawanie ciepła zapewnia równomierny rozdział energii bez przeciągów i unoszenia się cząstek kurzu. Rozwiązanie to zapewnia obniżenie strat ciepła budynku (poprzez zmniejszenie różnicy między temperaturą wewnętrzną i zewnętrzną) jak i obniżenie energii zużywanej na ogrzewanie. W artykule przedstawiono promienniki stropowe pod względem ogrzewania pomieszczeń. Przeanalizowano sposób działania promienników oraz ukazano główne ich zalety. Przedstawiono także zasady projektowania systemu klimatyzacji z promiennikami stropowymi z ogrzewaniem powietrzem. Ukazano przebieg zmian stanu powietrza klimatyzacyjnego na wykresie $i-x$ powietrza wilgotnego oraz opracowano schemat omawianego systemu. W sposób teoretyczny opracowano wstępną metodę projektowania zmian stanu powietrza klimatyzacyjnego na wykresie $i-x$ powietrza wilgotnego w okresie zimowym dla dwóch pomieszczeń. Pokazano analizę obliczeniową dla opisanego przypadku, po czym, na podstawie otrzymanych wyników sporządzono wykres $i-x$ powietrza wilgotnego oraz dobrano odpowiednie panele chłodząco-grzejne firmy Zehnder, pokrywające zapotrzebowanie zarówno na ciepło (zimą), jak i chłód (latem).

Słowa kluczowe: klimatyzacja, ogrzewanie sufitowe, wykres Moliera ($i-x$)

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Vyacheslav Pisarev, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. (17) 8651946, e-mail: pisarev@prz.edu.pl

² Natalia Ziemniak, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 695388262, e-mail: nataliazziemniak@wp.pl

1. Przykładowe rozwiązanie systemu klimatyzacji

Rozpatrzono zasady teoretyczne i przykład obliczeniowy systemu klimatyzacji z promiennikami stropowymi dla dwóch sal konferencyjnych (rys. 1.). Omawiane pomieszczenia wchodzi w skład ośrodka rekreacyjnego znajdującego się na obrzeżach miasta. W obu salach, o wysokości 4,5 m każda, jest 10 (6 sztuk w pierwszej oraz 4 sztuki w drugiej) podwójnie oszklonych (grubość szkła do 3 mm) okien drewnianych z żaluzjami. Oświetlenie zrealizowano za pomocą lamp fluorescencyjnych w oprawach niewentylowanych. Pierwsza sala konferencyjna może pomieścić 100 osób, a jej łączna powierzchnia wynosi 350 m², druga natomiast mieści 120 osób, a jej powierzchnia to 500 m².



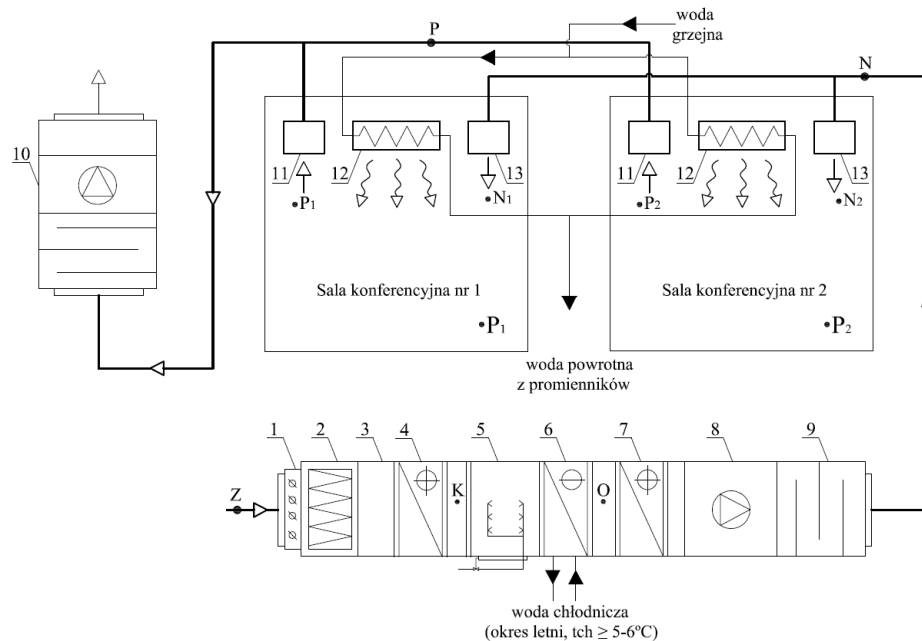
Rys. 1. Rzut budynku

Fig. 1. Building plan

2. Zasady projektowania systemu klimatyzacji w okresie zimowym

Schemat pracy centrali klimatyzacyjnej współpracującej z promiennikami stropowymi przedstawiono na rys. 2. Powietrze zewnętrzne po ogrzaniu na nagrzewnicy wstępnej (4) trafia do komory zraszania (5), gdzie zostaje nawilżone oraz dodatkowo podlega schłodzeniu. Następnie jest kierowane do nagrzewnicy wtórnej (7), po czym ogrzane do wymaganej temperatury nawiewu zostaje doprowadzone do pomieszczenia. W tym samym czasie przegrody oraz obiekty znajdujące się w salach są ogrzewane za pomocą zamontowanych na suficie promienników oddających ciepło do otoczenia przez promieniowanie. Ilość po-

wietrza zewnętrznego ustala się na podstawie względów higienicznych lub kryterium usunięcia wilgoci z pomieszczenia.



Rys. 2. Schemat systemu klimatyzacji z promiennikami sufitowymi

Fig. 2. The schematic diagram of radiant panel ceiling system

Na rysunku 2. zaznaczono: 1 – przepustnicę powietrza zewnętrznego, 2 – filtr powietrza zewnętrznego, 3 – centralę klimatyzacyjną nawiewną, 4 – nagrzewnicę wstępną, 5 – komorę zraszania, 6 – chłodnicę, 7 – nagrzewnicę wtórną, 8 – wentylator nawiewny, 9 – tłumik, 10 – centralę klimatyzacyjną wywiewną, 11 – wywiewnik powietrza, 12 – promiennik sufitowy, 13 – nawiewnik świeżego powietrza. Punkty stanu powietrza na schemacie systemu klimatyzacji Z , K , O , P , N odpowiadają punktom stanu powietrza na wykresach $i-x$ powietrza wilgotnego w okresie zimowym (rys. 3-4.).

Dane wyjściowe (okres zimowy)

- a) parametry powietrza zewnętrznego według normy PN-78/B-03420 [2]:
- temperatura powietrza na termometrze suchym – t_z [°C],
 - wilgotność względna – φ_z [%],
 - entalpia właściwa powietrza – i_z [kJ/kg],
 - zawartość wilgoci – x_z [g/kg],

- b) parametry powietrza wewnętrznego (jednakowe dla pomieszczeń PN-78/B-03421 [3]:
- temperatura powietrza wewnętrznego – t_p [°C],
 - wilgotność względna – φ_p [%],
 - zawartość wilgoci – x_p [g/kg],
- c) parametry technologiczne (określane kolejno dla pomieszczenia nr 1 i 2):
- zyski ciepła całkowitego – Q_{C1}, Q_{C2} [kW],
 - strumień ciepła jawnego – Q_{j1}, Q_{j2} [kW],
 - straty ciepła przez ściany – Q_{str1}, Q_{str2} [kW],
 - zyski wilgoci – W_1, W_2 [g/s],
 - niezbędny strumień objętościowy powietrza zewnętrznego ze względów higienicznych zalecany dla zapewnienia odczucia komfortu i świeżości – V_{z1}, V_{z2} [m³/s],
 - wyznaczona dla okresu letniego ilość powietrza wentylacyjnego – V_1, V_2 [m³/s].

Projektowanie procesów obróbki powietrza rozpoczyna się od naniesienia na wykres i - x powietrza wilgotnego (rys. 3.) punktu opisującego stan powietrza zewnętrznego Z (t_z, φ_z) oraz wewnętrznego P (t_p, φ_p) [4]. Dla pomieszczenia nr 1 przyjmuje się, że punkt P odpowiada punktowi P_1 . Założono parametry powietrza wywiewanego z sali konferencyjnej nr 1 (2) zgodne z punktem P_1 (P_2).

W kolejnym kroku wyznaczono współczynniki kierunkowe przemiany stanu powietrza:

- dla pomieszczenia nr 1

$$\varepsilon_1 = \frac{Q_{C1} - Q_{str1}}{W_1} \text{ [kJ/kg]} \quad (1)$$

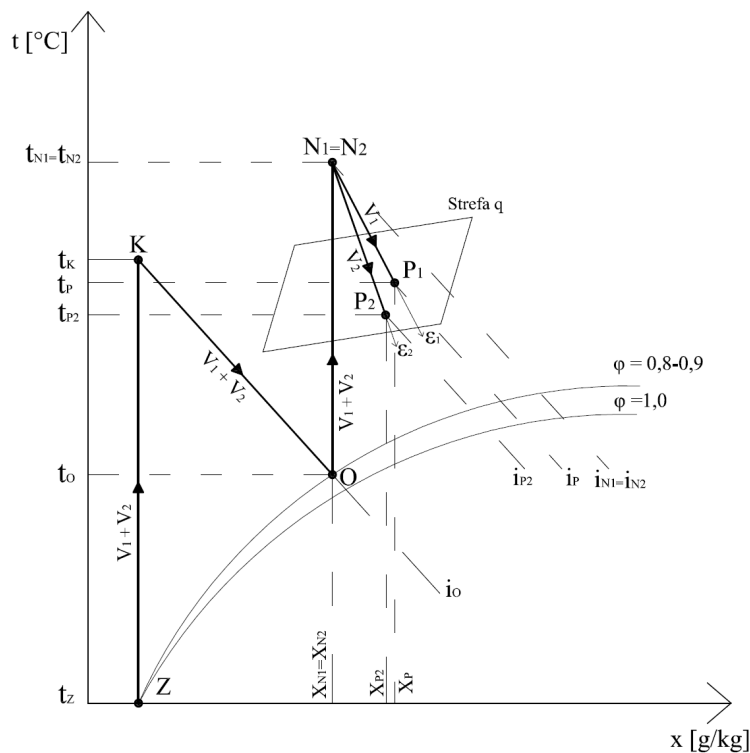
- dla pomieszczenia nr 2

$$\varepsilon_2 = \frac{Q_{C2} - Q_{str2}}{W_2} \text{ [kJ/kg]} \quad (2)$$

Następnie dla pomieszczenia, gdzie występują najmniejsze zyski wilgoci, tj. sala nr 1 ($\varepsilon_1 = \varepsilon_{\max}$), obliczono zawartość wilgoci w powietrzu nawiewanym do pomieszczenia:

$$x_{N1} = x_p - \frac{W_1}{V_1 \cdot \rho} \text{ [g/kg]} \quad (3)$$

gdzie: x_p (x_{P1}) – zawartość wilgoci w punkcie P_1 (P) na wykresie i - x powietrza wilgotnego (rys. 3.) [g/kg],
 ρ – gęstość powietrza [kg/m³].



Rys. 3. Przebieg zmian stanu powietrza na wykresie i - x powietrza wilgotnego w okresie zimowym

Fig. 3. Air conditioning processes on h - x chart for humid air during the winter

Na rysunku 3. zaznaczono następujące procesy: ZK – ogrzewanie powietrza zewnętrznego w nagrzewnicy wstępnej, KO – nawilżanie i chłodzenie powietrza w komorze zraszania, ON_1 (ON_2) – ogrzewanie powietrza zewnętrznego w nagrzewnicy wtórnej, N_1P_1 (N_2P_2) – zmiana stanu powietrza w pomieszczeniu, strefa q – strefa dopuszczalnych parametrów powietrza w pomieszczeniu.

Parametry powietrza nawiewanego (punkt N_1 , rys. 3.) do pomieszczenia nr 1 otrzymuje się na przecięciu współczynnika kierunkowego przemiany stanu powietrza ε_1 (który przeprowadzono przez punkt P_1) z prosta x_{N_1} , przy czym ze względów higienicznych temperatura w punkcie N_1 nie może być wyższa niż 45°C . Punkt O (rys. 3.) opisujący stan powietrza zewnętrznego po komorze zraszania (5, rys. 2.) otrzymuje się na przecięciu linii $x_{N_1} = \text{const}$ z linią $\varphi = 0,80 - 0,90$ [4]. Powstała prosta NO przedstawia proces ogrzewania strumienia zewnętrznego na nagrzewnicy wtórnej (7). Zaznaczamy proces adiabatyckiego nawilżania powietrza w komorze zraszania (proces KO), łącząc punkt O z punktem K , który wyznaczamy w miejscu przecięcia się izentalpy $i_o = \text{const}$

z prostą $x_Z = \text{const}$. Proces ogrzewania powietrza zewnętrznego na nagrzewnicy wstępnej (4) przedstawiono, łącząc punkty Z oraz K .

Zakładając jednakowe parametry powietrza nawiewanego do obu pomieszczeń (punkt $N_1 = N_2$ oraz stałą, wyliczoną dla okresu letniego ilość powietrza wentylacyjnego), wyznacza się rzeczywisty stan powietrza wewnętrznego w pomieszczeniu nr 2 (punkt P_2), który otrzyma się na przecięciu współczynnika kierunkowego przemiany stanu powietrza ε_2 przeprowadzonego przez punkt N_2 z linią $x_{P_2} = \text{const}$, którą można wyznaczyć ze wzoru:

$$x_{P_2} = x_{N_1} + \frac{W_2}{V_2 \cdot \rho} \text{ [g/kg]} \quad (4)$$

Jeżeli punkt ten leży w strefie dopuszczalnych parametrów w systemie klimatyzacji (strefa q , rys. 3.), rozpatrywany system może być realizowany.

W kolejnym kroku wyznacza się moc cieplną nagrzewnicy wstępnej, korzystając ze wzoru:

$$Q_{N1} = (V_1 + V_2) \cdot \rho \cdot (i_O - i_Z) \text{ [kW]} \quad (5)$$

gdzie i_O, i_Z – entalpia właściwa powietrza w punktach O, Z na wykresie $i-x$ powietrza wilgotnego (rys. 3.) [kJ/kg].

Następnie oblicza się moc cieplną nagrzewnicy wtórnej:

$$Q_{N2} = (V_1 + V_2) \cdot \rho \cdot (i_N - i_O) \text{ [kW]} \quad (6)$$

gdzie i_N, i_O – entalpia właściwa powietrza w punktach N, O na wykresie $i-x$ powietrza wilgotnego (rys. 3.) [kJ/kg].

Dalej określa się ilość ciepła doprowadzonego do pomieszczeń wraz ze strumieniem powietrza nawiewanego z centrali klimatyzacyjnej:

- dla pomieszczenia nr 1

$$Q_{Z1} = V_1 \cdot \rho \cdot (i_{N1} - i_{P1}) \text{ [kW]} \quad (7)$$

gdzie i_{P1}, i_{N1} – entalpia właściwa powietrza w punktach P_1, N_1 na wykresie $i-x$ powietrza wilgotnego (rys. 3.) [kJ/kg],

- dla pomieszczenia nr 2

$$Q_{Z2} = V_2 \cdot \rho \cdot (i_{N2} - i_{P2}) \text{ [kW]} \quad (8)$$

gdzie i_{P2}, i_{N2} – entalpia właściwa powietrza w punktach P_2, N_2 na wykresie $i-x$ powietrza wilgotnego (rys. 3.) [kJ/kg].

Z bilansu cieplnego określa się wydajność promienników stropowych Q_P :

$$Q_C + Q_Z + Q_P - Q_{str} = 0 \text{ [kW]} \quad (9)$$

Po przekształceniu otrzymuje on postać:

- dla pomieszczenia nr 1

$$Q_{P1} = Q_{str1} - Q_{C1} - Q_{Z1} \text{ [kW]} \quad (10)$$

- dla pomieszczenia nr 2

$$Q_{P2} = Q_{str2} - Q_{C2} - Q_{Z2} \text{ [kW]} \quad (11)$$

Dobór promienników stropowych jest dokonywany na podstawie danych zestawionych w tabelach (zamieszczonych w katalogach) przedstawiających moce cieplne oraz różnicę temperatury ΔT (jest to różnica pomiędzy temperaturą pokojową (wewnętrzna), a średnią temperaturą (zasilania i powrotu) wody przepływającej przez panele) [1].

3. Przykład obliczeniowy

- a) parametry powietrza zewnętrznego według normy PN-78/B-03420 [2]:
 - temperatura powietrza na termometrze suchym – $t_z = -20^\circ\text{C}$,
 - wilgotność względna – $\varphi_z = 100\%$,
 - entalpia właściwa powietrza – $i_z = -18,4 \text{ kJ/kg}$,
 - zawartość wilgoci – $x_z = 0,8 \text{ g/kg}$,
- b) parametry powietrza wewnętrznego (jednakowe dla pomieszczeń) PN 78/B-03421 [3]:
 - temperatura powietrza wewnętrznego – $t_p = 22^\circ\text{C}$,
 - wilgotność względna – $\varphi_p = 55\%$,
 - zawartość wilgoci – $x_p = 9,0 \text{ g/kg}$,
- c) parametry technologiczne [3] (określone kolejno dla obu pomieszczeń):
 - strumień zyski ciepła całkowitego – $Q_{C1} = 8,75 \text{ kW}$, $Q_{C2} = 10,87 \text{ kW}$,
 - straty ciepła przez ściany – $Q_{str1} = 14,00 \text{ kW}$, $Q_{str2} = 19,46 \text{ kW}$,
 - zyski wilgoci – $W_1 = 1,12 \text{ g/s}$, $W_2 = 1,35 \text{ g/s}$,
 - niezbędny objętościowy powietrza zewnętrznego ze względów higienicznych zalecany dla zapewnienia odczucia komfortu i świeżości – $V_{Z1} = 0,555 \text{ m}^3/\text{s}$, $V_{Z2} = 0,666 \text{ m}^3/\text{s}$,
 - wyznaczona dla okresu letniego ilość powietrza wentylacyjnego – $V_1 = 0,621 \text{ m}^3/\text{s}$, $V_2 = 0,779 \text{ m}^3/\text{s}$,
 - sumaryczna wydajność powietrza zewnętrznego – $\Sigma V_Z = 1,221 \text{ m}^3/\text{s}$.

Projektowanie procesów obróbki powietrza rozpoczęto od naniesienia na wykres i - x powietrza wilgotnego (rys. 4.) punktu opisującego stan powietrza zewnętrznego Z (-20°C , 100%) oraz wewnętrznego P (22°C , 55%) [4].

Wyznaczono współczynniki kierunkowe przemiany stanu powietrza:

- dla pomieszczenia nr 1 ze wzoru (1)

$$\varepsilon_1 = \frac{8,75 \text{ kW} - 14,00 \text{ kW}}{1,12 \text{ kg/s}} \approx -4700 \text{ kJ/kg},$$

- dla pomieszczenia nr 2 ze wzoru (2)

$$\varepsilon_2 = \frac{10,87 \text{ kW} - 19,46 \text{ kW}}{1,35 \text{ kg/s}} \approx -6400 \text{ kJ/kg}.$$

Dla pomieszczenia nr 1 (gdzie $W_1 = 1,12 \text{ g/s} < W_2 = 1,35 \text{ g/s}$ oraz $\varepsilon_1 = -4700 \text{ kJ/kg} > \varepsilon_2 = -6400 \text{ kJ/kg}$) obliczono zawartość wilgoci w powietrzu nawiewanym do sali konferencyjnej z zależności (3), odczytując z rys. 4.: $x_P = 9,0 \text{ g/kg}$, $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$:

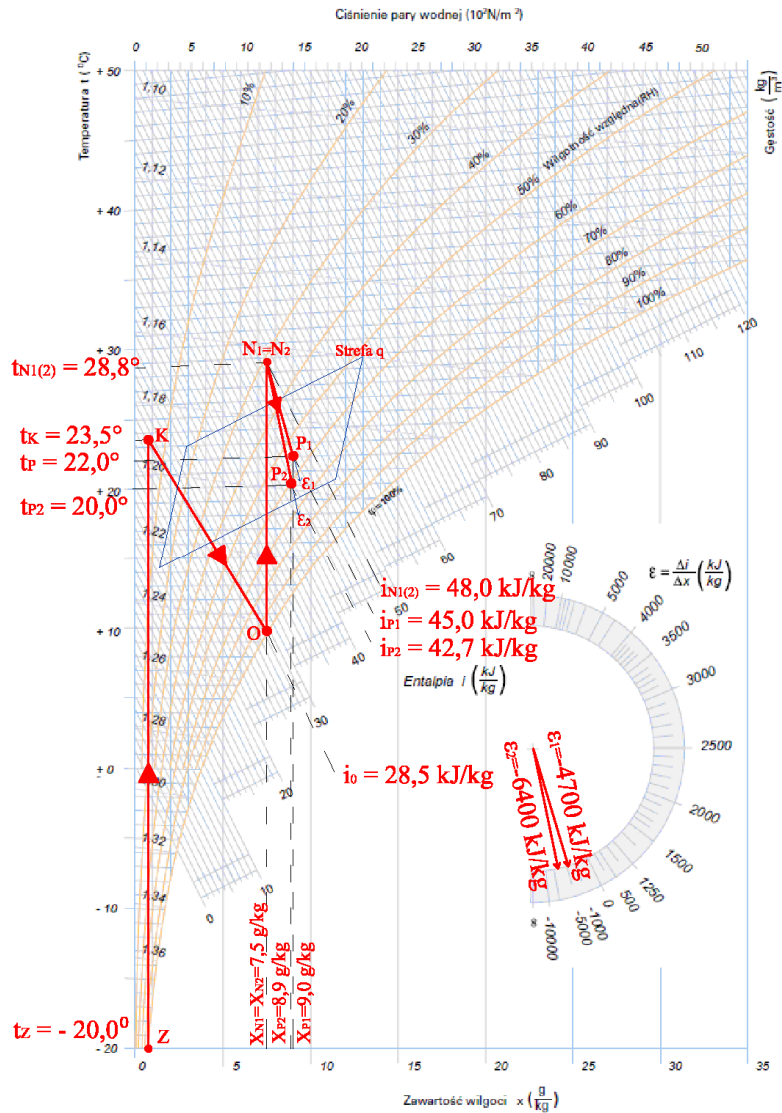
$$x_{N_1} = 9,0 \text{ g/kg} - \frac{1,12 \text{ g/s}}{0,621 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3} = 7,5 \text{ g/kg}.$$

Parametry powietrza nawiewanego (punkt N_1 , rys. 4.) do pomieszczenia nr 1 otrzymano na przecięciu współczynnika kierunkowego przemiany stanu powietrza $\varepsilon_1 = -4700 \text{ kJ/kg}$ (który przeprowadzono przez punkt P_1) z prosta $x_{N_1} = 7,5 \text{ g/kg}$. Ponieważ temperatura $t_{N_1} = 28,8^{\circ}\text{C}$ nie przekracza $45,0^{\circ}\text{C}$, omawiany system klimatyzacyjny może być realizowany dla danego przypadku.

Punkt O opisujący stan powietrza zewnętrznego po komorze zraszania otrzymano na przecięciu linii $x_{N_1} = 7,5 \text{ g/kg}$ z linią $\varphi = 0,90$ [4]. Powstała prosta NO przedstawia proces ogrzewania strumienia zewnętrznego w nagrzewnicy wtórnej. Zaznaczono proces adiabatycznego nawilżania powietrza w komorze zraszania (proces KO), łącząc punkt O z punktem K , który wyznaczono w miejscu przecięcia się izentalpy $i_O = 28,5 \text{ kJ/kg}$ z prostą $x_Z = 0,8 \text{ g/kg}$. Proces ogrzania powietrza zewnętrznego na nagrzewnicy wstępnej przedstawiono, łącząc punkty Z oraz K .

Zakładając takie same parametry powietrza nawiewanego do obu pomieszczeń ($N_1 = N_2$), wyznaczono zawartość wilgoci powietrza wewnętrznego w pomieszczeniu nr 2 z zależności (4):

$$x_{P_2} = 7,5 \text{ g/kg} + \frac{1,35 \text{ g/s}}{0,779 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3} = 8,9 \text{ g/kg}.$$



Rys. 4. Przebieg zmian stanu powietrza na wykresie i - x powietrza wilgotnego dla okresu zimowego

Fig. 4. Air conditioning processes on a Mollier h - x diagram for humid air during the winter

Rzeczywisty stan powietrza wewnętrznego w pomieszczeniu nr 2 (punkt P_2) otrzymano na przecięciu się współczynnika kierunkowego przemiany stanu powietrza $\epsilon_2 = -6400 \text{ kJ/kg}$, przeprowadzonego przez punkt N_2 , z linią $x_{P2} = 8,9 \text{ g/kg}$. Ponieważ punkt ten leży w strefie dopuszczalnych parametrów w systemie klimatyzacji (strefa q , rys. 4.), rozpatrywany system może być realizowany.

W kolejnym kroku wyznaczono moc cieplną nagrzewnicy wstępnej ze wzoru (5), odczytując z rys. 4 $i_o = 28,5$ kJ/kg, $i_z = -18,4$ kJ/kg:

$$Q_{N1} = (0,621 \text{ m}^3/\text{s} + 0,779 \text{ m}^3/\text{s}) \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot (28,5 \text{ kJ/kg} - 18,4 \text{ kJ/kg}) = 78,80 \text{ kW}.$$

Następnie obliczono moc cieplną nagrzewnicy wtórnej z zależności (6), odczytując z rys. 4. $i_N = 48,0$ kJ/kg, $i_o = 28,5$ kJ/kg:

$$Q_{N2} = (0,621 \text{ m}^3/\text{s} + 0,779 \text{ m}^3/\text{s}) \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot (48,0 \text{ kJ/kg} - 28,5 \text{ kJ/kg}) = 32,76 \text{ kW}.$$

Dalej określono ilość ciepła doprowadzonego do pomieszczeń wraz ze strumieniem powietrza nawiewanego z centrali klimatyzacyjnej:

- dla pomieszczenia nr 1 ze wzoru (7), odczytując z rys. 4. $i_{P1} = 45,0$ kJ/kg, $i_{N1} = 48,0$ kJ/kg

$$Q_{Z1} = 0,621 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot (48,0 \text{ kJ/kg} - 45,0 \text{ kJ/kg}) = 2,24 \text{ kW},$$

- dla pomieszczenia nr 2 ze wzoru (8), odczytując z rys. 4. $i_{P2} = 42,7$ kJ/kg, $i_{N2} = 48,0$ kJ/kg

$$Q_{Z2} = 0,779 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot (48,0 \text{ kJ/kg} - 42,7 \text{ kJ/kg}) = 4,95 \text{ kW}.$$

Z bilansu cieplnego określono wydajność promienników stropowych:

- dla pomieszczenia nr 1 z zależności (10)

$$Q_{P1} = 14,00 \text{ kW} - 8,75 \text{ kW} - 2,24 \text{ kW} = 3,01 \text{ kW},$$

- dla pomieszczenia nr 2 z zależności (11)

$$Q_{P2} = 19,46 \text{ kW} - 10,87 \text{ kW} - 4,95 \text{ kW} = 3,64 \text{ kW}.$$

Z katalogu firmy Zehnder [1] dobrano promienniki stropowe ZBN na podstawie różnicy temperatury ΔT (różnica pomiędzy średnią temperaturą wody grzewczej (chłodniczej) a założoną temperaturą powietrza wewnątrz pomieszczenia) i ilości ciepła (chłodu) Q_r do przejścia. Opierając się na obliczeniach dla okresu letniego zaczerpniętych z pracy [4], dla sali konferencyjnej nr 1 dobrano ciąg promienników ZBN 750/5 (szerokość konstrukcji/liczba rur) z izolacją termiczną długości 12,5 m o mocy chłodzącej 69 W/m, przy $\Delta t = 12$ K, natomiast dla sali konferencyjnej nr 2 dobrano promienniki ZBN 450/3 w ciągu długości 25 m o mocy chłodzącej 59 W/m, przy $\Delta t = 12$ K. Dla okresu zimowe-

go, przy $\Delta t = 32$ K, dobrane ciągi promienników posiadają łączną moc grzewczą równą: dla sali nr 1 3012,5 W, dla sali nr 2 – 3646 W.

4. Podsumowanie

Przedstawiono wstępną metodę projektowania zmian stanu powietrza na wykresach $i-x$ powietrza wilgotnego w okresie zimowym dla systemu klimatyzacji z promiennikami stropowymi. Analizę obliczeniową wykonano na podstawie danych wyjściowych zamieszczonych w literaturze [4]. Dla otrzymanych wyników dobrano stropowe promienniki sufitowe firmy Zehnder.

Literatura

- [1] Katalog firmy Zehnder: Zehnder ZBN sufitowe promienniki zasilane wodą do ogrzewania i schładzania pomieszczeń. Dokumentacja projektowa, Wrocław 2010.
- [2] PN-76/B-03420: Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego.
- [3] PN-78/B-03421: Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi.
- [4] Pisarev V.: Wentylacja i klimatyzacja z wykorzystaniem belek i sufitów chłodzących. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2010.

AIR CONDITIONING SYSTEM DESIGN WITH RADIANT CEILING PANELS

Summary

This paper presents the radiant ceiling in terms of heating. The emission of the radiation is achieved by having heated water flow through the tubes. They emit a large proportion of their heat by radiation what provides to increase the surface temperatures of the room, the air temperature is normally reduced by 3 K and still achieves comfortable internal temperature conditions. Radiant ceiling panels create healthy warmth without air movement and consequently without raising dust. The paper presents the principles of designing an air conditioning system with radiant ceiling heating air. Shown the state changes of air conditioning in the chart $h-x$ of humid air and the developed scheme of the system. In a theoretical way, developed a preliminary design method of changes the state of the air conditioning in the chart $h-x$ humid air in the winter for two rooms. Presented computational analysis of this case. Then on the basis of the results, plotted chart $h-x$ of humid air and selected opportunely Zehnder's heating and cooling panels which overlapping demand for both heat (in winter) and the cold (in summer).

Keywords: air condition, ceiling heating, Mollier ($h-x$) diagram

DOI:10.7862/rb.2013.67

Przesłano do redakcji: 03.07.2013 r.

Przyjęto do druku: 13.11.2013 r.

Janusz R. RAK¹

WYBRANE UWARUNKOWANIA SKUTECZNEGO DZIAŁANIA OPERATORÓW SYSTEMÓW KOMUNALNYCH

Systemy komunalne zaopatrzenia w wodę, gaz ziemny i ciepło przynależą do infrastruktury krytycznej aglomeracji miejskich. Wiąże się to z niezawodnością i bezpieczeństwem ich funkcjonowania. Operatorzy tych systemów są narażeni na różnego rodzaju ryzyko. Sytuacjom kryzysowym towarzyszy deficyt czasu podczas wykonywania operacji decyzyjnych oraz zwiększenie jakości i liczby ich wykorzystania. W związku z tym dużą wagę przykładają się do ergonomiczno-organizacyjnych uwarunkowań działania tych systemów. Scharakteryzowano następujące warunki środowiska pracy: hałas, oświetlenie, promieniowanie, drgania i mikroklimat. Eliminacji błędów decyzyjnych operatora sprzyjają automatyzacja procesów i techniki informatyczne. Strukturalna hierarchia działania wyróżnia trzy poziomy: strategii, procedury i techniki. Przechodzenie od techniki do strategii jest związane z wnioskowaniem indukcyjnym, przechodzenie od strategii do techniki zaś z wnioskowaniem dedukcyjnym. W pracy przeanalizowano również czynniki mające wpływ na skuteczność podejmowanych decyzji. Odniesiono się także do percepcji podejmowania ryzyka przez operatora. Towarzyszy temu stresogenność decyzji operatorskich typu strategicznego, od których zależy bezpieczeństwo ludzi w stopniu bez porównania większym niż podejmowanie decyzji o charakterze rutynowym. Stworzenie operatorowi dogodnych warunków pracy stanowi podstawowy warunek uzyskania wymaganej skuteczności działania całego systemu. Do oceny jakości funkcjonowania operatora można wykorzystywać metody symulacyjne i analityczne.

Słowa kluczowe: systemy komunalne, człowiek, technika, środowisko

1. Wprowadzenie

Systemy komunalne zaopatrzenia w wodę, ciepło i gaz ziemny przynależą do infrastruktury krytycznej aglomeracji miejskich [1, 2]. Operatorzy nimi kierujący muszą przykładać szczególną uwagę do niezawodności i bezpieczeństwa ich funkcjonowania.

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Janusz R. Rak, Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. (17) 8651449, e-mail: rakjan@prz.edu.pl

Wielkościami charakteryzującymi jakość procesów decyzyjnych, od których zależy ich skuteczność, są:

- czas wykonywania,
- jakość wykonywania.

W sytuacjach kryzysowych obowiązuje zasada, zgodnie z którą istnieje potrzeba skracania czasu wykonywania operacji decyzyjnych oraz zwiększania jakości ich wykorzystania. We współczesnych systemach technicznych infrastruktury krytycznej podstawowym realizatorem procesów decyzyjnych jest człowiek – operator systemu [3, 4]. Jego wszelkie możliwości są skończone i zarazem ograniczone w zakresie odbioru i przetwarzania informacji. Obecnie pojawiła się możliwość komputerowego wspomaganie operacji podejmowania decyzji.

Jednakże, pomimo systematycznego wzrostu poziomu i zakresu komputerowego wspomaganie procesu decyzyjnego, ostateczną decyzję o sposobie realizacji działań podejmuje operator [1, 5]. Pożądanym trendem podnoszenia efektywności podejmowania decyzji wydaje się być automatyzacja tych procesów, ale jeszcze długo nie będzie to proces pełny [6, 7]. Obecny stan nauki i techniki niewątpliwie zmienia rolę człowieka w procesie decyzyjnym, ale jeszcze nie umożliwia jego wyeliminowania. Rozwój informatyki zmniejsza obciążenia operatora związane np. z obliczeniami, a tym samym zmienia jego rolę i predyspozycje w procesie decyzyjnym.

Dużą wagę przykłada się do ergonomiczno-organizacyjnych uwarunkowań działania operatorów [2, 8]. Prowadzi to do ponownego przeglądu metod i wymagań związanych ze środowiskiem materialnym i warunków pracy operatora [2, 4].

Celem pracy jest analiza wybranych czynników skutecznego działania osób na stanowiskach kierowniczych – operatorów systemów komunalnych przynależnych do infrastruktury krytycznej miast, takich jak zaopatrzenie w wodę, ciepło i gaz ziemny.

2. Warunki środowiska pracy

Hałas na stanowisku pracy operatora

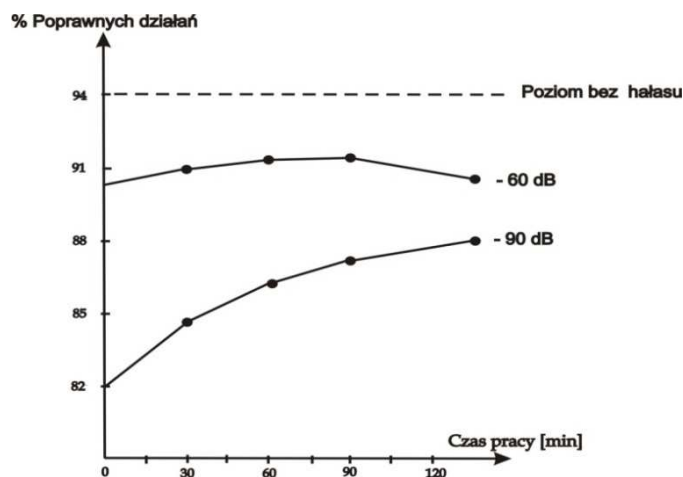
Operator na stanowisku pracy jest narażony na hałas, którego źródłem jest np. praca urządzeń klimatyzacyjnych, wentylacja urządzeń, praca drukarek, rozmowa przez telefon. Miarą głośności dźwięku jest poziom natężenia hałasu wyznaczany z zależności:

$$L = 10 \lg \frac{p^2}{p_o^2} \text{ [dB]} \quad (1)$$

gdzie: p – wartość ciśnienia akustycznego [Pa],

p_o – progowa wartość ciśnienia akustycznego równa 20 μPa .

Na rysunku 1. pokazano wpływ czasu pracy na koncentrację uwagi operatora przy natężeniu hałasu 60 i 90 dB.



Rys. 1. Wpływ hałasu na koncentrację uwagi operatora

Fig. 1. Noise influence on the concentration of the operator's attention

Badania wskazały, że ze względów zdrowotnych poziom hałasu w ciągu 8-godzinnego dnia pracy nie powinien przekraczać 85 dB. Ze względu na rodzaj i charakter pracy operatora natężenie hałasu w pomieszczeniu jego pracy nie powinno przekraczać 55 dB, a zalecany poziom to 40 dB [9].

Oświetlenie na stanowisku pracy operatora

Oświetlenie może być naturalne (dienne) i sztuczne. Natężenie oświetlenia przy pracach średniotrudnych i średniodługotrwałych wykonywanych przez operatora powinno wynosić 300÷500 lx. Jeżeli praca jest zaliczana do trudnych i długotrwałych, to oświetlenie powinno spełniać warunek 500÷1000 lx [10].

Równomierność oświetlenia uzyskuje się poprzez światło rozproszone. Oświetlenie takie pozwala na uniknięcie powstawania cieni. Uniknięcie olśnienia jest związane z usytuowaniem źródła światła – czym wyżej linii oczu, tym korzystniej.

Mikroklimat na stanowisku pracy operatora

Na mikroklimat ma wpływ wilgotność, temperatura i skład powietrza. Wilgotność względna powietrza powinna wynosić 40÷60%. Klimatyzacja i centralne ogrzewanie powodują wysuszenie powietrza, co wpływa niekorzystnie na drogi oddechowe człowieka. Prędkość ruchu powietrza w pomieszczeniach

z komputerowymi stanowiskami pracy nie powinna przekraczać $0,1\pm 0,15$ m/s. Zachowanie komfortu cieplnego w pomieszczeniach zimą wymaga temperatury $20\pm 24^{\circ}\text{C}$, a latem $22\pm 25^{\circ}\text{C}$.

Promieniowanie

Oddziaływanie promieniowania elektromagnetycznego na operatora zależy od natężenia promieniowania i czasu jego trwania. Przebywanie operatora w polu elektromagnetycznym powoduje dolegliwości zdrowotne w postaci: bólu głowy, rozdrażnienia, bezsenności i ogólnego przemęczenia oraz zmiany w pracy soczewek oczu.

Drgania (wibracje) na stanowisku pracy operatora

Drgania są ważnym czynnikiem środowiskowym, ponieważ wpływają na realizację zadań przez operatora. Źródłem drgań mogą być np. silniki, wentylatory, które pracują w pomieszczeniu pracy operatora lub poza nim. Najbardziej niekorzystne oddziaływanie zdrowotne mają już wibracje o niewielkiej amplitudzie i częstotliwości rzędu $4\div 8$ Hz. W tym przedziale znajdują się częstotliwości rezonansowe takich części ciała, jak głowa i tors. Objawem negatywnych skutków drgań jest rozdrażnienie, zmęczenie, senność i zaburzenia psychomotoryczne.

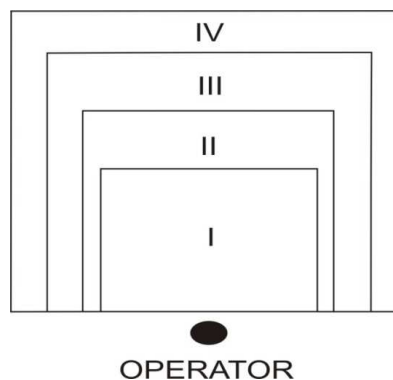
Miejsce pracy operatora

Miejsce pracy powinno zapewnić operatorowi odpowiedni odbiór informacji napływających z zewnątrz (z systemu), a także ich odpowiednie wprowadzenie. Podstawową zasadą stanowiska pracy operatora jest ograniczenie do minimum ruchów głową i w niewielkim stopniu oczu. Wymagania te spełnia pulpit o szerokości 110 cm i głębokości 105 cm.

Wyróżnia się cztery obszary rozmieszczenia urządzeń do wprowadzania i odbioru informacji przez siedzącego operatora. Obszary te są symetryczne i wzajemnie się na siebie nakładają (na czwarty – trzeci, na trzeci – drugi i na drugi – pierwszy):

- obszar I o wymiarach 60×50 cm,
- obszar II o wymiarach 70×70 cm,
- obszar III o wymiarach 90×90 cm,
- obszar IV o wymiarach 110×105 cm.

W obszarze I umieszcza się podstawowe, najczęściej używane urządzenia, w obszarze II – urządzenia alarmowe i drugorzędne urządzenia do odbioru i wprowadzania informacji. W obszarze III umieszcza się pozostałe drugorzędne urządzenia, a obszar IV wyznacza maksymalne rozmieszczenia urządzeń pracy operatora. Na rysunku 2. pokazano obszary związane z manualną pracą operatora na stanowisku dowodzenia.



Rys. 2. Obszary pracy operatora
Fig. 2. Areas of the work operator

3. Wybrane czynniki jakości pracy operatora

Konsekwentne wdrażanie osiągnięć ergonomii w projektowaniu maszyn i urządzeń oraz stanowisk pracy przynosi konkretne efekty. Im cechy techniki są bardziej przystosowane do przeciętnych możliwości człowieka, tym większa jest liczba osób mogących sprostać wymaganiom obsługi maszyn i urządzeń. Ważnym czynnikiem pracy operatora jest czas jego reakcji na oddziałujące bodźce. W tabeli 1. przedstawiono stosowne oszacowania liczbowe [9].

Tabela 1. Czas reakcji operatora na różne rodzaje bodźców

Table 1. The operator response time for different types of stimuli

Rodzaj bodźca	Czas reakcji [s]
Ciepło i chłód	0,28÷1,60
Dźwięk	0,12÷0,18
Światło	0,15÷0,22
Ból	0,13÷0,89
Dotyk	0,09÷0,22
Smak słony	0,31
Smak słodki	0,45
Smak kwaśny	0,54
Smak gorzki	1,08

Wrażenia słuchowe, smakowe i węchowe są odbierane niezależnie od woli człowieka, a pozostałe zależą w znacznym stopniu od jego woli. Zakres pracy operatora jest zależny w znacznym stopniu od właściwego usytuowania urządzeń informacyjnych (UI) i urządzeń sterujących (US) [11].

Wzajemne powiązania przedstawiają się następująco:

- UI i US, których użycie ma decydujący wpływ na wykonanie zadania, powinny znajdować się w miejscu najbardziej dogodnym do obserwacji i obsługi,
- UI i US spełniające jednakowe funkcje należy lokalizować blisko siebie.

Częściej używane UI i US powinny być rozmieszczone w polu centralnym, a rzadziej używane – w polach bocznych.

Wyróżnia się trzy podstawowe zachowania operatora i skorelowane z nimi błędy:

- zachowania oparte na zachowaniach rutynowych – błędy mają charakter sensomotoryczny,
- zachowania oparte na zachowaniach w dobrze znanych sytuacjach – błędy polegają na stosowaniu zasad nieadekwatnych do zaistniałych sytuacji,
- zachowania oparte na posiadanej wiedzy i wiążące się z wyselekcjonowaniem sposobów działania adekwatnych do sytuacji – błędy w tym przypadku polegają na błędnej analizie sytuacji, co skutkuje przyjęciem błędnych sposobów działania.

W ramach strukturalnej hierarchii działania wyróżnia się trzy poziomy:

- strategii,
- procedury,
- techniki.

Przechodzenie z danego poziomu do innego jest związane z wnioskowaniem [12]. Przechodzenie między poziomami od techniki, poprzez procedury, do strategii jest związane z algorytmami wnioskowania indukcyjnego, natomiast przemieszczanie się w dół hierarchii – z algorytmami wnioskowania dedukcyjnego. Działania operatora niejednokrotnie odbywają się w sytuacjach szczególnych (nietypowych), zwanych ekstremalnymi [13]. Podział w tym zakresie przedstawia się następująco:

- krótkotrwałe sytuacje ekstremalne – znaczące zagrożenie przy deficycie czasu i związany z tym „wybór mniejszego zła”,
- długotrwałe sytuacje ekstremalne – związane z długotrwałymi zagrożeniami i trudnymi warunkami, np. fizycznymi lub emocjonalnymi pracy operatora,
- ekstremalne nowości połączone z deficytem czasu – operator w zupełnie nieznanym mu nowym warunkach musi podjąć jednoznaczną decyzję przy limicie czasowym,
- krytyczne sytuacje ekstremalne – w skrajnie złożonej trudnej i niebezpiecznej sytuacji operator podejmuje decyzję, której efektem jest alternatywa „sukces” albo „porażka”.

Możliwości popelnienia błędu przez operatora wymuszają odpowiedzi na pytania:

1. Jakie są przyczyny?

2. Jak opisać warunki, w których popełniono błąd?

3. Jak zapobiegać błędnym decyzjom?

Z działalnością operatorską są związane różne wywody dotyczące błędu, a mianowicie: błąd jest działaniem odbiegającym w jakikolwiek sposób od działania prawidłowego wyznaczonego przez obowiązujące zasady i reguły wymogów bezpieczeństwa i innych względów tzw. „zdrowego rozsądku”. Przyczyny błędów wynikają z:

- ograniczeń wydolności mózgu człowieka,
- ograniczeń w przetwarzaniu informacji.

W pierwszym przypadku wynika to z losowych oscylacji neuronów w sieciach neuronowych, w drugim – z ograniczeń pamięci krótkotrwałej. Nie bez znaczenia są nabyte zbyt sztywne stereotypy, które uruchamiają się w warunkach niedoboru czasu lub nacisku. Podejście to preferuje procedury treningowe, które zapobiegają powstawaniu sztywnych stereotypów.

Operator złożonego układu podejmuje wiele decyzji ryzykownych. Każdą sytuację decyzyjną można opisać poprzez następujące charakterystyki:

- niepewność,
- ryzykowność,
- probabilizm,
- stresogenność.

Skuteczność wyniku podjętej decyzji ogólnie zależy od dwóch czynników:

- obiektywnego stanu rzeczy, na którego wystąpienie operator zasadniczo nie ma wpływu,
- wybranej przez operatora alternatywy działania.

Z takiego punktu widzenia błędy polegają na:

- operowaniu zbyt uproszczoną funkcją użyteczności (pominięcie ważnego czynnika w ocenie użyteczności),
- nieumiejętności analizy zależności pomiędzy alternatywami działań a stanami rzeczy.

Błędy związane z przetwarzaniem informacji można podzielić na dwie kategorie:

- wynikające z tendencji do konserwatyzmu w pierwszych etapach procesu poznawczego (niedocenie sygnałów),
- wynikające z tendencji do radykalizmu w końcowych etapach procesu poznawczego (przecenianie sygnałów niosących informację).

Osobną grupę stanowią błędy związane ze stresogennością sytuacji decyzyjnej. Stresogenność decyzji operatorskich typu strategicznego, od których zależy bezpieczeństwo lub życie wielu ludzi, jest bez porównania większa niż podejmowanie decyzji w sytuacjach dnia codziennego o charakterze rutynowym [14].

Ważnym czynnikiem stresogennym podejmowania decyzji jest ryzyko wystąpienia zdarzenia niepożądanego. Wyniki różnych badań nad percepcją ryzyka wskazują na następujące najważniejsze czynniki:

- katastroficzność i chroniczność szkód – zdarzeniom katastroficznym przypisuje się większe ryzyko niż chronicznym zdarzeniom niepożądanym (katastrofie lotniczej przypisuje się większe ryzyko niż wypadkowi samochodowemu); dane statystyczne pokazują, że w ciągu roku ginie więcej ludzi w wypadkach samochodowych niż w wypadkach lotniczych,
- bezpośredniość i opóźnienie konsekwencji – zarówno szkody, jak i szanse (korzyści) mogą pojawić się natychmiast lub być odroczone w czasie; człowiek preferuje natychmiastową lub krótkoterminową szansę, a w przypadku szkody odroczone w czasie ich pojawienie się,
- dobrowolność narażania się na ryzyko – człowiek ma poczucie osobistego wpływu na bieg wydarzeń i w związku z tym jest w stanie zaakceptować ryzyko nawet 100 razy większe niż w sytuacji narzuconych zadań,
- poziom wzbudzonego lęku – osoby o podwyższonym poziomie lęku oceniają znacznie wyżej ryzyko zagrożeń niż osoby o niskim poziomie lęku.

4. Podsumowanie

Operatorzy systemów komunalnych mają do czynienia z różnego rodzaju ryzykiem związanym ze zdarzeniami niepożądanymi, takimi jak: incydent, anomalia, wypadek, awaria, poważna awaria, a nawet katastrofa [4, 5, 13].

W miarę wzrostu poziomu i zakresu technik informatycznych i automatyzacji w funkcjonowaniu systemów technicznych od operatora w coraz większym stopniu wymaga się nie tylko znajomości mechanizmów procesów eksploatacyjnych, ale także znajomości i umiejętności sprawnej obsługi wspomagających go środków teleinformatycznych. Środki te to komputery wyposażone w urządzenia zewnętrzne umożliwiające operatorowi pozyskiwanie informacji do wykonania obligujących go zadań oraz przekazywanie decyzji do wykonania. Wymagane jest permanentne doskonalenie umiejętności w tym zakresie.

Stworzenie operatorowi dogodnych warunków pracy stanowi podstawowy warunek uzyskania wymaganej skuteczności działania całego systemu. Skuteczność działania operatora systemu można także oceniać przez pryzmat jakości realizowanych zadań przez system jako całość.

Przedmiotem ergonomii jest badanie relacji pomiędzy człowiekiem a techniką celem doskonalenia przystosowania techniki do właściwości człowieka. Niezawodność pracy operatora określa się jako zdolność do wykonywania powierzonych mu zadań z minimalnym ryzykiem popełnienia błędu w określonych warunkach jego pracy i w zadanym przedziale czasowym. Z przytoczonej definicji wynika, że należy brać wówczas pod uwagę środowisko pracy operatora.

Jedną z aktywności operatora są czynności związane z funkcją kierowniczą. Wyróżnia się czynności eksploatacyjne i twórcze. Pierwsze oznaczają, że należy dążyć do perfekcji działania, drugie zaś stwarzają możliwości kreowania no-

wych oryginalnych rozwiązań, szczególnie dotyczących sytuacji ekstremalnych (np. katastrofy, ataki terrorystyczne).

Aktywność operatora jest związana z doświadczeniem wykonawczym i czynnościami kontrolnymi. Skorelowane jest to z myśleniem obrazowo-abstrakcyjnym. W sytuacjach zagrożeń operatorowi towarzyszy „stres czasowy” i konieczność „filtrowania” różnorodnych informacji. Operator na pojawienie się zagrożeń powinien być przygotowany, a przede wszystkim być ich świadomy. Do oceny jakości funkcjonowania operatora można wykorzystywać metody symulacyjne i analityczne.

Literatura

- [1] Iwanejko R., Lubowiecka T.: Analiza ryzyka jako narzędzie planistyczno-decyzyjne w wodociągach. Mat. konf. VI Międzynarodowej, XVIII Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydaw. PZITS O/Wielkopolski, Poznań 2004, s. 547-558.
- [2] Rak J.: Ryzyko w funkcjonowaniu operatora SZW – analiza ergonomiczna. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 6, 2003, s. 211-214.
- [3] Wieczysty A., Lubowiecka T., Iwanejko R.: Człowiek – dyspozytor systemu jako element wpływający na jego bezpieczeństwo. Bezpieczeństwo i niezawodność działania systemów gazowych, wodociągowych, kanalizacyjnych i centralnego ogrzewania. Konferencja Naukowo-Techniczna. PZITS O/Kraków, Zakopane 1997, s. 7-22.
- [4] Wieczysty A., Lubowiecka T., Iwanejko R.: Niezawodność człowieka w biotechnicznym systemie zaopatrzenia w wodę. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”. PZITS O/Poznań, Poznań 1998, s. 9-22.
- [5] Iwanejko R., Lubowiecka T.: Ryzyko w podejmowaniu decyzji w systemach zaopatrzenia w wodę. Mat. konf. XVII Krajowej Konferencji „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydaw. PZITS O/Wielkopolski, Gdańsk, Poznań 2002, s. 1043-1054.
- [6] Iwanejko R., Lubowiecka T.: Ryzyko produkcyjne, jako element wspomagający podejmowanie decyzji. Mat. konf. „Strategie zarządzania ryzykiem w przedsiębiorstwie”. Bydgoszcz 2004, s. 321-330.
- [7] Iwanejko R., Bajera J., Lubowiecka T.: Uaktualnienie decyzji w systemie zaopatrzenia w wodę na podstawie dodatkowych informacji. Mat. konf. IV Ogólnopolskiej Konferencji Naukowo-Technicznej „Postęp w inżynierii środowiska”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2006, s. 63-74.
- [8] Tytyk E.: Ergonomia w projektowaniu stanowisk pracy. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1996.
- [9] Kołodziński E.: Komputerowe wspomaganie procesów informacyjno-decyzyjnych ratownictwa. Mat. konf. „Zarządzanie kryzysowe – Ratownictwo w sytuacjach kryzysowych”. Wydaw. Akademii Morskiej w Szczecinie, Szczecin 2004, s. 165-175.
- [10] PN-E-02033: Oświetlenie wnętrz światłem elektrycznym.
- [11] Donigiewicz A.: Modelowanie interakcji człowiek-komputer. Problemy oceny jakości i niezawodności. Wydaw. IAI, Warszawa 2002.

- [12] Rak J., Boryczko K.: Sposób oceny niezawodności operatora SZW metodą drzewa zdarzeń z możliwością poprawy popełnionego błędu. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, nr 9, 2009, s. 47-49.
- [13] Rak J., Boryczko K.: Odporność systemu zaopatrzenia w wodę na współczesne zagrożenia terrorystyczne. *Mat. XXXVII Zimowej Szkoły Niezawodnościowej*. Wydaw. Politechniki Warszawskiej, Szczyrk 2009.
- [14] Rak J.: Rozważania na temat błędów pierwszego i drugiego rodzaju w aspekcie zaopatrzenia w wodę. *Instal*, nr 6, 2009, s. 45-49.

SELECTED CONDITIONS OF EFFECTIVE ACTION OF MUNICIPAL SYSTEM OPERATORS

Summary

Municipal systems of water supply, natural gas and heat belong to critical infrastructure of the urban areas. This is due to the reliability and safety of their operations. The operators of these systems are exposed to various risks. Crisis is accompanied by deficit of time during execution of the decision-making and increase the quality and quantity of their use. Therefore, great importance is attached to the ergonomic – organizational conditions of operation of these systems. The following environmental conditions: noise, light, radiation, vibration and microclimate were characterized. Elimination of operator errors is caused by process automation and information technology. Structural hierarchy defines three levels of action: strategies, procedures and techniques. The transition from technology to strategy is related to inductive inference. The transition from strategy to technology is accompanied by deductive reasoning. The paper analyzes the factors that influence the effectiveness of the decision. Reference was made also to the perception of risk taking by the operator. Stress ability is accompanied by a strategic decision operator, on which depends the safety of people in vastly greater extent than to decide in routine. The creation of favorable conditions for the operator to work is a prerequisite for obtaining the required performance of the whole system. To assess the quality of the operator simulation methods and analytical can be used.

Keywords: municipal systems, man, technology, environment

DOI:10.7862/rb.2013.68

Przesłano do redakcji: 06.05.2013 r.

Przyjęto do druku: 13.11.2013 r.

CZASOPISMO INŻYNIERII LĄDOWEJ, ŚRODOWISKA I ARCHITEKTURY JCEEA – 2013

Recenzenci współpracujący

ANIELAK Anna	MAJEWSKA-NOWAK Katarzyna
BAJOREK Grzegorz	MASŁAK Mariusz
BARTOSZEK Lilianna	MAKINIA Jacek
BIEGUS Antoni	MENDERA Zbigniew
BIEŃ January	MIKSCH Korneliusz
BRÓDA Jan	NALEWAJ Krzysztof
BURCZYŃSKI Tadeusz	NAUMCZYK Jeremi
CHACUK Andrzej	NIEMIEC Witold
COUFAL Ryszard	NOCUŃ-WCZELIK Wiesława
DUNALSKA Julita	OBARSKA-PEMPKOWIAK Hanna
FILIN Sergiy	OBREŃBSKI Jan
GIŻEJOWSKI Marian	OLAŃCZUK-NEYMAN Krystyna
GOSOWSKI Bronisław	PAŁKOWSKI Szymon
GÓRSKI Jan	PIEKARCZYK Marek
GROMIEC Marek	PISAREV Vyacheslav
GRUCA-ROKOSZ Renata	REICHHART Adam
GWÓZDŹ Marian	ROSIŃSKI Marian
HOLAŁA Eugeniusz	RYKALUK Kazimierz
JANKOWIAK Roman	SAWICKI Jerzy M.
JANOSZ Marta	SŁYŚ Daniel
JARZYNA Wojciech	SURMACZ-GÓRSKA Joanna
KADŁUCZKA Andrzej	SZLENDAK Jerzy
KALETA Jadwiga	SZUMIGAŁA Maciej
KISIEL Adam J.	TKACZUK Konstancin (Ukraina)
KNAPIK Krzysztof	URBAŃSKA-GALEWSKA Elżbieta
KOSZELNIK Piotr	WERNO Maciej
KOWALCZYK Ryszard	WIATKOWSKI Mirosław
KOWALSKI Dariusz	WILDE Krzysztof
KOZŁOWSKI Aleksander	WIŚNIEWSKI Ryszard
KOŹNIEWSKI Edwin	WNUK Zygmunt
KRASZEWSKI Andrzej	WOJDYGA Krzysztof
KRÓLIKOWSKA Jadwiga	WUWER Walter
KRUPA Jan	ZAMORSKA Justyna
KRZEMIENIEWSKI Mirosław	ZAPOROZHETS Aleksandr (Ukraina)
KUCHARCZUK Witold	ZAWADA Bernard
KUKUŁA Krzysztof	ZIMOCH Izabela
KULIG Andrzej	ZIÓŁKO Jerzy
KUŚNIERZ Kazimierz	ZWOŹDZIAK Jerzy
KWAŚNIEWSKI Lesław	ŻMUDA Jan
LORENC Wojciech	ŻÓŁTOWSKI Wojciech
LEVCENKO Oleg (Ukraina)	

Afiliacja recenzentów (poza danymi podanymi w nawiasach): Polska

Lista recenzentów została opublikowana w czwartym numerze
Czasopisma Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, z. 60(4/13).

Informacje dodatkowe

1. Lista recenzentów współpracujących została opublikowana w czwartym numerze *Czasopisma Inżynierii Ładowej, Środowiska i Architektury*: 60(4/13) oraz zamieszczona 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-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-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%2C%20Instrukcja+dla+autorow%22)
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/