

# INSTAL

(431)

7/8

2021

MIESIĘCZNIK

CENA 30 ZŁ + 8% VAT ISSN 1640-8160



Numerus Primus  
inter Pares 2016



więcej na str. 14

## W NUMERZE:

PRZYCZYNY AWARII KANAŁOWYCH SIECI  
CIEPŁOWNICZYCH

SYSTEMY KOMPLEKSOWEJ OCENY  
BUDYNKÓW

STEROWANIE SYSTEMAMI HVAC  
W POMIESZCZENIACH CZYSTYCH

WENTYLACJA POŻAROWA GARAŻY  
W ŚWIELE POŻARÓW POJAZDÓW  
ELEKTRYCZNYCH

USUWANIE FARMACEUTYKÓW ZE ŚCIEKÓW  
METODĄ OZONOWANIA

METODY MATRYCOWE W ANALIZIE RYZYKA  
UJĘĆ WODY

CZAS PRACY BEZUSZKODZENIOWEJ  
SIECI WODOCIĄGOWEJ JAKO ELEMENT  
FUNKCJONOWANIA SZWW

METODA DIAGNOSTYCZNA DLA SIECI  
WODOCIĄGOWEJ

**Do 50%**  
obniżka wakacyjna  
cen książek  
więcej na str. III

RUBRYKI STAŁE:

ROZMOWY INSTAL-u  
TAM BYLIŚMY  
WIADOMOŚCI  
ODESZLI OD NAS

Autorzy z tytułu publikacji w Instal-u  
**otrzymują 20 pkt.**

wg wykazu czasopism i recenzowanych  
materiałów z konferencji międzynarodowych  
Ministerstwa Edukacji i Nauki  
(załącznik do komunikatu MEiN z dnia 9 lutego 2021 r. poz. 29940).

# Międzyzdroje

12-15 września 2021



Forum Ciepłowników Polskich  
Polish District Heating Forum

## TRANSFORMACJA

**Serdecznie zapraszamy  
do udziału w jubileuszowym  
Forum Ciepłowników Polskich!**



Izba Gospodarcza  
Ciepłownictwo Polskie

szczegółowe informacje: [www.fcp.org.pl](http://www.fcp.org.pl)

9	<p><b>CIĘPŁOWNICTWO</b> <i>Maciej Chorzeński, Michał Pachocki</i> Analiza przyczyn awarii kanałowej sieci ciepłowniczej w okresie przejściowym Failure cause analysis of pipes in district heating network during spring and autumn season</p>	33	<p><b>WODOCIĄGI I KANALIZACJA</b> <i>Jan Pawełek, Tomasz Bergel, Ewa Siedlecka, Andrzej K. Biń, Beata Szatkowska, Robert Muszański, Michał Kosiniak</i> Techniczne i ekonomiczne aspekty zastosowania innowacyjnej metody ozonowania do usuwania wybranych farmaceutyków ze ścieków – badania w skali ułamkowo-technologicznej w oczyszczalni ścieków Jaworzno Dąb Technical and economic aspects of using the innovative ozonation method for removal of selected pharmaceuticals from sewages – the research on a fragmentary-technical scale in the Jaworzno Dąb wastewater treatment plant <i>Dawid Szpak, Krzysztof Boryczko, Jakub Żywiec, Janusz Rak</i> Metody matrycowe wykorzystywane w analizie ryzyka ujęć wody Matrix methods used in the risk analysis of water intakes</p>
15	<p><b>CERTYFIKACJA BUDYNKÓW</b> <i>Piotr Bartkiewicz, Kazimierz Wojtas</i> Jakość środowiska wewnętrznego, jako składnik systemów kompleksowej oceny budynków The quality of the indoor environment as a component of comprehensive building assessment systems</p>	45	<p><i>Izabela Zimoch, Marcin Graburczyk</i> Czas pracy bezuszkodzeniowej sieci wodociągowej miasta Głubczyce jako element bezpieczeństwa funkcjonowania systemu zaopatrzenia w wodę Time between failure of water pipeline in Głubczyce as an element of safe operation of the water supply system</p>
20	<p><b>WENTYLACJA, KLIMATYZACJA, CHŁODZENIE</b> <i>Monika Jakubiak, Mieczysław Porowski</i> Sterowanie energoptymalne systemami HVAC z recyrkulacją i odzyskiem ciepła w pomieszczeniach czystych Energy-optimized control of HVAC systems with recirculation and heat recovery in cleanrooms</p>	55	<p><i>Dariusz Kowalski, Beata Kowalska, Paweł Suchorab</i> Propozycja metody diagnostycznej dla sieci wodociągowej Proposal of diagnostic method for distribution network</p>
25	<p>Ograniczenie hałasu od klimakonwektorów przy pomocy izolacji ArmComfort AB Alu i AB Alu Plus Reduction of noise caused by fan coil units, using ArmComfort AB Alu and AB Alu Plus insulation</p>	2	<p><b>RUBRYKI STAŁE</b></p>
27	<p><b>INSTALACJE P.POŻ.</b> <i>Wojciech Węgrzyński</i> Wentylacja pożarowa garaży zamkniętych w świetle pożarów pojazdów elektrycznych Smoke control of car parks with electric vehicles</p>	5	<p><b>Wiadomości</b></p>
		6	<p><b>Rozmowy Instal-u</b> – Wywiad z Dawidem Cyconiem</p>
		60	<p><b>Tam byliśmy</b> – Forum Ciepła i Gazu</p>
			<p><b>Odeszli od nas</b> – Profesor Ziemowit Suligowski</p>

## FALA RENOWACJI

**Racjonalizacja zużycia energii w budownictwie mieszkaniowym.**

**Autorzy: Tomasz Cholewa, Alicja Siuta | Cena: 30 zł + 5% VAT**

Komisja Europejska zaprezentowała 14 października 2020 plan renowacji budynków w celu obniżenia emisji gazów cieplarnianych do 2030 roku o 55% w porównaniu do roku 1990.

Z kolei w 2050 r. wszystkie budynki powinny być neutralne węglowo, czyli w 100% zasilane z odnawialnych źródeł energii.

Aby osiągnąć te cele należy w pierwszej kolejności zwiększyć efektywność energetyczną istniejących budynków, a następnie przewidzieć dla nich odpowiednie odnawialne źródła energii w celu pokrycia znacznie już obniżonych potrzeb energetycznych.

Dlatego też niniejsza książka prezentuje dobre praktyki (przedstawione na przykładzie rzeczywistych wyników badań eksploatacyjnych) jak zwiększyć efektywność energetyczną w zakresie systemów ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody w istniejących budynkach i w ten sposób przygotować je na zastosowanie odnawialnych źródeł energii w przyszłości.

Książkę można nabyć w Ośrodku Informacji "Technika instalacyjna w budownictwie" w atrakcyjnej cenie 30 zł + 5% VAT (do 30 września 2021 r.).



## Prezydent podpisał nowelę o systemie handlu uprawnieniami do emisji

Prezydent podpisał nowelizację ustawy o systemie handlu uprawnieniami do emisji, której celem jest przeniesienie do polskiego prawa unijnej dyrektywy, dotyczącej wzmocnienia efektywnych pod względem kosztów redukcji emisji oraz inwestycji niskoemisyjnych, poinformowała Kancelaria Prezydenta. Jedną z najistotniejszych zmian jest powołanie do życia tzw. Funduszu Modernizacyjnego.

"Działalność Funduszu Modernizacyjnego została zaplanowana na lata 2021-2030. Jego najważniejszym celem jest wsparcie wykonania ustalonego na forum Unii Europejskiej (UE), celu redukcji gazów cieplarnianych. Fundusz powstał z myślą o państwach członkowskich, których PKB *per capita* było w 2013 r. niższe niż 60% średniej UE. Korzystać z niego będzie dziesięć państw z Europy Środkowo-Wschodniej, w tym Polska" - czytamy w komunikacie.

Środki Funduszu mają zostać przeznaczone na modernizację systemu energetycznego i poprawę efektywności. Kluczowym ograniczeniem, jeżeli chodzi o rodzaj przedsięwzięć w ramach projektów, które mogą uzyskać wsparcie ze środków Funduszu, jest wyłączenie możliwości finansowania obiektów wytwarzających energię przy wykorzystaniu stałych paliw kopalnych.

Europejski Bank Inwestycyjny (EBI) ma zapewnić, aby uprawnienia do emisji były sprzedawane na aukcji na wspólnej platformie aukcyjnej i będzie odpowiadał za zarządzanie przychodami, alokację i przekazywanie ich państwom członkowskim będącym beneficjentami Funduszu. Fundusz ma być zarządzany przez państwa członkowskie - beneficjentów Funduszu przy udziale EBI, który będzie brał udział w wyborze projektów.

Aby sfinansować inwestycję z Funduszu, państwo członkowskie będzie musiało przed-

stawić ją EBI i Komitetowi Inwestycyjnemu. EBI będzie badać i potwierdzać, czy każda inwestycja, która znajduje się na liście obszarów priorytetowych Funduszu ma na celu:

- wspieranie inwestycji w wytwarzanie i użytkowanie energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych,
- wspieranie inwestycji w magazynowanie energii i modernizację sieci energetycznych, w tym rurociągów należących do systemów ciepłowniczych lub sieci przesyłu energii elektrycznej, oraz zwiększanie połączeń międzysystemowych między państwami członkowskimi UE,
- wspieranie, we współpracy z partnerami społecznymi, w regionach uzależnionych od stałych paliw kopalnych, sprawiedliwych przemian mających na celu ułatwienie pracownikom zmiany miejsca zatrudnienia oraz zdobywanie nowych i specjalistycznych umiejętności, wspieranie edukacji oraz inicjatyw zatrudnieniowych, a także nowych inicjatyw gospodarczych działających na zasadzie startup lub
- wspieranie inwestycji w efektywność energetyczną, w tym w sektorach transportu, budownictwa, rolnictwa i odpadów.

Co najmniej 70% środków finansowych z Funduszu przeznacza się na inwestycje znajdujące się na liście obszarów priorytetowych, a maksymalnie 30% na inwestycje spoza tej listy.

Mając na uwadze konieczność transpozycji przepisów nowela wprowadza zmiany w ustawie z 12 czerwca 2015 r. o systemie handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych polegające m. in. na:

- a. wprowadzeniu definicji "instalacji nowej",
- b. rozszerzeniu treści ustawy przez wskazanie trybu wzywania do uzupełniania braków we wniosku o przydział uprawnień do emisji,
- c. rezygnacji ze stałego cyklicznego obowiązku przeprowadzania analiz wydanych zezwoleń na emisję gazów cieplarnianych,

- d. wprowadzeniu przepisów określających zasady funkcjonowania Krajowego systemu wdrażania Funduszu Modernizacyjnego, w ramach którego środki uzyskane z Funduszu będą przeznaczane na dofinansowanie realizacji na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej inwestycji mających na celu modernizację systemów energetycznych oraz poprawę efektywności energetycznej,
  - e. uchyleniu przepisów, które dotyczą kwestii przydziału uprawnień do emisji w odniesieniu do instalacji nowych,
  - f. dodanie przepisów dotyczących zmiany przydzielonych uprawnień do emisji tak, aby umożliwić dokonywanie korekt przydziałów uprawnień do emisji.
- Efektom wprowadzonych zmian będzie m.in. uzupełnienie braków transpozycyjnych w przepisach krajowych, wyeliminowanie z prawnego porządku krajowego przepisów odmiennie regulujących zagadnienia dotyczące zasad przydziału uprawnień do emisji, a które zostały uregulowane w bezpośrednio stosowanych rozporządzeniach unijnych, a także wyznaczenie ścieżki krajowej finansowania projektów inwestycyjnych ze środków Funduszu.

Co do zasady ustawa ma wejść w życie po upływie 14 dni od dnia ogłoszenia, z wyjątkiem przepisów dotyczących:

- Krajowego systemu wdrażania Funduszu Modernizacyjnego oraz dostosowania liczby uprawnień do emisji dla prowadzących instalację w okresie rozliczeniowym 2021-2030, które wejdą w życie z dniem następującym po dniu ogłoszenia;
- dostosowania modułu Krajowej bazy do nowych wymogów (system raportowania przez prowadzących instalację w zakresie poziomów działalności i przedkładania sprawozdań z weryfikacji), które częściowo wejdą w życie z dniem 1 stycznia 2022 r.;
- prognoz zmian aktywności, które wejdą w życie z dniem 1 stycznia 2023 r.

CIRE

## Ceny uprawnień EUA

*Fragmety Raportu KOBIZE z rynku CO<sub>2</sub> z czerwca 2021r.*

Od maja br. ceny uprawnień EUA znajdują się między poziomem 50 EUR i 56,5 EUR. Należy odnotować fakt, że po raz pierwszy od dłuższego czasu w czerwcu nie odnotowano rekordowych wartości. Znowu warta uwagi jest wysoka zmienność cen, która w czerwcu wyniosła 6,35 EUR i była nieco niższa od tej majowej (8 EUR).

Niewątpliwie kluczowym poziomem dla kupujących jest bariera 50 EUR, która w czerwcu nie została przełamana pomimo rosnącej presji sprzedażowej ze strony brytyjskich instalacji dysponujących nadwyżkami uprawnień EUA, które zabezpieczyły swoje pozycje na długo przed brexitem. Teraz chcąc uwolnić środki, po to by zakupić brytyjskie uprawnienia, podmioty te są zmuszone do systematycznej wyprzedaży uprawnień EUA. Drugim ważnym czynnikiem wpływającym na ceny uprawnień EUA w czerwcu były rosnące ceny gazu, które są

dotąd skorelowane z cenami uprawnień EUA. Na skutek rosnącego popytu na ten surowiec z Azji, jego ceny rosną. Przykładowo kontrakty terminowe na gaz na 2022 r. wzrosły w czerwcu o ok. 26%. No i wreszcie trzecim czynnikiem, który pozwolił cenom zbliżyć się do rekordowych wartości w maju był „przeciek” dokumentów dotyczących rewizji systemu EU ETS (w tym kluczowych dla przyszłej podaży uprawnień współczynnika LRF i rezerwy MSR) oraz wprowadzenia podatku granicznego CBAM. Statystycznie, uprawnienia EUA w czerwcu 2021 r.

zyskały na wartości blisko 9%. Licząc od dnia 31 maja do 30 czerwca 2021 r. nastąpił wzrost cen uprawnień EUA na rynku spot giełd ICE oraz EEX (średnia) z 51,62 do 56,25 EUR. Średnia ważona cena EUA z 22 transakcyjnych dni czerwca wyniosła 52,52 EUR. Łączny wolumen obrotów uprawnień

EUA na giełdach ICE i EEX na rynku kasowym wyniósł ok. 40 mln.

Zgodnie z oceną wpływu (tzw. impact assessment) rewizji systemu EU ETS, do którego dotarła agencja Bloomberg News, ceny uprawnień do emisji mogą wzrosnąć od 50 EUR do 85 EUR do 2030 r. (są to

projekcje KE). Powyższe prognozy nieco odbiegają od prognoz autorstwa Bloomberg NEF na 2030 r., które wskazują, że cena może się ukształtować na poziomie 108 EUR.

## Cyfrowy projekt budowlany

O 1 lipca 2021 r. inwestorzy mogą składać wnioski i zgłoszenia z projektem budowlanym przez interent z wykorzystaniem aplikacji e-Budownictwo. 29 czerwca br. w Dzienniku Ustaw (poz.1169) zostało

opublikowane Rozporządzenie Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 25 czerwca 2021r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego, które określa ramy prawne dla projektów w postaci elektronicznej.

## Nowe podcasty energetyczne „Polityka Energia Klimat”

**Instytut Polityki Energetycznej im. Ignacego Łukasiewicza w Rzeszowie rozpoczął nowy projekt. To publikowanie podcastów o tematyce związanej z sektorem energetycznym.**

**Energia IPE „Polityka – Gospodarka – Klimat”** to podcast przygotowywany przez **Instytut Polityki Energetycznej im. Ignacego Łukasiewicza**. Eksperti think tanku, jak i zaproszeni goście będą mówić o najważniejszych sprawach dotyczących sektora energetycznego, komentować bieżące wydarzenia, jak charakteryzować szersze trendy. Szczególnie interesuje nas bezpieczeństwo energetyczne Polski i Europy oraz transformacja energetyczna, ale nie pomijamy żadnego ważnego tematu.

– *Zauważamy, że zainteresowanie wiedzą z dziedziny polityki energetycznej cały czas jest duże, a bardziej świadomi odbiorcy chcą zapoznawać się z pogłębionymi opiniami, ale wyrażonymi w wyważony i przystępny sposób* – mówi dr. hab. Mariusz Ruszel, prof. Politechniki Rzeszowskiej i prezes Instytutu Łukasiewicza. – *Chcemy też upowszechnić wiedzę ekspercką w jak najbardziej przystępny sposób, bo nie każdy sięga do książek, czasopism naukowych czy branżowych ekspertyz. Podcast jest odpowiednią ku temu formą.*

**W pierwszym podcaście Polityka – Gospodarka – Klimat dr. hab. Mariusz Ruszel mówi o roli wodoru w transformacji energetycznej.** Mówi m.in. co oznaczają pojęcia wódor zielony, niebieski, szary; o roli wodoru w transformacji energetycznej; konieczność wdrażania wodoru, zwłaszcza w kontekście unijnych regulacji i celów.

– *Zastosowanie wodoru w energetyce staje się rzeczywistością* – tłumaczy prezes



Fot. 1  
Dr hab. Mariusz Ruszel, prof. Politechniki Rzeszowskiej i prezes Instytutu Polityki Energetycznej im. Ignacego Łukasiewicza. Fot. Łukasz Kotulak



Fot. 2.  
Wodór znajduje coraz szersze zastosowanie w energetyce Fot. pixabay

Instytutu Łukasiewicza. – *Śledząc branżowe, a nawet ogólnogospodarcze newsy, coraz częściej słyszymy o takich przykładach. Na rozwój gospodarki wodorowej są przewidziane ogromne środki w Krajowym Planie Odbudowy, a także w innych programach.*

Dr hab. Mariusz Ruszel tłumaczy m.in. gdzie wodór może być stosowany, a gdzie jego użycie wiązałoby się ze zbyt dużym zagrożeniem bezpieczeństwa. A tak jest np. przy napędzie wodorowym lokomotyw, które miałyby poruszać się w tunelach.

**Więcej informacji: [www.institutpe.pl/podcasty-energia-ipe-polityka-gospodarka-klimat](http://www.institutpe.pl/podcasty-energia-ipe-polityka-gospodarka-klimat)**

**Link bezpośredni do pierwszego podcastu w serwisie Youtube: [www.youtube.com/watch?v=S95pgcxTrtw](https://www.youtube.com/watch?v=S95pgcxTrtw)**

\*\*\*

**Instytut Polityki Energetycznej im. Ignacego Łukasiewicza** w Rzeszowie to powstały w 2015 r. niezależny think tank grupujący ekspertów zajmujących się energetyką. Instytut prowadzi działalność naukowo-badawczą, ekspercką, propaguje naukę i wiedzę o polityce energetycznej. Wydaje też analizy, raporty, książki czy anglojęzyczne czasopismo naukowe Energy Policy Studies.

Tematyka prezentowana i omawiana w podcastach zostanie również poruszona na **VI Konferencji Naukowej „Bezpieczeństwo energetyczne – filary i perspektywa rozwoju”**, która odbędzie się 13-14 września 2021 r. na Politechnice Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza. **Partnerami strategicznymi konferencji są ML System S.A. oraz GK PGE S.A.**

**Więcej informacji o Konferencji: [www.institutpe.pl/konferencja2021](http://www.institutpe.pl/konferencja2021)**

Aktualnie fundacja prowadzi ostateczny nabór zgłoszeń do **Ogólnopolskiego Konkursu na Najbardziej Innowacyjny Energetycznie Samorząd**, którego jest wyłonienie oraz nagrodzenie gmin najbardziej zaangażowanych w modernizację sektora energii, wpisujących się poprzez to w realizację założeń krajowej i unijnej polityki energetyczno-klimatycznej, w tym także w prowadzenie zrównoważonej transformacji energetycznej na poziomie lokalnym.

**Szczegółowe informacje o Konkursie JST**, w tym formularz zgłoszeniowy, regulamin, terminy oraz dane kontaktowe, **znajdują się na stronie internetowej: [www.institutpe.pl/konkursJST](http://www.institutpe.pl/konkursJST)**

**Sponsorami głównymi Konkursu są ML System S.A. i PKN ORLEN S.A.**

# 24 KONFERENCJA GAZTERM 2021

**Paliwa gazowe w procesie transformacji energetycznej Polski i regionu Trójmorza. Szczyt Gazowy Trójmorze – Ukraina.**

29 sierpnia - 01 września 2021 r.  
MIĘDZYDROJE  
HOTEL VIENNA HOUSE AMBER BALTIC



**PATRONAT HONOROWY  
PREZYDENTA RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ  
ANDRZEJA DUDY**

PARTNER GŁÓWNY  
KONFERENCJI

**PGNiG**

BRANŻOWY PARTNER  
KONFERENCJI

**Izba  
Gospodarcza  
Gazownictwa**

PARTNER MERYTORYCZNY  
KONFERENCJI

**DISE  
ENERGY**

PATRON MEDIALNY

**INSTAL**

ORGANIZATOR

**studio | 4u**

**BIURO ORGANIZACYJNE KONFERENCJI**  
Studio 4u, 70-782 Szczecin, ul. Leśna Polana 17,  
tel. kom.: +48 607 220 470, +48 602 365 879  
e-mail: gazterm@gazterm.pl

**www.gazterm.pl**

## XIII Sympozjum INSTALACJE BASENOWE 29.09 – 01.10.2021 r. Ustroń/Beskid Śląski

### TEMATYKA KONFERENCJI

Celem sympozjum jest prezentacja krajowych oraz zagranicznych osiągnięć, problemów i doświadczeń w technice basenowej ze szczególnym uwzględnieniem następujących zagadnień:

- rozporządzeń i norm dotyczących technologii basenowych i warunków sanitarnych,
- rozwiązań funkcjonalnych i budowlanych basenów oraz kąpielisk,
- instalacji do uzdatniania wody basenowej,
- rozwiązań urządzeń do ogrzewania wody basenowej,
- wentylacji i klimatyzacji obiektów basenowych,
- pomiarów i oceny jakości wody i powietrza,
- planowania i finansowania inwestycji sportowych /basenowych/,
- możliwości pozyskiwania środków dla współfinansowania inwestycji rekreacyjno-sportowych,
- oceny kosztów eksploatacji obiektów basenowych,
- korzyści zdrowotnych wynikających z pływania.

### TEMATY REFERATÓW

Andrzej Kolaszewski	Elementy układu wentylacji mechanicznej hali basenowej
Edyta Kudlek, Anna Lempart-Rapacewicz, Mariusz Dudziak, Joanna Wyczarska-Kokot	Identyfikacja związków z grupy PPCPs w wodzie z basenów przydomowych
Anna Lempart-Rapacewicz, Edyta Kudlek, Mariusz Dudziak, Joanna Wyczarska-Kokot	Potencjał wymywania mikrozanieczyszczeń organicznych do wody basenowej ze strojów kąpielowych
Paulina Madej, Florian G. Piechurski	Ocena efektów oczyszczania wody w obiektach wielobasenowych
Iwona Polarczyk, Alina Żabnieńska-Góra, Joanna Liebersbach	Odzysk ciepła ze ścieków a emisja zanieczyszczeń w obiekcie basenowym
Iwona Polarczyk, Alina Żabnieńska-Góra, Joanna Liebersbach	Odzysk ciepła ze ścieków a zużycie energii w obiekcie basenowym
Beata Przybyłowska-Stanek, Agnieszka Włodyka-Bergier, Emilia Stańkowska	Plaże basenowe bez patogenów
Agnieszka Włodyka-Bergier, Beata Przybyłowska-Stanek	Nowe oblicze dwutlenku chloru do uzdatniania i dezynfekcji wody basenowej
Wioletta Żyguła, Joanna Wyczarska-Kokot	Porównanie jakości wody basenowej przed i w czasie trwania pandemii COVID-19 - studium przypadku
Sabina KUC, Paweł Mika, Łukasz Wesołowski	Nowoczesne technologie drewna klejonego w krytych pływalniach i innych budynkach użyteczności publicznej
Wawrzyniec Kuc	Synergia przestrzeni użytkowej i technologicznej krytej pływalni MOSiR w Jasle, jako przykład współczesnej architektury basenowej w Polsce
Jacek Borowiak	Ocena stabilności pracy systemu uzdatniania wody w niekach basenów SPA w okresie 5 lat od ich uruchomienia

### WSTĘPNA AGENDA SYMPOZJUM

29.09.2021	środa	15.00 rejestracja uczestników	17.00-19.00 sesja I	19.00 kolacja
30.09.2021	czwartek	9.00-15.00 sesja II	16.00-19.00 warsztaty	20.00 kolacja/koleżeńskie spotkanie/impreza plenerowa
01.10.2021	piątek	9.00-12.00 sesja III	12.00 zakończenie sympozjum	13.00 obiad

### PRELEGENCJE I TEMATYKA WARSZTATÓW:

<b>Elżbieta Michalek</b> Absolwentka Uniwersytetu Jagiellońskiego na Wydziale Prawa i Administracji, pracownik Krakowskiego Ośrodka Sportowego od 2008 roku. Kierownik pływalni od 2016 roku. Zainteresowanie: psychologia społeczna	Tradycyjna technologia uzdatniania wody basenowej w nowej odsłonie
<b>Zbigniew Wnukowicz</b> Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej; Prezes Zarządu firmy Elbas, funkcjonującej od 1999 roku, zajmującej się wentylacją i klimatyzacją oraz automatyką procesów technologicznych i zarządzania energią w obiektach basenowych	Możliwości redukcji zużycia ciepła i energii elektrycznej w istniejących obiektach basenowych, zasadność stosowania OZE i kogeneracji. Analiza przypadków zgłaszanych przez uczestników warsztatów, szacowanie oszczędności i czasu zwrotu
<b>Grzegorz Nowaczewski</b> Założyciel i członek Zarządu Virtual Power Plant. Absolwent Politechniki Warszawskiej (Zarządzanie i Marketing; Wydział Inżynierii Produkcji). Posiada 28-letnie doświadczenie w projektowaniu rozwiązań teleinformatycznych. Wcześniej szef projektów technologicznych w polskich telewizjach oraz pionier zastosowań bezprzewodowego Internetu w dziedzinie zdalnego sterowania oraz bankowości. Od 2013 r. promuje w Polsce w ramach działalności Virtual Power Plant ideę efektywności energetycznej oraz optymalizacji energochłonnych procesów w różnych typach obiektów (pływalnie, hale sportowe, biurowce, centra handlowe i.in.). Doceniony m.in. wyróżnieniem „Wzorzec. Efektywny projekt energetyczny 2016”. W 2017 r. wziął udział w finale konkursu Startupy w Pałacu, a w 2019 r. – w hiszpańskim programie akceleracyjnym EDP Starter	Efektywna energetycznie eksploatacja pływalni. Jak wdrożyć zmianę?

Karta zgłoszenia oraz szczegóły dotyczące udziału w sympozjum dostępne są na stronie Naszej Katedry: <http://iiwis.ise.polsl.pl/>

KONTAKT: [anita.zakrzewska@polsl.pl](mailto:anita.zakrzewska@polsl.pl), [joanna.wyczarska-kokot@polsl.pl](mailto:joanna.wyczarska-kokot@polsl.pl)

**Serdecznie zapraszamy do udziału w tym wydarzeniu!**



# Wywiad z Dawidem Cyconiem – Prezesem ML SYSTEM S.A. dla miesięcznika Instal

**Jak Pan ocenia obecny rynek paneli PV w Polsce i jakie są jego perspektywy rozwoju? Jaki udział w tym rynku przypada firmie ML System S.A.?**

Jak wskazuje Instytut Energetyki Odnawialnej (IEO) w raporcie *Rynek fotowoltaiki w Polsce 2021* biorąc pod uwagę ostatnie pięć lat, Polska znalazła się na pierwszym miejscu w Unii Europejskiej pod względem tempa wzrostu mocy w fotowoltaice. CAGR dla Polski za lata 2016-2020 wyniosło 114%, przy średniej unijnej 10,3%. Zatem w średnim okresie jesteśmy europejskim liderem pod względem dynamiki wzrostu rynku PV i w 2020 roku zbliżyliśmy się do pierwszej światowej 10-ki państw pod względem przyrostu mocy. Aktualnie jesteśmy na 13. miejscu.

Według prognozy IEO w perspektywie średnioterminowej nie widać przesłanek do spowolnienia na rynku fotowoltaicznym. Główny udział w przyroście mocy w najbliższych latach będą mieć projekty farm PV przygotowane pod aukcje OZE, także te wielkoskalowe. Jak szacuje IEO, moc zainstalowana w fotowoltaice w 2022 roku podwoi swoją wartość z końca 2020 - było to 3936 MW - a na koniec 2025 roku może wynieść nawet 15 GW.

W ramach prowadzonej działalności biznesowej koncentrujemy się przede wszystkim na wysokomarżowym segmencie BIPV (fotowoltaiki zintegrowanej z budownictwem). Zgodnie z raportem *Building Integrated Photovoltaic Skylights Market 2020-2027* należymy do grona kluczowych producentów BIPV na świecie.

**Czy w najbliższym czasie możemy spodziewać się tańszych i o większej sprawności paneli PV, np. wykonanych w technologii TOPCon?**

Przyszłością są ogniwa o dużej wydajności. Możemy wyjść np. od HJT. W dalszej perspektywie ze względu na konieczność zwiększania wydajności najpopularniejszych staną się ogniwa tandemowe, nad którymi

nasza firma intensywnie pracuje. Chcemy połączyć klasyczny krzem z kropką kwantową. W tych technologiach ML System ma już zdobyte kompetencje, niezbędny sprzęt i finansowanie.

**Czy ogniwa perowskitowe mają szansę rozwoju?**

Jeżeli poddamy analizie np. perowskity, to są to ciekawe i przyszłościowe rozwiązania, jednakże zanim dojdzie do ich przeskalowania w zastosowaniach budowlanych, upłynie jeszcze trochę czasu. Ogniwa drukowane, w tym perowskitowe, klasyfikowane są jako III generacja ogniw. Jako ML System oferujemy zaawansowane technologicznie rozwiązania BIPV, wykorzystujące kropkę kwantową należącą do kolejnej IV generacji ogniw, w ramach linii produktów Quantum Glass. W tym roku uruchomimy masową produkcję modułów fotowoltaicznych wyposażonych w powłokę kwantową, co będzie przełomowym momentem dla branży w skali globalnej. Przed masowym wdrożeniem do produkcji wykonaliśmy kilka instalacji pilotażowych w kraju i za granicą. Zdolność wykorzystania produktów na bazie Quantum Glass, przy jednoczesnym użyciu ich kanałów dystrybucji, potwierdzili renomowani producenci stolarki otworowej, jak również koncerny szklarskie o globalnym zasięgu.

Kropki kwantowe to małe półprzewodniki o rozmiarach rzędu kilku, kilkudziesięciu nanometrów (1 nanometr = 0,000 000 001 m) zdolne do pochłaniania i emitowania promieniowania elektromagnetycznego (światła). Dzięki temu okno staje się prywatną elektrownią, pozostając całkowicie bezpieczne w użytkowaniu i przeziernie, zapewniając lepszą niż klasyczne szyby izolację termiczną.

**Jaka jest żywotność produkowanych obecnie przez ML System S.A. modułów PV i jak ona się kształtuje w porównaniu z wyrobami konkurentów?**

Obecnie średnia gwarancja na moduły zwykle wynosi 10-15 lat. Moduły nowej generacji, w tym nasze, mogą sprawnie operować przez ponad 40 - 50 lat. Każda partia produkcyjna wykonywana w fabryce ML System poddawana jest rygorystycznym testom, w tym na środowisko agresywne, uderzenie gradem, parcie/ssanie wiatru oraz symulację starzeniową wykonywaną w specjalnej komorze. Wszystkie niezbędne instrumenty pomiarowe są na wyposażeniu

ML System. Jesteśmy jedną z najlepiej wyposażonych firm na świecie w tego rodzaju sprzęt.

**Po okresie efektywnej eksploatacji paneli PV powstanie problem z ich utylizacją – jak Pan widzi ten problem?**

Potrzebne jest systemowe rozwiązanie, które pozwoli na efektywny recykling modułów fotowoltaicznych. Bez wątpienia będzie to wyzwanie legislacyjne i logistyczne, co wiązać się będzie z inwestycjami wśród firm z sektora przetwarzania odpadów, aby sprostać - także od strony technologicznej - temu procesowi.

**W jaki sposób firma ML System S.A. zamierza zareagować na planowane obniżenie dofinansowania dla prosumentów w ramach programu „Mój prąd”, a w perspektywie w ogóle brak dofinansowania?**

Na proponowane zmiany prawne patrzymy z pozycji jednego z kluczowych producentów BIPV (fotowoltaiki zintegrowanej z budownictwem) na świecie, dla którego segment fotowoltaiki klasycznej stanowi źródło przychodów, ale nie jest biznesem corowym.

Należy pamiętać, że fotowoltaika to nie tylko domy jednorodzinne i panele na dachu. Nie spodziewam się więc mocnego załamania w całej branży. Może nastąpić znacząca korekta na rynku prosumenta, ale na pewno nie do momentu, kiedy nowe przepisy zaczną funkcjonować.

W związku z problemami z odbiorami energii przez operatorów OSD, coraz powszechniej dyskutuje się o przydomowych magazynach energii. Widzimy przyspieszenie tego procesu i mimo, że obecnie branża ta dopiero raczkuje, w obliczu planowanych zmian potencjał tego typu rozwiązań w kolejnych latach silnie wzrośnie. Zamierzamy wykorzystać ten trend.

**Jakie nadzieje wiąże Pan z sejmowym projektem nowelizacji ustawy o OZE i jakie ma Pan w związku z tym obawy?**

Projekt nowelizacji ustawy z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii wprowadza m.in. ułatwienia dla przedsiębiorców z sektora MŚP w zakresie inwestycji w OZE, w tym fotowoltaikę, także z tej perspektywy oceniamy go pozytywnie. Niemniej dopóki nie znamy ostatecznej wersji zmian legislacyjnych trudno jest dokonać całościowej oceny.

**Dziękuję za rozmowę.**

Janusz Wróblewski  
Redaktor Naczelny Instal

W dniach 22 – 24.06.2021 r. w Warszawie odbyło się „Forum Ciepła i Gazu” pod hasłem Rola paliw gazowych w procesie transformacji polskiego ciepłownictwa. Organizatorem były:

- Izba Gospodarcza Ciepłownictwo Polskie,
- studio 4u.

## Wystąpienia wstępne:

# Paweł Majewski – Prezes Zarządu PGNiG S.A. Partner Główny Forum zaznaczył, że ciepłownictwo w Polsce ma dwa oblicza: duże przedsiębiorstwa energetyki ciepłej, które są dobrze wyposażone i zorganizowane oraz średnie i małe mające kłopoty. Powiedział, że należałoby dokonać przeglądu źródeł i nałożyć to na mapę sieci gazowych.

Co do PGNiG to powiadomił, że w ciągu najbliższych 10 – ciu lat zakładają budowę około 2,5 GW mocy ciepłych, przede wszystkim w Warszawie: EC Żerań ok. 1 GW – uruchomienie w latach 2021/22, EC Siekierki ok. 850 MW w latach 2028/29, EC Kawęczyn 450 MW w latach 2023/26 oraz EC Pruszków 57 MW zasilanych gazem, w tym 5 mld m<sup>3</sup>/rok ze Świnoujścia.

# Jacek Szymczak – Prezes Zarządu Izby Gospodarczej Ciepłownictwo Polskie w wystąpieniu wstępnym zwrócił uwagę na to, że sektor ciepłownictwa to obecnie 55 tys. MW ciepłych zainstalowanej mocy i około 400 przedsiębiorstw concessionowanych produkujących i dostarczających ciepło mieszkańcom Polski. To również 3 tys. MW mocy elektrycznej w źródłach wytwarzających cały rok ciepło z dużym udziałem gazu jako paliwa. Do 2030 roku planowane jest przyłączenie do sieci ciepłowniczych 1,5 mln gospodarstw domowych. W tym zakresie będą zarówno rozwijane sieci ciepłownicze, jak też źródła wyspowe.

# Artur Michalski – Wiceprezes Zarządu Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w wystąpieniu wstępnym powiedział, że będą promować kogenerację i „Ciepłownictwo powiatowe” w tym ze środków przeznaczonych na Politykę Spójności UE (6 mld zł.). Będą wchodzić też w projekty wodorowe.

## Część I wystąpienie i prezentacji:

# Bogusław Reguński Wiceprezes Zarządu Izby Gospodarczej Ciepłownictwo Polskie wygłosił referat pt. „Wizja, założenia i cele energetycznej według Europejskiego Zielonego Ładu, a przyszłość polskiego ciepłownictwa”. Europejski Zielony Ład to nowa strategia, której celem jest przekształcenie UE w sprawiedliwe i prosperujące społeczeństwo żyjące w nowoczesnej, zasobooszczędnej i konkurencyjnej gospodarce, która w 2050 roku osiągnie zerowy poziom emisji gazów cieplarnianych netto i w ramach której wzrost gospodarczy będzie oddzielony od wykorzystania zasobów naturalnych. Celami Zielonego Ładu są między innymi:

- bardziej ambitne cele klimatyczne – 55% redukcji emisji CO<sub>2</sub> już w 2030 r.,
- dostarczanie czystej, przystępnej cenowo i bezpiecznej energii – dużo OZE, „zero” węgla, obniżanie emisji gazu,
- wdrażanie gospodarki o obiegu zamkniętym,
- budynki o niższym zapotrzebowaniu na energię.

Mechanizmami regulacyjnymi w tym zakresie są następujące Dyrektywy:

- o handlu uprawnieniami do emisji CO<sub>2</sub>,
- o efektywności energetycznej,
- o odnawialnych źródłach energii,
- o charakterystyce energetycznej budynków.

Tymczasem polskie ciepłownictwo nie jest przygotowane do spełnienia ww celów:

- 86,7% nośników energii to węgiel (dane URE z 2019r.) i stąd emisyjność produkcji ciepła przekracza 100kg CO<sub>2</sub>/GJ,
- około 83% to nieefektywne systemy ciepłownicze (tylko duże systemy spełniają kryterium efektywnego energetycznie systemu ciepłowniczego),
- udział ciepła produkowanego w technologii kogeneracji generalnie przekracza 55%.

Dodatkowo, sytuacja finansowa ciepłownictwa systemowego jest zła:

- ujemna rentowność działalności,
- bardzo złe wskaźniki płynności finansowej,

- brak środków na inwestycje, nawet na wkład własny.

Wśród przyczyn tego stanu najważniejszym problemem jest ogromna zależność polskiego ciepłownictwa od sytuacji na rynku uprawnień do emisji CO<sub>2</sub> (obecny kurs to ponad 50 euro za tonę CO<sub>2</sub>).

W PEP2040 została nakreślona ścieżka transformacji ciepłownictwa systemowego:

- rozwój wysokosprawnej kogeneracji opartej na paliwach niskoemisyjnych (ograniczenie wykorzystania węgla),
- zwiększenie wykorzystania OZE i odpadów,
- modernizacja i rozbudowa systemów dystrybucji ciepła i chłodu oraz popularyzacja magazynów ciepła i inteligentnych sieci,
- synergia sektorów energetycznych.

Jednocześnie celem jest, aby w 2030r. co najmniej 85% systemów ciepłowniczych lub chłodniczych, w których moc zamówiona przekracza 5MW spełniało kryteria efektywnego energetycznie systemu ciepłowniczego.

Aby temu wszystkiemu sprostać potrzebne są pieniądze. Ale nie tylko szerokie strumienie darmowych środków pomocy publicznej, których nie wystarczy do zrealizowania wszystkich potrzebnych inwestycji – sektor musi uzyskać odpowiedni poziom własnej odporności ekonomicznej, aby stać się wiarygodnym partnerem dla instytucji finansowych i inwestorów. Odporność ta może zostać uzyskana między innymi poprzez zmiany w mechanizmach regulacji sektora ciepłowniczego.

# Remigiusz Nowakowski – Prezes Zarządu DISE nakreślił rolę gazu ziemnego w aktualnej strategii klimatycznej Unii Europejskiej. Transformacja energetyczna będzie przebiegała jednocześnie w sektorach energetycznym i ciepłownictwa. Nastąpi wzrost OZE i ich kompensacja kogeneracją gazową. Nie jesteśmy w stanie pokryć luki po węglu bez gazu ziemnego, więc do 2030 roku będzie rosła rola i zużycie gazu. Zwrócił też uwagę na rolę zapisów tzw. taksonomii – jeżeli w wyniku spalania paliwa uzyskamy mniej niż 100 g CO<sub>2</sub> na wyprodukowanie 1 kWh energii, otrzymamy wsparcie ze środków unijnych.

# Radosław Tabak – Naczelnik



Wydziału Departamentu Ciepłownictwa Ministerstwa Klimatu i Środowiska wygłosił referat pt. „Transformacja ciepłownictwa w Polsce w świetle celów Polityki energetycznej Polski do 2040 roku i wyzwań strategii klimatycznej UE”. Ministerstwo Klimatu i Środowiska będzie wspierało elektryfikację ciepłownictwa. Zaznaczył, że 85% koncesjonowanych producentów ciepła powinno mieć status przedsiębiorstw efektywnych energetycznie.

# Adam Wawrzynowicz – Kancelaria Wawrzynowicz i Wspólnicy – „Dekarbonizacja sektora gazowniczego w świetle strategii i regulacji Unii Europejskiej” – artykuł w oparciu o ww referat, poruszający m.in. innymi zagadnieniami taksonomii, zostanie opublikowany w jednym z najbliższych numerów Instal.

# Sławomir Sieradzki – Dyrektor Pionu Rozwoju Rynku Gazu w GAZ-STSTEM S.A. – „Gaz ziemny – bezpiecznym paliwem dla transformacji ciepłownictwa i energetyki (plany rozwoju sieci przesyłowej i połączeń międzysystemowych w kontekście prognozy zapotrzebowania na gaz)”.

# Ireneusz Krupa – Członek Zarządu ds. rozwoju i inwestycji Polskiej Spółki Gazownictwa – „Rozwój sieci dystrybucyjnych w kontekście potrzeb związanych z transformacją ciepłownictwa”. Przedstawił tabelę liczby wymienianych w programie „Czyste powietrze” źródeł ciepła na tle województw – wymieniono ogółem 117 522 źródła. Podkreślił, że tylko 3 gminy w kraju nie mają gazu. Liczba nowych przyłączy gazu w 2020 r. charakteryzowała się zagęszczeniem istniejącej sieci, czyli tam gdzie sieć jest rozbudowana liczba przyłączy była duża. Połowa nowych przyłączy gazowych realizowanych w 2020r. była finansowana z programu „Czyste powietrze”. Podkreślił, że w zakresie nowych przyłączy są ograniczenia w rynku wykonawców oraz wzrost kosztów ich budowy.

Poruszył zagadnienie zapisów w obowiązujących od 1 stycznia tego roku nowych Warunkach technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (WT), a szczególnie współczynnika  $W_i$  (współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej dla budynków nowych – ma on istotny wpływ na obliczanie wskaźnika rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP). Współczynnik ten dla gazu jest taki sam jak dla węgla kamiennego i brunatnego, co dyskryminuje gaz jako paliwo czyste. Jeżeli chcemy spełnić wymagania związane z EP (określone w WT) musimy gaz zastosować z inną technologią OZE, np.

z pompą ciepła, w takim przypadku każdy inwestor zastanowi się w jakim celu potrzebne są mu 2 systemy i wybierze jeden z nich o niskim wskaźniku  $W_i$ , ale nie będzie to gaz, w przypadku którego nie będzie spełniony warunek WT. Oceniał, że w wyniku tego liczba przyłączy gazu do nowych budynków mieszkalnych spadnie o połowę, a nawet do 10% liczby dotychczas realizowanych.

W celu realizacji zapotrzebowania na gaz będzie potrzebna rozbudowa sieci dystrybucyjnej i punktów wyjścia z sieci przesyłowej do sieci dystrybucyjnej w ciągu najbliższych 10-ciu lat o około 300 (w stosunku do istniejących 800) za kwotę 2,3 mld zł i tych pieniędzy na dzisiaj nie posiadamy – konkludował.

Jeśli chodzi o ciepłownie to obiekty do 10 tys.  $m^3/h$  zużycia gazu przyłączamy obecnie do sieci średniego ciśnienia, dopiero powyżej tej wartości przyłączamy do sieci wysokiego ciśnienia, chyba że wybrana technologia do zastosowania w takim obiekcie będzie wskazywała na taką konieczność i będzie taka możliwość techniczna, czyli taki obiekt będzie w pobliżu sieci wysokiego ciśnienia.

Ciepłownie mogą być zakwalifikowane do grup:

A – wysokie ciśnienie (opłata za przyłączenie 25% rzeczywistych nakładów na przyłączenie),

BII – moc przyłączeniowa  $Q$  większe od 10  $m^3/h$ ;  $Q$  większe od 110kWh (opłata za przyłączenie – ryczałtowo wg taryfy do 25% nakładów na przyłączenie).

Poinformował, że został utworzony nowy departament do rozmów z ciepłownikami.

## I Panel dyskusyjny

W panelu dyskusyjnym prowadzonym przez Remigiusza Nowakowskiego Prezesa Zarządu DISE uczestniczyli:

# Przemysław Kłodziejak – Prezes Zarządu PGE EC. Obecnie produkujemy 30% ciepła i ponad 50% energii elektrycznej z gazu. Do 2030 r. będziemy produkowali co najmniej 70% ze źródeł niskoemisyjnych lub zeroemisyjnych.

# Jacek Szymczak – Prezes Zarządu IGCP. Zastępowanie węgla gazem to bardzo dobre rozwiązanie, emisja  $CO_2$  jest 2 razy mniejsza niż w przypadku węgla, jest możliwość „zazielenienia” gazu (biogaz i wodór z OZE). Ponadto w ciepłownictwie planowany jest rozwój źródeł kogeneracyjnych, wzrost liczby efektywnych energetycznych systemów ciepłowniczych oraz współpraca z sektorami energetyki i gazu.

Według nowej ustawy o OZE właściciel przedsiębiorstwa efektywnego energetycznie będzie decydował o możliwości lub nie przyłączenia źródła OZE do swojego systemu. Oprócz źródeł gazowych w ciepłownictwie pojawiają się źródła OZE.

# Radosław Tabak – Naczelnik Wydziału Departamentu Ciepłownictwa MKiŚ. Pracujemy nad strategią dla ciepłownictwa, która powinna ukazać się w tym roku. Będzie w niej uwzględniona kogeneracja gazowa. Będą brane pod uwagę lokalne zasoby energetyczne, np. biomasa. Sieci ciepłownicze są wysokotemperaturowe co ogranicza zastosowanie źródeł OZE i na to też zostanie zwrócona uwaga. Projekty do 50MW będą dofinansowywane z Krajowego Programu Odbudowy, natomiast powyżej 50MW z funduszu modernizacji.

# Henryk Mucha – Prezes Zarządu PGNiG Obrót Detaliczny. Od 2016 roku współpracujemy z BOŚ i zaangażowani jesteśmy w realizację obniżania niskiej emisji w kraju. Mamy obecnie ok. 3 mln gospodarstw domowych zasilanych tzw. kopciuchami, przy ok. 1 mln gospodarstw domowych zasilanych gazem. Bierzymy udział w realizacji programu „Czyste powietrze” w którym 33-40% dofinansowań to kotły gazowe, przy czym 62% to nasi klienci, którzy używali do tej pory gaz w innych celach niż ogrzewanie. Prowadzona jest też działalność w zakresie doradztwa dla potencjalnych klientów.

# Ireneusz Krupa – Członek Zarządu ds. rozwoju i inwestycji PSG. W trakcie dyskusji Ireneusz Krupa odniósł się do kwestii finansowania inwestycji gazowych. – Program gazyfikacji, który rozpoczęliśmy ponad 2 lata temu, miał w założeniu gazyfikację 300 gmin. Dzisiaj mówimy o 200 gminach zgazyfikowanych. Ten potencjał szacowany jest na około miliard sześćset tysięcy zł. Realizujemy 130 tys. przyłączy rocznie, a średni koszt przyłącza to 10 tys. zł – kto wyłoży na to pieniądze? Potrzebny jest nowy mechanizm na dofinansowanie gazyfikacji, nad którym obecnie pracujemy z Rządem. Musi też być działanie w tym kierunku ze strony samorządów. Odnośnie do biogazowni, ostatnio szacowano wielkość produkcji biogazu z nich na poziomie 4 mld  $m^3$  biogazu rocznie. Koszt podłączenia tych biogazowni do sieci to kilkanaście miliardów złotych – kto ma pokryć te koszty, bo chyba nie producenci biogazu?

Co do ciepłowni to mamy około 280 ciepłowni i elektrociepłowni zainteresowanych podłączeniem do sieci gazowej. Wiąże się to z koniecznością rozbudowy

systemu dystrybucji – szacujemy, że trzeba na to wyłożyć 2,5 mld zł.

Poza tym wszystkim istnieje problem wykonawców – w ciągu ostatnich 5 lat ceny ich usług wzrosły o 63%.

Na zakończenie stwierdził, że są gotowi z ofertą dla ciepłownictwa i mają wypracowane pewne mechanizmy współpracy z samorządami.

### Część II wystąpień i prezentacji:

# Michał Piwowarczyk – Zastępca Departamentu Partnerstwa Publiczno – Prywatnego ministerstwa Funduszy i Polityki Regionalnej: „Instrumenty wsparcia finansowego UE dla transformacji ciepłownictwa”.

# Artur Michalski – Wiceprezes Zarządu NFOŚiGW: „Fundusze krajowe dedykowane transformacji ciepłownictwa”.

# Leszek Goli – Dyrektor Oddziału Budownictwa Przemysłowego i Energetycznego BUDIMEX S.A.: „BUDIMEX – nowe możliwości inwestycji w ciepłownictwie”.

# Paweł Okoński – Dyrektor Biura Finansowania Projektów Ekologicznych BOŚ S.A.: „Finansowanie projektów modernizacji ciepłowni z perspektywy bankowej”.

# Paweł Adamów – Zastępca Prezydenta Miasta Konina: „Wielkopolska Dolina Energii – wodór paliwo przyszłości”.

# Andrzej Goździkowski – Prezes Zarządu METROLOG Sp. z o.o.: „Transformacja ciepłownictwa na przykładzie nowatorskich projektów energetycznych realizowanych przez Metrolog Sp. z o.o.”

# Jacek Jaworski – Zastępca Dyrektora ds. Gazownictwa Instytutu Nafty i Gazu, Polski Instytut Badawczy: „Dodanie wodoru do gazu ziemnego – analiza wpływu na sieci i instalacje gazowe”.

liza wpływu na sieci i instalacje gazowe”.

### II Panel Dyskusyjny

W II Panelu Dyskusyjnym pt. „Źródła finansowania transformacji w ciepłownictwie w kontekście wykorzystania paliw przyszłości – biometan i wodór rozwiązaniem dla transformacji ciepłownictwa” prowadzonym przez Wojciecha Jakóbika Redaktora Naczelnego BiznesAlert.pl brali udział: Michał Piwowarczyk, Artur Michalski, Paweł Adamów, Leszek Goli, Jacek Jaworski, Paweł Okoński oraz Andrzej Bondyra – Wiceprezes Zarządu ARE S.A.

Janusz Wróblewski  
– miesięcznik Instal – patron medialny  
Forum Ciepła i Gazu



## II MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA INFRASTRUKTURA KRYTYCZNA MIAST CRITICAL INFRASTRUCTURE OF CITIES



### BEZPIECZEŃSTWO FUNKCJONOWANIA INFRASTRUKTURY KOMUNALNEJ

♦ INTELIGENTNE MIASTA ♦ WODOCIĄGI ♦ KANALIZACJA ♦ GAZ ♦ ENERGETYKA ♦ AUTOMATYKA ♦ TELEINFORMATYKA ♦

6 – 8 października 2021r. Hotel Perła Południa – Beskid Sądecki

Konferencja adresowana jest do przedstawicieli środowisk naukowych, instytucji i jednostek związanych z funkcjonowaniem i zarządzaniem kryzysowym, projektantów, wykonawców, producentów, zarządców oraz instytucji związanych z zarządzaniem, eksploatacją, monitoringiem i bezpieczeństwem komunalnej infrastruktury krytycznej w szczególności systemy: zaopatrzenia w wodę, odbioru i unieszkodliwiania ścieków, gazu, energetyki, automatyki oraz teleinformatyki.

#### Tematyka Konferencji:

- Inteligentna infrastruktura komunalna nowoczesnych aglomeracji
- Efektywność zarządzania bezpieczeństwem w rozproszonej złożonej infrastrukturze komunalnej
- Powiązania i zależności międzybranżowe systemów infrastruktury komunalnej
- Eksploatacja systemów infrastruktury komunalnej w warunkach normalnych i sytuacjach kryzysowych
- Awaryjność systemów infrastruktury komunalnej w aspekcie bezpieczeństwa funkcjonowania
- Zarządzanie infrastrukturą miejską jako elementem infrastruktury krytycznej
- Infrastruktura miast jako obszar potencjalnego oddziaływania terrorystycznego
- Punkty krytyczne w bezpieczeństwie funkcjonowania infrastruktury krytycznej
- Szacowanie ryzyka i koncepcja uodpornienia infrastruktury komunalnej
- Zagrożenia asymetryczne w funkcjonowaniu infrastruktury komunalnej
- Prawne i ekonomiczne uwarunkowania ochrony komunalnej infrastruktury technicznej
- Technologia i materiały, a bezpieczeństwo funkcjonowania infrastruktury komunalnej.

#### ORGANIZATOR:

„Sądeckie Wodociągi” Spółka z o.o.  
33-300 Nowy Sącz, ul. Wincentego Pola 22  
[www.swns.pl](http://www.swns.pl), [biuro@swns.pl](mailto:biuro@swns.pl), [ikm@swns.pl](mailto:ikm@swns.pl)  
tel: +48 184 434 004; fax: +48 184 438 304

#### PATRONAT NAUKOWY:

Politechnika  
Warszawska



Politechnika Krakowska  
im. Tadeusza Kościuszki



UNIWERSYTET  
ROLNICZY  
W KRAKOWIE



UNIWERSYTET  
EKONOMICZNY  
W KRAKOWIE



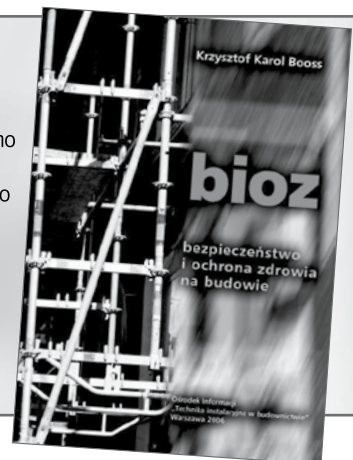
### „bioz – bezpieczeństwo i ochrona zdrowia na budowie” autor: Krzysztof Karol Booss

Książka zawiera liczne komentarze ułatwiające opracowanie i realizację planu bioz, w których zwrócono uwagę na zagrożenia wynikające z „niedociągnięć” obowiązujących przepisów prawnych.

Z książką tą powinien też zapoznać się inwestor w celu zapewnienia bezpiecznej realizacji swojego obiektu budowlanego, za co zgodnie z Prawem budowlanym ponosi odpowiedzialność.

Książkę wydał i rozpowszechnia:

Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”  
02-674 Warszawa, ul. Marynarska 14, tel/fax 22/843 77 71  
e-mail: [redakcja@informacjainstal.com.pl](mailto:redakcja@informacjainstal.com.pl)  
[www.informacjainstal.com.pl](http://www.informacjainstal.com.pl)  
Cena książki 35 zł + VAT



# Analiza przyczyn awarii kanałowej sieci ciepłowniczej w okresie przejściowym

Failure cause analysis of pipes in district heating network during spring and autumn season

MACIEJ CHORZELSKI, MICHAŁ PACHOCKI

DOI 10.36119/15.2021.7-8.1

W artykule dokonano analizy przyczyn awarii kanałowych sieci ciepłowniczych, zwłaszcza w okresie przejściowym. Omówiono siły działające na rurociągi ułożone w sieci kanałowej, podano wzory na wydłużenia termiczne i naprężenia w ściankach rur. Scharakteryzowano materiały, z których wykonywane są rury przewodowe. Zasygnalizowano możliwość wystąpienia zjawisk korozji w sieciach ciepłowniczych. Omówiono przyczyny pulsacji ciśnienia i hałasów w sieciach. Na tej podstawie przedstawiono uproszczony opis przyczyn awarii sieci – zwłaszcza w wiosennym okresie przejściowym.

*Słowa kluczowe: sieć ciepłownicza, korozja, wydłużenia termiczne, awarie*

In the article, materials used for district heating carrier pipes and corrosion phenomena are characterized. Causes of pressure pulsations and noise in pipe networks are described. In conclusion, a simplified description of pipeline failure causes (mainly in the transition spring time) is presented.

*Keywords: district heating network, corrosion, thermal elongation, failures*

## Wprowadzenie

Co roku, w okresie wiosennym i jesienią pojawiają się doniesienia medialne o awariach sieci ciepłowniczych. W okresie tym systemy ciepłownicze dostarczają ciepło na potrzeby centralnego przygotowania ciepłej wody oraz ciepło dla instalacji centralnego ogrzewania, aby zagwarantować właściwą temperaturę wewnętrzną w pomieszczeniach. Brak ciepłej wody w punktach czerpalnych jest natychmiast zauważalny i odnotowywany przez odbiorców. Ciepło na potrzeby ogrzewania w okresie przejściowym jest uzupełnieniem potrzeb cieplnych pomieszczeń w bilansie energetycznym, wynikającym z aktualnej temperatury zewnętrznej, ale również z zysków ciepła wewnątrz budynku. W efekcie większość z odbiorców nie zauważa czy instalacja c.o. nadal pracuje, czy jest wystudzona. Zmienność zapotrzebowania na ciepło systemowe w okresach przejściowych (czy okresie przejściowym) charakteryzuje się intensywną fluktuacją. Temperatura wody dopływającej do węzła ciepłowniczego jest tym wyższa, im niższa jest temperatura powietrza zewnętrznego. Zmienność zapotrzebowania na ciepło powoduje zatem zmienność temperatury wody zasilającej

węzły ciepłownicze. Budynek posiadają pewną akumulacyjność. Podobnie sieć ciepłownicza. W sieci należy uwzględnić opóźnienie transportowe (wynikające z odległości odbiorcy od źródła ciepła i niewielkiej – zwykle poniżej 2 m/s – prędkości przepływu wody). Powoduje to, że dobowe amplitudy zmian temperatury wody sieciowej są mniejsze niż wynikałoby to wprost z dobowej zmienności temperatury powietrza zewnętrznego. Zmienność temperatury wody zasilającej w sieci, w zależności od temperatury powietrza zewnętrznego (a czasem i od prędkości wiatru i zachmurzenia), to tak zwana tabela regulacyjna (tab. 3). Wynika z niej, że najwyższe temperatury wody sieciowej występują przy najniższych temperaturach powietrza zewnętrznego. Wydaje się, że wówczas powinno występować najwięcej awarii sieci. Odbiorcy potrzebują najwięcej ciepła i dlatego woda sieciowa musi posiadać najwyższą temperaturę, a ciśnienie na wyjściu ze źródła również osiąga maksimum. Wynika to z faktu, że należy wówczas dostarczyć do węzłów również największą ilość wody, a to generuje zwiększone spadki ciśnienia w sieci.

Wydaje się, że intensywność awarii w sieci ciepłowniczej powinna osiągać

maksimum w okresach największego zapotrzebowania na ciepło tj. podczas mroźnej zimy, czyli wówczas, gdy woda ciepłownicza osiąga najwyższą temperaturę, a ciśnienie jej zbliża się do obliczeniowego. Jest to ocena intuicyjna. W rzeczywistości, zagadnienie nie jest jednak proste i na intensywność awarii wpływ ma szereg czynników. Nieoczywisty jest chociażby fakt, że większość z nich będzie miała miejsce wówczas, gdy po okresie niskiej temperatury zewnętrznej nastąpi jej wzrost.

Należy pamiętać, że w Polsce blisko 50% sieci ciepłowniczych wykonanych jest w technologii kanałowej. Rurociągi preizolowane są od nich młodsze i w większości przypadków lepiej wykonane. Zazwyczaj wyposażone są też w systemy alarmowe, które pozwalają na bieżącą kontrolę stanu rur i łatwą lokalizację miejsca wymagającego naprawy. W efekcie rurociągi preizolowane są statystycznie w lepszym stanie i odnotowuje się na nich mniej awarii. Dziś nikt już nie buduje nowych sieci kanałowych i zapewne będą one sukcesywnie wymieniane na sieci preizolowane. Nie wolno jednak bagatelizować ich stanu, ponieważ znacząca większość awarii, w tym awarii w okresach

Dr inż. Maciej Chorzelski; <https://orcid.org/0000-0001-6291-2636>, mgr inż. Michał Pachocki; <https://orcid.org/0000-0002-0131-8083> – Zakład Systemów Ciepłowniczych i Gazowniczych, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska. Adres do korespondencji/Corresponding Author: [maciej.chorzelski@pw.edu.pl](mailto:maciej.chorzelski@pw.edu.pl)

przejściowych, dotyczy właśnie sieci wykonanych w tej technologii.

W uproszczeniu można powiedzieć, że siły działające na rurociąg ułożony w technologii kanałowej na podporach ślizgowych i statycznych to:

1. Siły od ciśnienia płynącego czynnika;
2. Siły wynikające z ograniczenia wydłużalności rurociągu poprzez montaż podpór statycznych;
3. Siły tarcia (podpory);
4. Momenty gnące (od obciążenia rur masą wody, masy samej rury i jej izolacji);
5. Inne obciążenia (np. siły skupione od masy zamontowanej armatury i kompensatorów).

Dla uproszczenia zagadnienia możemy się zająć tylko siłami wymienionymi w pkt. 1 i 2.

W tabeli 1. przedstawiono wyniki obliczeń wartości sił i naprężeń, przyjmując, że rurociąg może się swobodnie przemieszczać. Występują wówczas siły i naprężenia rozciągające. Jeśli jest zamocowany w podporach statycznych, to siły i naprężenia mają tę samą wielkość, ale przeciwny znak (siły i naprężenia ściskające). Nie uwzględniono oporów tarcia na podporach ślizgowych.

Przyjęto następujące oznaczenia:

- DN – średnica nominalna rury,  
 Pn – ciśnienie (nadciśnienie) czynnika w rurze,  
 Dz [m] – średnica zewnętrzna rury,  
 F [kN] – siła wzdłużna działająca na ściankę rury,  
 e [m] – grubość nominalna ścianki.

## Siła pochodząca od wydłużeń termicznych

Analizujemy pręt nieważki o długości L, zamocowany jednostronnie.

Pręt stalowy został zamontowany w temperaturze  $t_1$ . Miał długość  $L_1$ . Gdy został podgrzany do temperatury  $t_2$ , jego długość wzrosła do długości  $L_2$ .

Podgrzanie pręta o  $\Delta t = t_2 - t_1$  spowodowało wydłużenie pręta o  $\Delta L = L_2 - L_1$ .

Wydłużenie pręta wynosi:

$$\Delta L = L_1 \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad (1)$$

$\alpha$  [m/(m·K)] – współczynnik wydłużalności liniowej materiału.

Podgrzanie swobodnego pręta spowodowało tylko wydłużenie (pręt nieważki).

Jednak, gdy taki pręt zostanie zamocowany sztywno z obu stron i podgrzany jak poprzednio, to nie wydłuży się, gdyż nie pozwala na to jego zamocowanie. Czy oszukaliśmy prawa fizyki? Nie. Można to rozpatrywać jako pręt swobodnie zamocowany i podgrzany jak poprzednio. Po wydłużeniu o  $\Delta L$  pręt zostanie ściśnięty siłą osiową taką, aby mógł powrócić do długości początkowej.

Znana z wytrzymałości materiałów zależność pozwoli określić wielkość siły, którą należy przyłożyć, aby odkształcić pręt o  $\Delta L$ :

$$\Delta L = \frac{P \cdot L}{E \cdot A} \quad (2)$$

P [N] – siła potrzebna do skrócenia pręta

L [m] – długość pręta,

E [MN/m<sup>2</sup>] – moduł Younga materiału pręta,

A [m<sup>2</sup>] pole przekroju pręta.

Ponieważ  $P/A = \sigma$  – to wielkość naprężeń w przekroju pręta, a wydłużenie względne pręta to  $\varepsilon = \Delta L/L$ . Można więc napisać, że:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (3)$$

skąd:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E = \alpha \cdot E \cdot \Delta t \quad (4)$$

Na wielkość naprężeń nie ma wpływu długość pręta, a tylko własności materiału (E i  $\alpha$ ) oraz przyrost temperatury. Dla stali węglowych (materiał rur przewodowych w sieciach ciepłowniczych):

$\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$  [m/(m·K)], a moduł Younga  $E = 2,1 \cdot 10^5$  [MPa].

Gdy podgrzeje się pręt stalowy o  $\Delta t = 100$  [K], naprężenia osiągną wielkość:

$$\sigma = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 100 = 252 \text{ [MN/m}^2\text{]}$$

Jest to wielkość naprężeń odpowiadających granicy plastyczności stali! (np. stali P235).

Na fragment ścianki rurociągu o przekroju 1 cm<sup>2</sup> będzie wówczas działała siła ściskająca równa 25200 [N], (czyli ok. 2,5 tony na cm<sup>2</sup>).

## Naciąg wstępny rurociągów ciepłowniczych

Dla zmniejszenia sił i naprężeń wywołanych zjawiskiem wydłużenia termicznego dla rur stalowych układanych w technologii kanałowej, stosuje się m.in. tzw. naciąg wstępny.

Jeśli wstępnie („na zimno”, czyli w temperaturze montażu rurociągu) wydłuży się rurociąg (np. mechanicznie) o wielkość  $\Delta L$ , to w rurociągu wywołamy naprężenia rozciągające. Następnie, po zamocowaniu w podporach statycznych, podgrzewa się rurociąg. Materiał rurociągu będzie się wydłużał na skutek wzrostu temperatury. Przy pewnej temperaturze naprężenia wynikające ze wstępnego naciągu (rozciągające) i naprężenia powodowane wzrostem temperatury (ściśkające) zrównają się – czyli nie będzie naprężeń wzdłużnych wywołanych przyrostem temperatury. Dopiero dalszy wzrost temperatury będzie powodował powstanie naprężeń ściskających. Jeśli przyjąć, że temperatura montażu to +10°C, a maksymalna temperatura pracy wynosi np. 117°C, to średnia temperatura

Tab.1 Siły wzdłużne i naprężenia wzdłużne (rozciągające) w rurociągu (od ciśnienia) – w obliczeniach nie uwzględniono odchyłek grubości ani odchyłek średnicy

DN	Dz	e	Aw	Pn	F	$\sigma$	Pn	F	$\sigma$	Pn	F	$\sigma$
	[mm]	[mm]	[m <sup>2</sup> ]	[bar]	[kN]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[bar]	[kN]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[bar]	[kN]	[MN/m <sup>2</sup> ]
50	60,3	3,2	0,002559	6	1,5	2,7	10	2,6	4,5	16	4,1	7,1
100	114,3	3,6	0,00962	6	5,8	4,6	10	9,6	7,7	16	15,4	12,3
200	219,1	4,5	0,036152	6	21,7	7,2	10	36,2	11,9	16	57,8	19,1
400	406,4	6,3	0,125663	6	75,4	9,5	10	125,7	15,9	16	201,1	25,4
500	508	6,3	0,197587	6	118,6	11,9	10	197,6	19,9	16	316,1	31,9
600	610	7,1	0,285338	6	171,2	12,7	10	285,3	21,2	16	456,5	34,0
800	813	8,8	0,507689	6	304,6	13,7	10	507,7	22,8	16	812,3	36,6
1000	1016	11	0,79287	6	475,7	13,7	10	792,9	22,8	16	1268,6	36,5

Tab. 2 Naprężenia obwodowe (rozrywające rurę wzdłuż tworzącej) pochodzące od ciśnienia

DN	Dz	e	P n	$\sigma$	Pn	$\sigma$	Pn	$\sigma$
	[mm]	[mm]	[bar]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[bar]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[bar]	[MN/m <sup>2</sup> ]
50	60,3	3,2	6	5,05313	10	8,421875	16	13,475
100	114,3	3,6	6	8,925	10	14,875	16	23,8
200	219,1	4,5	6	14,0067	10	23,34444	16	37,35111
400	406,4	6,3	6	18,7524	10	31,25397	16	50,00635
500	508	6,3	6	23,5905	10	39,31746	16	62,90794
600	610	7,1	6	25,1746	10	41,95775	16	67,13239
800	813	8,8	6	27,1159	10	45,19318	16	72,30909
1000	1016	11	6	27,1091	10	45,18182	16	72,29091

wyniesie 63,5°C. Przy maksymalnej temperaturze pracy równej 130°C średnia temperatura wyniesie 70°C. Są to jednocześnie temperatury odpowiadające (w przybliżeniu) okresowi pracy letniej sieci (od połowy maja do połowy września). Jeśli przyjmujemy, że wydłużenie wstępne było określone dla ww. temperatury (63,5°C) to znaczy, że przy temperaturze niższej od tej średniej w rurociągu mamy naprężenia rozciągające (naciąg wstępny) a powyżej – ściskające.

W miesiącach luty/marzec, temp. zewnętrzna w ciągu dnia plasuje się na poziomie ok +7°C a nocą np. – 2°C. W kwietniu amplituda zmian temperatury powietrza zewnętrznego waha się od temperatury ujemnej ok. – 2°C w nocy do ponad +12°C w ciągu dnia.

Z podanej powyżej zależności (4) można wyznaczyć zmianę naprężeń wywołanych temperaturą powietrza zewnętrznego. Przykładowe wielkości zmian naprężenia pokazano w tab. 4. Przy  $dT = 1\text{ K}$  to tylko 2,52 [MN/m<sup>2</sup>], ale dla 15 K to już 37,8 [MN/m<sup>2</sup>]. Zgodnie z tabelą 3., dla  $t_{zewn} > +12^\circ\text{C}$  temperatura wody zasilającej wynosi 68°C. Dla – 2°C – temperatura wody winna wynosić 88,7°C. Teoretyczna zmiana tej temperatury winna wynosić 20,7°C. Jednak w rzeczywistości często temperatura wody zasilającej jest niższa – (a zatem mniejsza amplituda zmiany temperatury wody sieciowej w ciągu doby), co wynika np. z umów między dostawcą a odbiorcą ciepła.

Wielkość tych zmian jest porównywalna lub większa od wielkości naprężeń pokazanych w tab. 1. Przy stosowanych ciśnieniach (do 16 barów, a w rzeczywistości niższe) i temperaturach wody w okresie przejściowym dominujące znaczenie mają naprężenia obwodowe.

### Wpływ środowiska czyli gruntu

Zagadnienia związane z gruntem i jego destrukcyjnego (lub konserwującego) wpływu na infrastrukturę podziemną to złożone zagadnienia na pograniczu inżynierii chemicznej i inżynierii materiałowej. W uproszczeniu i skrótowo można wyróżnić cztery aspekty:

- Wpływ składu chemicznego gruntu.
- Wpływ nacisku i sił przenoszonych na konstrukcję kanału przez warstwy pokrycia gruntem od ruchu pieszego i kołowego.
- Wpływ sił wyporu działających w gruncie o wysokiej wilgotności i wysokim poziomie wód gruntowych na konstrukcję kanałów i zbiorników podziemnych.
- Wpływ zjawiska „brazylijskiego orze-

Tab.3. Tabela regulacyjna (wg Veolia Energia Warszawa – wyciąg)

Temperatura powietrza zewnętrznego $t_{zew}$	Temperatura wody sieciowej w rurociągu zasilającym $T_z$	Temperatura wody sieciowej w rurociągu powrotnym $T_p$	Temperatura powietrza zewnętrznego $t_{zew}$	Temperatura wody sieciowej w rurociągu zasilającym $T_z$	Temperatura wody sieciowej w rurociągu powrotnym $T_p$
[ °C]	[ °C]	[ °C]	[ °C]	[ °C]	[ °C]
12	68,0	38,0	- 4	92,0	46,5
11	68,5	38,0	- 5	94,0	47,0
10	69,0	38,5			
9	69,0	39,0	- 9	98,5	49,0
			- 10	101,0	49,5
3	80,0	42,2			
2	82,5	43,0	- 17	111,5	53,0
1	83,8	43,6	- 18	113,0	53,5
0	85,5	44,5	- 19	115,0	53,5
- 1	88,1	45,0	- 20	117,0	54,5

Tab.4. Zmiana wielkości naprężeń ściskających wywołanych wzrostem (lub spadkiem) temperatury wody (na zasilaniu)

dT	E	alfa	naprężenia
[K]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[1/K]	[MN/m <sup>2</sup> ]
1	210000	0,000012	2,52
5	210000	0,000012	12,6
10	210000	0,000012	25,2
15	210000	0,000012	37,8

cha”. Z podobnym zjawiskiem mamy do czynienia na polach – rolnicy często mówią, że ziemia na wiosnę „rodzi kamienie”. Działają siły wyporu wynikające ze zmian objętości gruntu wynikającej głównie z zamarzania i rozmrażania charakterystyczne dla ziem piaszczystych i luźnej gleby.

Istotnym zagrożeniem dla konstrukcji kanałowych sieci ciepłowniczych, o którym należy pamiętać są nieprawidłowości, a często wręcz zaniedbania w pracach budowlanych. Jeśli grunt w trakcie budowy rurociągu miał naruszoną strukturę a nie został potem odpowiednio zagęszczony, czyli utwardzony, to łupiny kanału (obudowa kanału) mogły ulec przesunięciom, powodując jego rozszczelnienie. Podobnie prowadzone prace ziemne w głębokich wykopach mogą spowodować ruchy gruntu, tym bardziej nasilone, jeżeli w pobliżu odbywa się intensywny ruch kołowy, wywołujący dodatkowy nacisk i drgania.

Rozszczelnienie kanału od góry powoduje, że wody opadowe mogą łatwo przenikać do ścianki rurociągu, powodując jego korozję (zewnątrzną). W zależności od składu gleby, wody te mogą być bardziej lub mniej korozyjne. Gdy kanał biegnie pod jezdnią, na rurociąg w okresie zimowym może oddziaływać zasolona woda (odładzanie jezdni), powodując przyspieszoną korozję rurociągu. Rozszczelnienie kanału od dołu może wywoływać jego okresowe zalewanie. Nawet, gdy są to niewielkie ilości wody, powodują znaczący wzrost wilgotności, co powoduje

przyspieszoną korozję (zewnątrzną) rurociągu. Jeśli w rurociągu nastąpi wielomiejscowa perforacja, nieszczelny kanał odprowadza wodę bezpośrednio do gruntu. Woda pochodząca z zalewania kanału i nieszczelności rurociągu, nie pojawi się w studzienkach komór ciepłowniczych, a więc brak będzie informacji o istniejącej nieszczelności.

W okresie zimowym zagrożenie stanowią wody zasolone z jezdni. W okresie wiosny i jesieni zagrożenie stanowi poziom wód gruntowych, które poprzez oddziaływanie korozyjne zmniejszają sukcesywnie grubość ścianki rury, a tym samym powodują jej lokalne osłabienie.

### Wpływ jakości stali na wytrzymałość rur przewodowych w sieci

W latach 50-tych ub. wieku, gdy rozpoczęto budowę systemów ciepłowniczych, na rurociągi stosowano stale kotłowe, a następnie stale w gatunku R35 i R45 (rurowe). Były to stale niskowęglowe, dobrze spawalne. Na bardziej obciążone elementy (np. kolana) używano stali 18G2A. Następnie pojawiły się stale oznaczane jako G205 i G235, jako zamienniki stali w gatunku R, a obecnie mamy stale na rurociągi preizolowane w gatunkach P235 i P265.

Skład chemiczny ww. stali przedstawiono w tabeli 5.

Wymienione powyżej stale to stale niskowęglowe o dobrej spawalności, a ze względu na grubości ścianek rur <25 mm nie wymagające obróbki cieplnej, nawet gdy posiadają większe zawartości węgla i dodatków stopowych (18G2A, P265). Nie są natomiast odporne na korozję. Do przełomu lat 80 i 90 XX w. na rurociągi do DN500 starano się używać rur bez szwów, tzw. „kotłowych”. Wynikało to z faktu, że technologia wykonywania rur ze szwem nie była dopracowana, co skutkowało

Tab. 5. Skład stali do budowy rurociągów

Gatunek stali	Skład stali										Rm	Re/ Rp0,2
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo			
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[MPa]	[MPa]
R35	0,07 – 0,16	0,40 – 0,75	0,12 – 0,35	0,040	0,040	-	-	0,25	-	-	345	235
R45	0,16 – 0,22	0,60 – 1,20	0,12 – 0,35	0,040	0,040	-	-	0,30	-	-	440	255
18G2A	max 0,20	1,0 – 1,50	0,20 – 0,55	0,040	0,040	0,30	0,30	0,30	-	-	510	350
G205*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	335	205
G235*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	375	235
P235	0,16	1,2	0,35	0,02	0,025	0,3	0,3	0,3	0,08	0,08	360	235
P265	0,2	1,4	0,4	0,02	0,025	0,3	0,3	0,3	0,08	0,08	410	265

G205\*; G235\* – brak danych

częstymi ich awariami. Przy średnicach rur ponad DN500 do dyspozycji były tylko rury ze szwem spiralnym. Jakość rur pogorszyła się znacznie w połowie lat 70-tych XX w. Słabą jakością rur w połączeniu ze złą jakością wody sieciowej doprowadziły na przełomie lat 70-tych i 80-tych do sytuacji, gdy roczna krotkość wymiany wody w warszawskim systemie ciepłowniczym dochodziła do 60 – czyli praktycznie raz w tygodniu cała objętość wody w systemie (ponad 1600 km rurociągów) była zastępowana świeżą, uzdatnioną wodą. Wprowadzono wówczas do budowy rurociągów rury o tzw. pogrubionej ściance – grubszej niż w innych systemach, aby zmniejszyć liczbę awarii. Poprawa jakości wody w połączeniu z wymianą newralgicznych odcinków sieci, a następnie wprowadzenie rur preizolowanych zapobiegły zapaści systemu.

Obecnie, w wielu systemach ciepłowniczych większość awarii sieci ciepłowniczych powstaje na przyłączach, budowanych w latach 70-tych i 80-tych ub. wieku. Wynika to ze wspomnianego faktu, że jakość rur w tym okresie była niska. Dodatkowo przyłącza bardzo często były wykonywane z rur ze szwem, jakie stosowano na instalacje wewnętrzne, a ich wykonawstwo powierzano firmom instalacyjnym. Zła jakość materiału w połączeniu z niską jakością wykonania powodowały częste awarie.

## Zjawisko korozji

Jest wiele definicji korozji. Jedną z najprostszych to: „niszczenie materiałów pod wpływem chemicznej lub elektrochemicznej reakcji z otaczającym środowiskiem” [1]. Można ją różnie klasyfikować. Wydaje się jednak, że klasyfikacja według typów zniszczeń materiałów jest najwygodniejsza dla osób stykających się ze zjawiskami korozji, ale nie będącymi specjalistami od zjawisk korozyjnych. Mamy tu dwa podstawowe typy korozji: ogólną i lokalną [2]. Korozja ogólna (równomierna) to korozja zachodząca na całej powierzchni metalu wystawionego na

działanie korozyjne z mniej więcej jednokową szybkością. Można ją mierzyć np. w  $[g/(m^2 \cdot d)]$ , czyli w gramach ubytku materiału z 1  $m^2$  powierzchni metalu w ciągu doby, lub w  $[mm/a]$ , czyli wielkością ubytku przekroju poprzecznego materiału w okresie roku [6].

Lokalne rodzaje zniszczeń korozyjnych to:

- korozja wżerowa;
- korozja międzykryształiczna;
- korozja naprężeniowa;
- korozja szczelinowa;
- korozja pod osadowa.

W ciepłownictwie mamy do czynienia z korozją w środowisku wodnym (korozja wewnętrzna rurociągów) oraz z korozją atmosferyczną (korozja zewnętrzna rurociągów w kanałach, komorach i węzłach ciepłowniczych). W szczególnych warunkach może też wystąpić korozja mikrobiologiczna [2].

Jedną z form korozji równomiernej jest korozja atmosferyczna. Niestety w przypadku tej korozji nie cała powierzchnia rurociągu jej podlega. Wynika to z faktu, że wilgoć w kanałach może pojawiać się lokalnie, powodując miejscowe zwiększenie szybkości procesów korozyjnych. „Wyraźne różnice w agresywności korozyjnej atmosfery występują w przypadku obecności różnych gazów ( $SO_2$ ,  $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $NO_2$ ), czy zawiesin tak soli, jak i pyłów” [3].

Również kontakt różnych metali w obiegu wodnym może powodować korozję (tzw. korozja galwaniczna). Brak izolacji elektrycznej pomiędzy elementami ze stali węglowej (rurociąg), a elementami z mosiądzu lub stali odpornej na korozję. Stal niestopowa będzie w tym przypadku ulegała korozji, a szybkość korozji będzie zależała m.in. od zawartości tlenu w otoczeniu styku tych metali [3].

Jedną z najczęstszych przyczyn awarii sieci ciepłowniczych jest korozja lokalna (wżerowa), wywołana dostępem do powierzchni zewnętrznej rury wody zawierającej jony chlorkowe (głównie zasolone wody z jezdni) i utleniacze (tlen z powietrza) [4].

Dzisiaj, gdy dostępność technik uzdatniania wody jest b. duża, korozja podosadowa czy tlenowa (zwłaszcza w sieciach ciepłowniczych) praktycznie nie występuje. Nadal jednak może dotyczyć instalacji wodociągowych [4]. Obecnie woda sieciowa w systemach ciepłowniczych jest właściwie przygotowana (uzdatniona) i odtleniona (odgazowywacze atmosferyczne, podciśnieniowe, odtleniacze wodorowe), często pracujące w układzie tzw. nerki ciepłowniczej (odgazowanie wody obiegowej).

Korozja naprężeniowa i międzykryształiczna występują głównie w elementach ze stali odpornych na korozję, dlatego pominięto ich wpływ na korozję w sieciach ciepłowniczych. Dokładne omówienie zagadnień korozji w instalacjach sanitarnych można znaleźć w cyklu publikacji pana dr. inż. Andrzeja Góreckiego (Instal nr 2 do 8 z 2002 roku). Również na uwagę zasługują czasopisma: International Journal of Pressure Vessels and Piping wydawnictwa ELSEVIER czy krajowy miesięcznik: Ochrona przed korozją.

## Wpływ zmian ciśnienia roboczego

Na początku artykułu wspomniano o siłach wynikających z działania ciśnienia wewnętrznego na ścianki rurociągu. Jednak pokazano tam tylko statyczne działanie ciśnienia. W systemie ciepłowniczym ciśnienie, zarówno w rurociągu zasilającym, jak też powrotnym, ulega zmianie wzdłuż rurociągu. Wynika to z oporów hydraulicznych (liniowych i miejscowych).

W okresie letnim natężenie przepływu jest małe, a co za tym idzie również prędkość przepływu wody sieciowej jest mała. Spadki ciśnienia w sieci są niewielkie, a ciśnienie na wyjściu ze źródła niewiele wyższe od ciśnienia na wejściu do najbardziej oddalonych węzłów ciepłowniczych. Również opory przepływu przez węzeł w okresie letnim mogą być niższe niż zimą. Powoduje to, że w źródłach ciepła na okres letni wyłącza się pompy o dużych wysokościach podnoszenia i dużych wydatkach, a włącza tzw. „pompy letnie” o mniejszych wysokościach podnoszenia i mniejszych wydatkach. Gdy rozpoczyna się sezon grzewczy, następuje przełączenie z „letnich” pomp obiegowych na pompy „zimowe”. Rośnie wówczas natężenie przepływu wody sieciowej oraz wielkość spadków ciśnienia na rurociągach. Dla warunków obliczeniowych natężenie przepływu wody sieciowej jest najwyższe i najwyższe są też spadki ciśnienia w rurociągach.

Wraz z nadejściem marca, a zwłaszcza kwietnia (okres przejściowy), zaczyna

pojawiać się coraz więcej dni słonecznych, a temperatura powietrza zewnętrznego szybko rośnie. Wówczas tzw. „automatyka pogodowa” montowana w węzłach ciepłowniczych powoduje przemykanie zaworów automatycznej regulacji zamontowanych w obiegu c.o. Powoduje to zmniejszenie przepływu przez węzeł c.o. a czasem całkowite jego zamknięcie. Zwykle zamykają się węzły c.o. na danym obszarze – gdzie panują zbliżone warunki pogodowe (temperatura powietrza zewnętrznego, wiatr, zachmurzenie). W mniejszych systemach może to dotyczyć całego systemu. W dużych, rozległych systemach może to dotyczyć tylko jego fragmentów. Jeśli do tego dochodzi brak rozbiórów c.w. (zwykle w godz. 10-13) to przepływy w danym fragmencie sieci są prawie zerowe. Ciśnienie w rurociągu zasilającym rośnie (brak spadków ciśnienia). Ciśnienie w rurociągu powrotnym spada (brak wody – bo brak przepływu przez węzły). Pracują pompy „zimowe” – ciśnienie na zasilaniu jest wysokie. Różnica ciśnienia w węzłach jest duża – często ponad 10-12 barów. Siłowniki zaworów  $\Delta p$  lub  $\Delta p/v$  mają bardzo często ograniczenie pracy dla różnicy ciśnienia w wysokości 10-12 barów – pomimo, że zawór jest wykonany na PN16. Zawory te przestają pracować poprawnie – nie domykają się. Ponieważ brak jest przepływu, to ciśnienie za zaworem  $\Delta p$  lub  $\Delta p/v$  jest takie, jak w przewodzie zasilającym. Ale siłowniki zaworów regulacyjnych c.o. i c.w. mają podobne ograniczenie – ciśnienie różnicowe rzędu 10-12 barów. Przy większej różnicy ciśnienia uchylają się i powstaje niewielki przepływ. Ciśnienie za węzłem rośnie, gdy różnica ciśnienia spadnie poniżej wspomnianych 10-12 barów, zawór  $\Delta p/v$  jak i zawory regulacyjne zamykają się (spadła różnica ciśnienia). Cykl powtarza się. Pojawiają się bardzo silne pulsacje ciśnienia i hałas w węzłach.

Przykładowo, w węzłach ciepłowniczych Politechniki Warszawskiej usytuowanych w śródmieściu Warszawy, ciśnienie w rurociągu zasilającym w okresie zimowym wynosi 6-7 barów (nadciśnienie). W okresie przejściowym (marzec/kwiecień), gdy temperatura powietrza zewnętrznego osiąga w ciągu dnia  $t_{zewn} = 16-18^{\circ}\text{C}$ , ciśnienie na zasilaniu rośnie do ok. 10 barów. Jednocześnie rozpoczynają się omówione powyżej silne wahania ciśnienia od 6-7 do 10 barów. W przypadku, gdy zjawisko ma miejsce na sieci ciepłowniczej posiadającej głębokie wżery korozyjne, może dojść do rozszczelnienia miejscowego rury przewodowej.

Wielkość zmian naprężeń wzdłużnych i obwodowych w ścianie przewodu rurociągu można oszacować korzystając z tab. 1 i 2. Mamy dużą amplitudę zmian naprężeń, a ich częstotliwość wynosi kilka – kilkanaście Hz. Jeśli przyjąć, że częstotliwość wynosi 5Hz a czas trwania zjawiska 8 godzin, to otrzymamy: w ciągu godziny 18000 cykli, a w ciągu dnia 144 000 cykli. Będą to obciążenia pulsujące o amplitudzie znacznie mniejszej od granicy plastyczności stali (tab. 5). Jednak liczba cykli, zwłaszcza gdy opisane zjawiska utrzymują się kilka dni, mogą wpływać na wytrzymałość materiału ścianki rury – zwłaszcza w miejscach osłabionych wżerami korozyjnymi (rys. 1 i 2).

### Podsumowanie

W niniejszym artykule zasygnalizowano główne czynniki wpływające na awaryjność sieci ciepłowniczych kanałowych. Wnioski przedstawiono w postaci poniższych punktów:

1. Rurociągi stalowe, a zatem sieci ciepłownicze, narażone są na występowanie zjawisk korozyjnych, zarówno korozyji zewnętrznej, jak i wewnętrznej.
2. Zjawiska korozyjne powodują zmniejszenie grubości ścianek rury: równomiernie (korozyja ogólna), jak i lokalnie (korozyja wżerowa).
3. Lokalny spadek grubości ścianki powoduje miejscowy wzrost naprężeń w materiale. Wzrost tych naprężeń ponad dopuszczalne dla danego materiału, z uwzględnieniem wpływu temperatury może powodować lokalne pęknięcia w ścianie rurociągu i powstanie nieszczelności.
4. Wpływ złej jakości wody sieciowej będzie powodował przyspieszenie zjawisk korozyjnych na powierzchni rurociągu – korozyja wewnętrzna.
5. W przypadku, gdy obudowa kanału, zwłaszcza jej górna część rozszczelni się, woda z solą drogową może wpływać do kanału i powodować zawilgocenie izolacji, a w konsekwencji lokalną korozyję wżerową.
6. Niewłaściwie umieszczone włazy mogą powodować korozyję rurociągów (zasolona woda z jezdni i chodników zwilża rurociągi i armaturę w komorach ciepłowniczych poprzez otwory w klapie włazu).
7. Po zimie rurociągi stalowe mogą posiadać zmniejszoną grubość ścianek, wywołaną ww. zjawiskami korozyjnymi. Po kilku czy kilkunastu okresach zimowych i kilkunastu (lub więcej) dniach opisanych powyżej pulsacji

ciśnienia, spowodowanych dużymi dobowymi zmianami temperatury powietrza zewnętrznego w okresie wiosennym (nieodpowiednie działanie zaworów regulacyjnych), materiał rurociągu może być tak uszkodzony, że ulegnie lokalnemu rozszczelnieniu.

8. Nie jest to zwykle pęknięcie rurociągu na całym obwodzie albo na dłuższym odcinku wzdłuż rurociągu, ale najczęściej ogranicza się do obszaru posiadającego znaczne ubytki korozyjne.

Zdecydowanie, dla sieci ciepłowniczych wykonanych w technologii kanałowej, zjawisko korozyji zewnętrznej jest dominującym czynnikiem prowadzącym do występowania nieszczelności. Żelbetonowe konstrukcje kanałów nie stanowią wystarczającej bariery dla penetrującej wilgoci pochodzącej od wód gruntowych, wód opadowych, jak również solanki z jezdni w okresie zimowym. Brak możliwości bieżącego monitorowania poziomu wilgotności izolacji w technologii układania rur ciepłowniczych w kanałach prowadzi to poważnych awarii w okresie przejściowym, wynikających z osłabienia długotrwałą korozyją zewnętrzną ścianki rury przewodowej i jednocześnie dużymi amplitudami zmian ciśnienia w sieci ciepłowniczej.

### Postscriptum

Awarie w sieci ciepłowniczej występują bardziej lub mniej równomiernie w ciągu całego roku. Natomiast awarie w okresie wiosennym są „bardziej odczuwalne” – chyba że ze względów psychologicznych. Już idzie wiosna i lato, już w dzień jest tak przyjemnie, a tu nagle awaria i w nocy w domu robi się chłodno, a mycie też nie

Tab. 6. Liczba awarii w latach 2018-2020 w systemie ciepłowniczym.

miesiąc	Rok		
	2018	2019	2020
styczeń	1	2	1
luty	0	1	0
marzec	2	2	3
kwiecień	3	2	1
maj	1	0	0
czerwiec	0	0	0
lipiec	1	2	2
sierpień	1	1	2
wrzesień	3	2	1
październik	4	1	2
listopad	0	0	0
grudzień	2	0	0
Razem	18	13	12
luty + marzec + kwiecień	5	5	4
Udział (L+M+K)	0,278	0,385	0,33



Rys. 1. Awaria rurociągu zasilającego – widoczny wizer korozji (zdj. M. Chorzelski). Przynajmniej częściowo przykryty kanał. Rurociąg z przełomu lat 80 i 90 ub. wieku

należy do najprzyjemniejszych, gdyż zimna woda jest autentycznie zimna (+5



Rys. 2. Awaria rurociągu zasilającego budynek mieszkalny. Widoczne bardzo silne skorodowania zewnętrzne i perforacja rury. Widoczne strugi wody ciekącej z otworów w dolnej części rurociągu. (zdj. M. Chorzelski). Przynajmniej częściowo przykryty kanał. Rurociąg z przełomu lat 80 i 90 ub. wieku

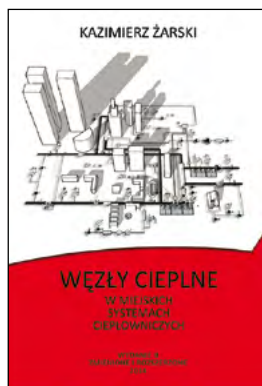
do +10°C). W tabeli 6 pokazano statystykę wystąpień awarii w jednym z krajowych systemów ciepłowniczych o pojemności zładu około 30 000 m<sup>3</sup>. Awarie w okresie wiosennym wcale nie przeważają, co łatwo zauważyć.

Najwięcej awarii wystąpiło w okresie sierpień, wrzesień i październik – odpowiednio 44,4%, 30,7% i 41,6%. Jednak, aby wyciągnąć jakieś dalej idące wnioski należałoby mieć dane z dłuższego okresu (min 10 lat) i z kilku/kilkunastu firm.

Na rys. 1 i 2 zamieszczono zdjęcia fragmentów sieci ciepłowniczej, która podlegała korozji zewnętrznej w wyniku penetracji wód opadowych i solanki.

#### LITERATURA:

- [1] J. Baszkiewicz, M. Kamiński Podstawy korozji materiałów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- [2] Andrzej Górecki Korozja w instalacjach sanitarnych. Instal nr 2/2002.
- [3] Andrzej Górecki Korozja w instalacjach sanitarnych. Instal nr 3/2002
- [4] Andrzej Górecki Korozja w instalacjach sanitarnych. Instal nr 4/2002
- [5] Prezentacja: Korozja wizerowa rur stalowych. XXII Wiosenne spotkania Ciepłowników, Zakopane 28.04.2015 (materiał Veolia Energia Poznań S.A)



Recenzowana książka pt. „Węzły ciepłe w miejskich systemach ciepłowniczych” stanowi kompendium nowoczesnej wiedzy z zakresu rozwiązań doprowadzenia ciepła z sieci ciepłych do budynków. Prezentowane rozwiązania uwzględniają wymagania racjonalnego gospodarowania energią, efektywności ekonomicznej i właściwej współpracy z systemem ciepłowniczym.

W książce przedstawiono w sposób logiczny, uporządkowany i przejrzysty całość zagadnień związanych z projektowaniem i eksploatacją współczesnych indywidualnych węzłów ciepłych, które poprzedzono przypomnieniem niezbęd-

nych podstaw teoretycznych. Zawarto w niej kolejno:

- podstawy teoretyczne z zakresu wymiany ciepła i masy w otwartych układach termodynamicznych,
- podstawy doboru i symulacji działania wymiennika ciepła,
- rodzaje i podstawowe schematy węzłów ciepłych,
- procedury projektowania węzłów ciepłych z podziałem na elementy wspólne i z uwzględnieniem specyfiki projektowania wielofunkcyjnych wymiennikowych węzłów ciepłych oraz węzłów zmieszania pompowego na cele ogrzewania,
- podstawowe rodzaje urządzeń pomiarowych, charakterystyki statyczne i dynamiczne urządzeń węzła ciepłego, stosowane w węzłach układy automatycznej regulacji oraz zasady doboru ich podstawowych elementów,

## „Węzły ciepłe w miejskich systemach ciepłowniczych”

Autor: Kazimierz Żarski

- najważniejsze zagadnienia współpracy węzła ciepłego z siecią ciepłowniczą, rzutujące na wzajemne racjonalne współdziałanie,
- wymagania dotyczące pomieszczeń węzłów ciepłych.

Użyłitanym podsumowaniem książki są przykłady obliczeń węzłów ciepłych wraz z przykładami obliczeń przy pomocy programu komputerowego WEZEL\_X.

W zakresie procedur projektowania i zagadnień współpracy węzła ciepłego z siecią ciepłowniczą Autor prezentuje wyniki własnych badań i przemyśleń. Książka stanowi, zgodnie z zapowiedzią, uwieńczenie i podsumowanie Jego dorobku z tego zakresu, choć, moim zdaniem, nie powinna jeszcze oznaczać zakończenia kariery naukowej i zawodowej.

Fragment recenzji  
prof.dr hab.inż. Haliny Koczyk  
Politechnika Poznańska

Książka została wydana w twardej oprawie w formacie B-5. Cena książki 68 zł + 5% VAT

Zamówienia przyjmuje Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”

02-674 Warszawa, ul. Marynarska 14, tel. (22) 843-77-71, email: wydawnictwo@informacjainstal.com.pl



Zapraszamy na naszą stronę [www.informacjainstal.com.pl](http://www.informacjainstal.com.pl)



# Jakość środowiska wewnętrznego, jako składnik systemów kompleksowej oceny budynków

The quality of the indoor environment as a component of comprehensive building assessment systems

PIOTR BARTKIEWICZ, KAZIMIERZ WOJTAS

DOI 10.36119/15.2021.7-8.2

W dobie coraz bardziej powszechnej komercjalizacji budownictwa na wartość rynkową budynku wpływa szereg jego cech, które podlegają ocenie i klasyfikacji. Niewątpliwie ważnym składnikiem tej oceny jest poziom komfortu środowiskowego, którego zapewnienie wymaga z reguły określonych nakładów finansowych, zarówno inwestycyjnych jak też eksploatacyjnych. Na początku tego wieku wyraźnie zauważalna była tendencja, do często bezkrytycznego obniżania kosztów inwestycyjnych, co najczęściej sprowadzało się do redukcji kosztów związanych z instalacjami wentylacyjno-klimatyzacyjnymi w budynkach, której wynikiem były nieodwracalne konsekwencje dla użytkowników w postaci zwiększonego poziomu dyskomfortu oraz podwyższonych kosztów eksploatacyjnych. Ważnym elementem, który może odwrócić tę niekorzystną tendencję są komercyjne systemy certyfikacji budynków. W opracowaniu dokonano przeglądu kilku wybranych systemów certyfikacji, które wydają się być najbardziej rozpowszechnione na europejskim rynku inwestycyjnym, takich jak: LEED<sup>®</sup>, BREEAM<sup>®</sup>, WELL<sup>®</sup> oraz TAIL<sup>®</sup>. Głównym celem przeprowadzonej analizy była próba oszacowania znaczenia jakości i zawartości instalacji wentylacyjno, klimatyzacyjno, ogrzewczych (nazywanych potocznie instalacjami HVAC) oraz zakresu ich wpływu na końcowy efekt i poziom przydzielonego budynkowi certyfikatu.

*Słowa kluczowe: system wentylacji i klimatyzacji, certyfikacja budynku, instalacje HVAC*

Currently, the market value of commercial building is influenced by a number of its features, which are subject to assessment and classification. Undoubtedly, an important component of this assessment is the level of indoor environment quality, the provision of which usually requires certain financial outlays, both of investment and operational character. At the beginning of this century, there was a clearly noticeable tendency to reduce investment costs, which most often boiled down to the reduction of the quality of ventilation and air conditioning systems in buildings, which resulted in irreversible consequences for users in the form of an increased level of discomfort and increased operating costs. An important element that can reverse this negative trend is commercial building certification systems. The study reviews a few selected certification systems that seem to be the most widespread on the European investment market, such as LEED<sup>®</sup>, BREEAM<sup>®</sup>, WELL<sup>®</sup> and TAIL<sup>®</sup>. The main purpose of the analysis was an attempt to estimate the importance of the quality and content of ventilation, air conditioning and heating installations (commonly known as HVAC installations) and the scope of their impact on the final effect and the level of the certificate assigned to the building.

*Keywords: ventilation and air conditioning system, building certification, HVAC installations*

## Wstęp

W ostatnich latach nastąpiła zauważalna zmiana w kierunku budownictwa zrównoważonego, którego założeniem jest równomierne rozłożenie nacisku na poszczególne cechy budynku w perspektywie jego cyklu życia nie tylko z punktu widzenia kosztów i zużycia energii, ale również biorąc pod uwagę takie zagadnienia, jak: komfort i „przyjazność” dla użytkowników, wpływ na środowisko, ergonomia, możliwość recyklingu i biodegradowalność materiałów oraz wiele innych.

Ponieważ niemożliwym wydaje się prawne zadekretowanie takich wymogów w ustawach lub rozporządzeniach, coraz większego znaczenia na rynku budowlanym nabierają komercyjne systemy ocen budynków

i związane z tym przyznawanie certyfikatów budynkom spełniającym precyzyjnie wymagania określone przez powołane do tego organizacje, których zadaniem jest ich weryfikacja w praktyce. Do najbardziej znanych i coraz bardziej popularnych systemów kompleksowej oceny pod kątem zgodności z zasadami zrównoważonego rozwoju należą na przykład globalne LEED<sup>®</sup>, BREEAM<sup>®</sup> oraz szereg lokalnych np. DGNB<sup>®</sup>, HQE<sup>®</sup>, lub TAIL<sup>®</sup>. Dalej idącym certyfikatem jest WELL<sup>®</sup>, w którym akcent ze zrównoważenia budynku przesunięty zostaje na jego użytkownika. Wszystkie polegają na „przyznawaniu punktów” określonym obszarom oceny za spełnienie określonych warunków. Na tej podstawie jest ustalany końcowy ranking i przyznanie budynkowi określonego pozo-

mu danego certyfikatu. W każdym z nich, w różny sposób ujęte są instalacje HVAC<sup>1</sup> mające na celu kształtowanie warunków komfortu wewnętrznego.

Ponieważ celem artykułu jest kompleksowa analiza zagadnień związanych z kształtowaniem komfortu środowiskowego wewnątrz budynków, autorzy poczuli się zobligowani do naświetlenia tych zagadnień również z komercyjnego punktu widzenia.

Poniżej przedstawiono sposoby i wpływ poszczególnych aspektów instalacji HVAC na końcową ocenę budynku w ramach kilku wybranych systemów klasyfikacji.

<sup>1</sup> W artykule użyto nazwy *instalacje HVAC* jako określenia instalacji wentylacyjno – klimatyzacyjno – grzewczo-chłodzącej, która jest odpowiedzialna za kształtowanie klimatu komfortu wewnętrznego w budynkach

Dr inż. Piotr Bartkiewicz, prof. PW – Politechnika Warszawska;; dr inż. Kazimierz Wojtas – <https://orcid.org/0000-0001-7606-7971>; Politechnika Krakowska. Adres do korespondencji/ Corresponding author: [kwojtas@pk.edu.pl](mailto:kwojtas@pk.edu.pl)

## Certyfikacja w systemie LEED®

System certyfikacji LEED® został opracowany przez amerykańskie stowarzyszenie *US Green Building Council (USGBC)*. Jest to system, który ocenia cechy budynku na wszystkich 3-ch etapach jego realizacji, czyli od zintegrowanego projektowania poprzez realizację aż do uzyskania efektów eksploatacyjnych. Głównym założeniem przyjętego sposobu oceny jest uzyskanie, przy minimalnych nakładach inwestycyjnych i eksploatacyjnych, budynku maksymalnie przyjaznego użytkownikowi, ze szczególnym naciskiem na jego zdrowie, wybudowanego i eksploatowanego przy wysokim poziomie poszanowania środowiska naturalnego człowieka. Ocena projektu jest wielowarstwowa i skomplikowana. Jest ona rozłożona na dwa etapy: oceny wstępnej przy złożeniu wniosku przez inwestora oraz oceny weryfikacyjnej po ukończeniu inwestycji, której dokonuje niezależny zespół ekspertów wg precyzyjnie określonych wytycznych i zasad [1,2]. Na tym etapie przyznawane są „punkty kredytowe” za realizację określonych wymagań w kilku zasadniczych kategoriach, których podstawowe cechy zostały zaprezentowane w tabeli 1.

Liczba punktów, różna w zależności od wagi przydzielonej każdej kategorii, jest sumowana i w zależności od wyniku przyznawane są certyfikaty LEED® na jednym z 4-ch poziomów: podstawowym, srebrnym, złotym lub najwyższym, platynowym. Analizując zarówno zakresy wyżej wymienionych kategorii jak i liczby przyznawanych punktów można dojść do wniosku, że waga instalacji HVAC, mającej na celu zapewnienie komfortu wewnętrznego, jest w tej hierarchii bardzo umiarkowana. Znakomitą większość punktów zależnych od jakości wykonania systemu HVAC można uzyskać w kategorii związanej ze zużyciem energii (*Energy Performance w kategorii Energy&Atmosphere*). Maksymalne liczby przyznawanych punktów różnią się nieznacznie w zależności od rodzaju i przeznaczenia budynku<sup>2</sup>. Absolutne maksimum do osiągnięcia w typowych dla budynków certyfikacjach New Construction (NC) i Core&Shell (C&S) to 110 punktów.

Za co i w jakiej kategorii projektant HVAC może uzyskać punkty w tym procesie (LEED v.4 BD+C)? Otóż za spełnienie wymagań dotyczących komfortu wewnętrznego – **kategoria EQ** (w zakresie, jakości powietrza wewnętrznego, komfortu cieplnego oraz hałasu): **maksymalnie 10 punktów (C&S) i 16 punktów (NC)**. Znacznie większy udział punktowy instalacje HVAC mają w kategorii **EA**, gdyż silnie są związane z efektywnością, zużyciem energii, rodzajem zasilania, rodzajem czynnika chłodniczego, rozru-

Tabela 1. Podstawowa charakterystyka kategorii certyfikacji LEED

Nazwa w j. angielskim	Skrót (akronim)	Zakres	Maksymalna liczba punktów do uzyskania
Location and Transportation	LT	lokalizacja, transport i komunikacja z otoczeniem	36
Sustainable Sites	SS	zrównoważone budownictwo, przyjazne dla środowiska	15
Water Efficiency	WE	efektywność zużycia oraz pozyskiwania wody	12
Energy and Atmosphere	EA	oszczędność energii i czyste i zdrowe powietrze	35
Materials and Resources	MR	materiały i źródła ich pochodzenia	20
Indoor Environment Quality	EQ	jakość środowiska wewnętrznego	19
Innovation	IN	innowacyjność rozwiązań	5
Regional Priority	RP	zgodność z regionalnymi warunkami zabudowy	4

Tabela 2. Przykład klasyfikacji budynku wg systemu BREEAM®

BREEAM section	Przyznane punkty kredytowe	Maksymalne punkty kredytowe	Przyznane punkty procentowe	Współczynnik wagowy dla danej kategorii	Końcowy wynik
Zarządzanie	10	20	50.00%	0.12	6.00%
Zdrowie i komfort	17	21	80.95%	0.15	12.14%
Energia	27	34	79.41%	0.19	15.09%
Transport	5	11	45.45%	0.08	3.63%
Woda	5	9	55.56%	0.06	3.33%
Materiały	10	14	71.43%	0.125	8.92%
Odpady	3	13	23.07%	0.075	1.73%
Ekologia i Środowisko	5	5	100.00%	0.10	10.00%
Zanieczyszczenie środowiska	9	13	69.23%	0.10	6.92%
Innowacyjność	2	10	20.00%	0.10	2.00%
Sumaryczny wynik:					70,02 %
Przyznana klasa BREEAM®: EXCELLENT (DOSKONAŁY)					

chem, możliwościami kontroli i optymalizacji pracy urządzeń, na etapie rozruchu i eksploatacji. W tej kategorii instalacje HVAC mogą przynieść maksymalnie 33 punkty (jeżeli przyjmujemy optymistyczne założenie, że zespół projektowy HVAC decyduje o wytycznych do układu sterowania, wyborem nośników energii końcowej, sposobami zarządzania przepływami energii wewnątrz budynku łącznie z rozwiązaniami i efektywnością urządzeń biorących udział w kształtowaniu klimatu wewnętrznego). Analizując szczegółowe wymagania dla poszczególnych obszarów kategorii **EQ**, można zaryzykować tezę, iż jakość instalacji HVAC wraz z systemem sterowania, będącym głównym składnikiem systemu BMS budynku, może przynieść maksymalnie około **12-15 punktów (NC)**, zaś w kategorii **EA** **około 25 punktów (NC)** czyli „sumaryczny wynik”, na który mają wpływ te instalacje to około **30-40 %** maksymalnej puli punktów kredytowych.

## Certyfikacja w systemie BREEAM®

System certyfikacji BREEAM® powstał dzięki organizacji BRE Global Ltd z siedzibą w Watford w Wielkiej Brytanii. Podobnie jak LEED ma na celu skwantyfikowanie kompleksowej oceny budynków o charakterze komercyjnym w celu umożliwienia potencjalnemu odbiorcy – użytkownikowi szybkiej i obiektywnej oceny tych jego cech, które uważa za

ważne ze swojego punktu widzenia. Mimo podobnego celu, system BREEAM różni się dość znacznie od poprzedniego sposobem przyznawania punktów w poszczególnych kategoriach oceny oraz normami, na których oparte jest ich uzyskanie. Podstawą końcowej klasyfikacji budynku jest skala procentowa, którą uzyskuje się w następujący sposób:

- W każdej z 9 kategorii (patrz przykład w tabeli 2) przyznawane są punkty za spełnienie warunków precyzyjnie określonych w dokumencie [3], które są przeliczane na procenty w stosunku do maksymalnej liczby punktów „kredytowych” możliwych do przyznania w danej kategorii.
- Uzyskany w ten sposób wynik w każdej kategorii mnoży się przez współczynnik wagowy przyznany uprzednio danej kategorii (w zależności od rodzaju budynku, regionu, obszaru, państwa i jego regionalnej polityki środowiskowej);
- Uzyskane w ten sposób wyniki w punktach procentowych w poszczególnych kategoriach sumuje się i wynik końcowy jest podstawą do zakwalifikowania budynku do poszczególnych klas, zgodnie z tabelą 3.

Klasyfikacji podlegają tylko te budynki, które w każdej z kategorii spełnią pewne minimalne wymagania określone w dokumencie „BREEAM International New Construction 2016. Technical Manual” [3]

Dodatkowo można przyznać maksymalnie 10 punktów procentowych za innowacyjność (1 punkt w każdej z kategorii).

<sup>2</sup> LEED zakłada możliwość certyfikacji całego budynku (NC) lub budynku bez powierzchni przeznaczonej do wynajęcia (C&S).

**Tabela 3. Klasyfikacja budynków wg BREEAM**

Klasy BREEAM	Punkty procentowe
OUTSTANDING (WSPANIAŁY)	> 85
EXCELLENT (DOSKONAŁY)	> 70
VERY GOOD (BARDZO DOBRY)	> 55
GOOD (DOBRY)	> 45
PASS (SKLASYFIKOWANY)	> 30
POZAKLASOWY	< 30

Mając na uwadze wpływ cech jakościowych instalacji HVAC na klasyfikację BREEAM należy zwrócić uwagę na następujące kategorie:

#### a) Zdrowie i komfort

W tabeli 4 zestawiono zagadnienia, które są brane pod uwagę przy przyznawaniu punktów kredytowych w poszczególnych podkategoriach. Czcionką pogrubioną wyszczególniono te, które mają bezpośredni związek z instalacją HVAC budynku.

Sumarycznie, zagadnienia związane bezpośrednio z instalacjami HVAC mogą wygenerować w dziedzinie „zdrowie i komfort” maksymalnie 7 punktów na 21 możliwych, czyli 33 punkty procentowe w tej kategorii.

#### b) Energia

Ta kategoria zachęca do specyfikacji i projektowania energooszczędnych rozwiązań w zakresie zarówno konstrukcji budowlanych, jak też wyposażenia budynku, które mają umożliwić maksymalizację oszczędności energii i wspierać jej zrównoważone wykorzystanie poprzez odpowiednie nią zarządzanie w trakcie eksploatacji. Poszczególne zagadnienia w tej kategorii zawierają ocenę podjętych środków poprawiających naturalną efektywność energetyczną budynku i mają zachęcać do redukcji emisji dwutlenku węgla oraz zmniejszenia zużycia energii pierwotnej.

Jak wynika z powyższego zestawienia w kategorii „oszczędność energii” udział rozwiązań zastosowanych przez projektanta HVAC może przynieść maksymalnie około 15 punktów na 34 możliwe, co jest równoważne 44 punktom procentowym w tej kategorii.

#### c) Zanieczyszczenie środowiska

W tej kategorii jest do zdobycia maksymalnie 13 punktów kredytowych, z czego maksymalnie 4 są ściśle związane z rodzajem zastosowanych czynników ziębniczych wyrażonych w bezpośrednim ekwiwalencie CO<sub>2</sub> jak i systemom kontroli i zapobiegania jego wyciekom. Stanowi to maksymalnie 31 punktów procentowych.

Podsumowując, sposób oceny budynku według metodyki BREEAM® z punktu widzenia projektanta instalacji HVAC można stwierdzić, że jeżeli kategoriom: „zdrowie i komfort”, „energia” oraz „zanieczyszczenia środowiska” zostałyby przydzielone współczynniki wagowe, odpowiednio: 0,2; 0,15

**Tabela 4. Wymagania w kategorii „zdrowie i komfort” wg systemu BREEAM®**

Podkategoria	Maksymalna liczba punktów kredytowych	Zagadnienia będące podstawą oceny	Maksymalna szacunkowa liczba punktów zależnych od instalacji HVAC*
<b>Hea01</b> (Komfort wizualny)	6	Wszystkie zagadnienia związane z odczuciami wzrokowymi użytkowników	0
<b>Hea02</b> (Jakość powietrza wewnętrznego)	5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Minimalizacja źródeł zanieczyszczenia powietrza poprzez staranny projekt, specyfikację i planowanie.</li> <li><b>Strategia wentylacji budynku musi przewidywać możliwość dostosowania do zmiennych potrzeb użytkowników budynku</b></li> </ul>	4
<b>Hea03</b> (Bezpieczeństwo w laboratoriach)	2	Zagadnienia dotyczące bezpieczeństwa pracowników w różnego rodzaju pomieszczeniach laboratoryjnych	0
<b>Hea04</b> (Komfort cieplny)	3	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Zgodność modelowych obliczeń cieplnych z odpowiednimi normami.</b></li> <li><b>Uwzględnienie w obliczeniach cieplnych dynamicznych zmian warunków klimatycznych</b></li> <li><b>Możliwość analizy przez użytkownika wpływu przyjętej strategii regulacji parametrów komfortu na własności użytkowe</b></li> </ul>	3
<b>Hea04</b> (Dostępność budynku)	2	Wszystkie aspekty związane ze sposobem dostępu do budynku i poszczególnych jego części	0
<b>Hea05</b> Zagrożenia	1	Zagadnienia związane z bezpieczeństwem użytkownika budynku	0
<b>Hea06</b> (Prywatność)	1	Zapewnienie miejsc wokół budynku, które stworzą wrażenie „prywatności”	0
<b>Hea07</b> (Jakość wody)	1	Zagadnienia dotyczące źródeł wody przeznaczonej do spożycia i jej jakości	0

\*Sugerowana w tej kolumnie liczba punktów kredytowych wynika z subiektywnej oceny autorów opracowania

**Tabela 5. Wymagania w kategorii „energia” wg systemu BREEAM®**

Podkategoria	Maksymalna liczba punktów kredytowych	Zagadnienia będące podstawą oceny	Maksymalna szacunkowa liczba punktów zależnych od instalacji HVAC*
<b>Ene 01</b> (Redukcja zużycia energii i emisji CO <sub>2</sub> )	15	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wykazanie oszczędności w stosunku do krajowych standardów budownictwa w zakresie zapotrzebowania na energię grzewczą, chłodniczą, zużycie energii pierwotnej oraz emisja dwutlenku węgla.</li> <li>Zastosowanie rozwiązań systemowych zachęcających do podjęcia działań zmierzających do zmniejszenia zapotrzebowania na energię.</li> </ul>	7
<b>Ene 02</b> (Monitorowanie zużycia energii)	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ciągły monitoring i rejestracja zużycia nośników energii w czasie rzeczywistym.</li> <li>Montaż sub-liczników energii w odpowiednich miejscach instalacji (stref wynajmu powierzchni)</li> <li>Specyfikacja miejsc i sposobów wyświetlania danych pomiarowych.</li> </ul>	3
<b>Ene 03</b> (Oświetlenie naturalne)	1	Nie dotyczy	0
<b>Ene 04</b>	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analiza proponowanego projektu budowlanego i zagospodarowania w celu określenia możliwości zastosowania pasywnych rozwiązań projektowych, w tym free coolingu.</li> <li>Studium wykonalności w celu określenia i lokalizacji około-zero-emisyjnych źródeł energii w celu ich wykorzystania w projekcie.</li> </ul>	2
<b>Ene 05</b> (Efektywna energetycznie akumulacja chłodu)	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>System chłodzenia, jego elementy sterujące i komponenty zaprojektowane, zainstalowane i uruchomione zgodnie z odpowiednimi normami umożliwiającą redukcję pośredniej emisji gazów cieplarnianych.</li> </ul>	3
<b>Ene 06</b> (Efektywny transport)	3	Nie dotyczy	0
<b>Ene 07</b> (Efektywne energetycznie laboratoria)	5	Nie dotyczy	0
<b>Ene 08</b> (Niskoenergetycznie wyposażenie użytkowe)	2	Nie dotyczy	0
<b>Ene 09</b> (Efektywne suszenie)	1	Nie dotyczy	0

\*Sugerowana w tej kolumnie liczba punktów kredytowych wynika z subiektywnej oceny autorów opracowania

i 0,1 to wynik procentowy mógłby wynieść ok. 28%, co oznacza udział procentowy tych kategorii w całkowitej ocenie budynku Very

Good (np. 68%) mógłby wynieść maksymalnie około 40 % a więc byłby na podobnym poziomie jak w systemie LEED.

## Certyfikacja w systemie WELL®

System oceny WELL Health-Safety został stworzony przez *International WELL Building Institute (IWBI)*, organizację pozarządową, której celem jest stworzenie formalnych podstaw i nadzór nad czynnościami mającymi na celu poprawę zdrowia w budynkach i innych przestrzeniach, w których przebywa człowiek. Ocena bezpieczeństwa zdrowotnego WELL® ma na celu uzupełnienie, a nie zastąpienie oceny wymagań prawnych i przepisów obowiązujących w tym zakresie na terenie danego kraju. Stworzony przez tę organizację system polega na ocenie przez „notyfikowanych ekspertów”, możliwie wszystkich cech budynku, oddawanego do użytkowania, które mogą wpływać na zdrowie, samopoczucie i komfort osób w nim przebywających. Ocenie tej podlegają wszystkie aspekty szczegółowo określone w dokumencie zatytułowanym „*Well Health-Safety Rating for Facility Operations & Management*” [5], które podzielono na 23 kategorie, w ramach następujących głównych obszarów:

- Procedury sanitarne;
- Programy gotowości na wypadek sytuacji kryzysowych;
- Zasoby dotyczące zdrowia;
- Zarządzanie jakością powietrza i wody;
- Zaangażowanie i komunikacja użytkowników i udziałowców;
- Innowacje.

Budynek uzyskuje aprobatę (certyfikat) WELL®, jeżeli spełnia warunki wyszczególnione dla minimum 15 kategorii.

Należy zauważyć, że w systemie WELL® duży nacisk kładzie się nie tylko na sam budynek, jego lokalizację, konstrukcję i wyposażenie, ale również na dokumenty i procedury związane z eksploatacją budynku.

Podobnie jak w uprzednio omawianych przypadkach systemów certyfikacji, poniżej zostały przedstawione te kategorie, których wymagania są, albo wydają się być w gestii projektanta systemów i instalacji HVAC (*Uwaga: numeracja kategorii jest zgodna z dokumentem [5]*)

### 16) Ocena systemu wentylacji

W projekcie instalacji HVAC należy wykazać:

- a) maksymalny strumień dostarczanego do pomieszczeń powietrza zewnętrznego, jaki może zapewnić system wentylacji mechanicznej,
- b) potencjalne możliwości elementów sterujących systemu w celu zwiększenia dopływu powietrza zewnętrznego (np. wydłużenie okresu pracy, zmiana nastawy dla systemów wentylacji, sterowanych na żądanie),
- c) zakres wydajności, do którego system

- wentylacji mechanicznej może działać bez recyrkulacji powietrza,
- d) czy i jak którakolwiek z potencjalnych modyfikacji systemu HVAC wpłynie na:
    - zużycie energii,
    - zdolność do zarządzania warunkami komfortu cieplnego (np. unikanie przeciągów, eliminacja recyrkulacji, kontrola parametrów powietrza),
    - procedury eksploatacyjne mające na celu utrzymanie parametrów przez cały okres eksploatacji.

### 17) Kontrola i konserwacja systemów uzdatniania powietrza

- a) Inwentaryzacja elementów do oczyszczania powietrza

Projekt zawiera inwentaryzację wszystkich filtrów i sprzętu UVGI używanych do „mikrobiologicznego” uzdatniania powietrza i wskazuje na ich lokalizację w:

- centralach i instalacji wentylacyjnej,
- klimakonwektorach,
- indywidualnych urządzeniach do oczyszczania powietrza.

- b) Ocena sposobów oczyszczania powietrza

W projekcie instalacji uwzględniono:

- najwyższą możliwą efektywność urządzeń do oczyszczania powietrza, filtrów cząstek stałych (szczególnie w przypadku występowania recyrkulacji, jeśli występuje), które można zainstalować w projektowanym systemie wentylacji lub klimatyzacji,
- zdolność systemu wentylacji mechanicznej do zastosowania urządzeń UVGI.

W przypadku braku takich rozwiązań, w projekcie należy wskazać:

1. warunki, w jakich zostaną zainstalowane te urządzenia i elementy do oczyszczania powietrza, lub
2. harmonogram instalacji systemów oczyszczania.

- c) Konserwacja urządzenia

W przypadku urządzeń zidentyfikowanych w specyfikacji i inwentaryzacji systemu należy wykazać, że filtry i/lub lampy UV są wymieniane zgodnie z instrukcjami i w okresach zalecanych przez producentów. Deklaracja jest składana i rejestrowana corocznie za pośrednictwem platformy cyfrowej WELL.

### 19) Stały monitoring jakości powietrza i wody

W pomieszczeniach do ciągłego przebywania ludzi prowadzony jest ciągły monitoring parametrów powietrza, a wyniki w odstępach nie dłuższych niż raz w roku, są przesyłane i rejestrowane za pośrednictwem

platformy cyfrowej WELL. W ramach tych działań są mierzone następujące zanieczyszczenia (z podaniem liczby i miejsca pobierania próbek, punktach zgodnych z wymaganiami określonymi w procedurach zarządzania jakością powietrza):

- a) pył zawieszony – PM<sub>2,5</sub> i/lub PM<sub>10</sub>,
- b) lotne związki organiczne – LZO (VOC) ogółem i/lub formaldehyd,
- c) ozon,
- d) tlenek węgla.

Jak można zauważyć z powyższego zestawienia, jakość i innowacyjność rozwiązań instalacji HVAC w budynku, ich wyposażenie w odpowiednie systemy sterowania, monitoringu i zarządzania ich pracą, mogą stanowić podstawę do spełnienia wymagań Well Health-Safety Rating w trzech powyższych kategoriach. Ponieważ do udzielenia budynkowi certyfikatu WELL® wystarczy spełnić wymagania 15 z nich, można więc stwierdzić, że dzięki odpowiednio zaprojektowanym instalacjom HVAC można spełnić ok. 30% niezbędnych wymagań w tym systemie oceny budynków.

## Nowa propozycja oceny warunków klimatu wewnętrznego wg systemu TAIL®

Opisane powyżej systemy oceny budynków, które wydają się być najbardziej popularne na rynku budownictwa komercyjnego w Polsce, starają się uwzględnić swoim zakresem kompleksowo wszystkie cechy użytkowe budynku. Jak zostało to wykazane powyżej, zagadnienia jakości środowiska wewnętrznego, które są kształtowane przez instalacje HVAC (w szczególności przez systemy wentylacji i klimatyzacji) mają w systemach certyfikacji budynków około trzydziesto – czterdziestoprocentowy wpływ na końcową ocenę i klasyfikację.

Niewątpliwie wadą tych systemów jest fakt, iż w zasadzie dotyczą procesów inwestycyjnych i służą do oceny budynków nowych oddawanych do użytkowania. Natomiast wdrożenie Dyrektyw EPBD i Erp oraz polityka antyemisyjna Unii Europejskiej wymusiły na znacznej liczbie właścicieli budynków używanych konieczność termomodernizacji. Niestety, częstym efektem tego procesu było i jest pogorszenie parametrów jakości środowiska wewnętrznego (np. przez redukcję strumienia powietrza wentylacyjnego, uszczelnienie stolarki itp.). O ile w budynkach mieszkalnych inwestor jest z reguły użytkownikiem i ponosi wprost konsekwencje swoich działań, to w przypadku budynków komercyjnych (budynków użyteczności publicznej, biur, hoteli, itp.) funkcje te pełnią odrębne podmioty. Aby możliwie precyzyjnie i obiektywnie ocenić i porównać jakość śro-

dowiska wewnętrznego przed i po procesie modernizacji europejski projekt naukowy pod nazwą ALDREN (Alliance for Deep RENovation in buildings) przedstawił w ostatnim czasie bardzo ciekawą propozycję oceny jakości środowiska wewnętrznego w budynkach pod nazwą TAIL® [6,7] (nawiasem mówiąc, projekt ALDREN zaproponował także inne rozwiązania dotyczące termomodernizacji w budynkach biurowych i hotelach). W ramach systemu TAIL przeprowadzana jest ocena takich sfer środowiska wewnętrznego, jak:

- warunki termiczne (Thermal environment),
- akustyka (Acoustic environment),
- jakość powietrza wewnętrznego (Indoor air quality),
- oświetlenie (Luminous – Visual Environment).

W odróżnieniu od wcześniej opisanych systemów oceny jakości środowiska wewnętrznego system ten jest w dużej mierze zależny od działań związanych z instalacjami HVAC. Nie można, więc w bezpośredni sposób porównywać go z poprzednimi. W związku z powyższym, dla inżyniera branży wentylacyjno-klimatyzacyjnej stanowi on bardzo ciekawą propozycję z uwagi na cechy wyszczególnione poniżej.

System TAIL proponuje maksymalnie „zobiektywizowaną” ocenę, gdyż po pierwsze opiera się, tam gdzie jest to możliwe, na stosunkowo prostych pomiarach szeregu parametrów mających decydujący wpływ na jakość środowiska wewnętrznego (patrz tabela 6), a następnie porównując otrzymane wyniki pomiarowe z odpowiednimi normami, głównie PN-EN 16798 [8], lub wytycznymi WHO dot. jakości powietrza (*WHO air quality guidelines* [9,10,11]), przyznaje się im na tej podstawie odpowiednie kategorie jakości od najwyższej oznaczonej cyfrą rzymską I, gdy spełniony jest wyższy niż standardowy poziom oczekiwań użytkowników, do najniższej oznaczonej IV, gdy niespełnione są minimalne wymagania „normowe”.

Oceniane parametry lub wskaźniki podzielono na 4 grupy przydzielając je do opisanych powyżej obszarów charakteryzujących środowisko wewnętrzne (oznaczonych symbolami T, A, I, oraz L – patrz tabela 6). Interesującą cechą tego systemu klasyfikacji jest fakt, iż przyjęto w nim zasadę, że nie średnia, ale minimalna kategoria dla danego parametru „reprezentuje” kategorię danej grupy, podobnie jak minimalna kategoria grupy wyznacza całościową kategorię jakości środowiska wewnętrznego. Związane jest to z dwoma czynnikami: próba stworzenia zachęty do poprawy warunków środowiska wewnętrznego oraz dlatego, że nie wiadomo



Rys. 1. Sposób oznakowania kategorii TAIL [7]

jaki jest udział procentowy jakości poszczególnych parametrów środowiska wewnętrznego w jego całościowej ocenie przez użytkowników. W celach komercyjnych poszczególnym kategoriom przydzielono „sugestywne” kolory: I – zielony, II – żółty, III – pomarańczowy, IV – czerwony oraz opracowany został oznakowany symbol podsumowujący ocenę, którego przykład przedstawia rysunek 1. Kategorie jakości odpowiadają kategoriom zdefiniowanym przez PN-EN-16798 [8].

Podsumowując, można stwierdzić, że system oceny TAIL umożliwia użytkownikowi budynku lub jego właścicielowi obiektywną i szybką a jednocześnie kompleksową ocenę poziomu jakości środowiska wewnętrznego jak również skalę zagrożeń dla zdrowia użytkowników wynikających ze strony jakości środowiska wewnętrznego, mogących być przyczyną zjawiska określanego często jako „syndrom chorego budynku” (Sick Building Syndrom).

W podsumowaniu powyższego artykułu należy wyraźnie stwierdzić, że zostały w nim omówione tylko te, wybrane sposoby oceny jakości budynków, które według autorów

Tabela 6. Parametry oceny jakości środowiska wewnętrznego wg TAIL®

Lp	Opis ocenianego parametru/wskaźnika	Obszar komfortu	
1	Temperatura [°C]	Warunki termiczne (Thermal Environment)	
2	Poziom hałasu [dB(A)]	Akustyka (Acoustics)	
3	Strumień powietrza wentylacyjnego (świeżego), [l/s]	Jakość powietrza wewnętrznego (Indoor Air Quality)	
4	Stężenie CO <sub>2</sub> [ppm]		
5	Stężenie benzenu, [mg/m <sup>3</sup> ]		
6	Stężenie formaldehydu, [mg/m <sup>3</sup> ]		
7	PM <sub>2,5</sub> , [mg/m <sup>3</sup> ]		
8	Radon, [Bq/m <sup>3</sup> ]		
9	Wilgotność względna, [%]		
10	Widoczna pleśń, lub grzyby na powierzchni ścian, [cm <sup>2</sup> ]		
11	Współczynnik światła dziennego, [DF]		Oświetlenie (Luminous – Visual Environment)
12	Natężenie oświetlenia, [lx]		

mają zasięg globalny. Oprócz wyżej wymienionych funkcjonuje jeszcze co najmniej kilkanaście propozycji o mniejszym zasięgu. Niewątpliwie, każdy z nich kładzie nacisk na nieco inne zagadnienia, ale z całym przekonaniem można powiedzieć, że wszystkie przyczyniają się do podniesienia jakości budynków zarówno z punktu widzenia komfortu użytkowników jak i poszanowania środowiska naturalnego i energii.

Na zaprezentowanych w opracowaniu przykładach zostało w sposób dobitny wykazane, że jakość instalacji HVAC, szczególnie w ocenie budynków nowych, w których są one kształtowane w ramach tzw. „projektowania zintegrowanego” może mieć dominujący wpływ na końcowy rezultat procesu certyfikacji.

Uogólniając powyższy wniosek należy podkreślić, że świadome projektowanie tego typu instalacji, na obecnym etapie rozwoju techniki klimatyzacyjno-grzewczej wymaga od projektanta olbrzymiego zasobu wiedzy i bardzo dobrej znajomości rynku urządzeń, których nie zastąpi nawet najlepszy program komputerowy wspomagający projektowanie.

#### LITERATURA:

- [1] „LEED v4 for Building Design and Construction” – manual – US Green Building Council,
- [2] „Reference Guide for Building Design and Construction” – US Green Building Council, 2013
- [3] „BREEAM International New Construction 2016” – Technical Manual, SD233 2.0
- [4] <https://www.breem.com/discover/how-breem-certification-works/>
- [5] „WELL Health-Safety Rating for Facility Operations and Management” – International WELL Building Institute pbc – 2020
- [6] Wargocki P, Mandin C, Wei W. – „ALDREN – TAIL Index for Rating IEQ” – ASHRAE Journal, Dec. 2019
- [7] Wargocki P, Mandin C. – „Nowy wskaźnik – TAIL. Ocena jakości środowiska wewnętrznego w budynkach termomodernizowanych” – Rynek Instalacyjny – Czerwiec 2020.
- [8] PN-EN 16798-1 „Charakterystyka energetyczna budynków. Wentylacja budynków. Część 1: Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego do projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków w odniesieniu do jakości powietrza wewnętrznego, środowiska cieplnego, oświetlenia i akustyki
- [9] World Health Organization, 2010. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants, WHO Regional Office for Europe. Copenhagen, Denmark.
- [10] World Health Organization, 2009. WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould. Copenhagen, Denmark.
- [11] World Health Organization, 2005. Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/78638/E90038.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf).

# Sterowanie energoptymalne systemami HVAC z recyrkulacją i odzyskiem ciepła w pomieszczeniach czystych

Energy-optimized control of HVAC systems with recirculation and heat recovery in cleanrooms

MONIKA JAKUBIAK, MIECZYŚLAW POROWSKI

DOI 10.36119/15.2021.7-8.3

W artykule zaprezentowano algorytmy energoptymalnego sterowania standardowym systemem HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning) z recyrkulacją, odzyskiem ciepła (obrotowym regeneratorem energii) i chłodnicą suchą w obiegu recyrkulacyjnym dla pomieszczenia czystego ISO5 (M3.5, kl. 100). Wyznaczono roczne zapotrzebowanie na energię użytkową, końcową i pierwotną dla obróbki termodynamicznej powietrza i przypadku realnych obciążeń oraz parametrów eksploatacyjnych, a także dwóch wariantów sterowania: standardowego – wariantu I i energoptymalnego – wariantu II. Jako narzędzie analizy sformułowano model symulacyjny działania systemu HVAC w ciągu całego roku. Wykazano, iż wdrożenie algorytmów sterowania energoptymalnego (wariantu II) pozwala zmniejszyć roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną systemu HVAC aż o 39,2% w stosunku do strategii standardowej (wariantu I).

*Słowa kluczowe: sterowanie energoptymalne, systemy HVAC, pomieszczenia czyste*

The article presents algorithms of energy-optimal control of a standard HVAC system with recirculation, heat recovery (rotary energy regenerator) and a dry cooler in a recirculation cycle for a cleanroom ISO5 (M3.5, cl. 100). The annual demand for usable, final and primary energy was determined for thermodynamic air treatment and the case of real loads and operating parameters, as well as two control variants: standard – variant I and energy-optimal – variant II. A simulation model of the HVAC system operation throughout the year was formulated as an analysis tool. It has been shown that the implementation of energy-optimal control algorithms (variant II) allows to reduce the annual primary energy demand of the HVAC system by as much as 39.2% compared to the standard strategy (variant I).

*Keywords: energy-optimal control, HVAC systems, cleanrooms*

## Wprowadzenie

Systemy HVAC pomieszczeń czystych generują bardzo duże zużycie energii. Wynika to z relatywnie dużych wymagań strumieni powietrza, trójstopniowej filtracji i na ogół konieczności ciągłego działania. Udział systemów HVAC w zapotrzebowaniu na energię w fabrykach o zaawansowanych technologiach według Hu i in. [2] oraz Zhao i in. [14] wynosi 40÷50%, natomiast według Shana i Wanga [11] oraz Tsao i in. [12, 13] przedział ten jest szerszy i wynosi 30÷65%.

Skala nakładów energetycznych na klimatyzację pomieszczeń czystych inspirowane do podejmowania działań, których celem

jest zmniejszenie zapotrzebowania na energię. Badania w tym zakresie obejmują zarówno optymalizację struktury systemów HVAC jak i algorytmów sterowania.

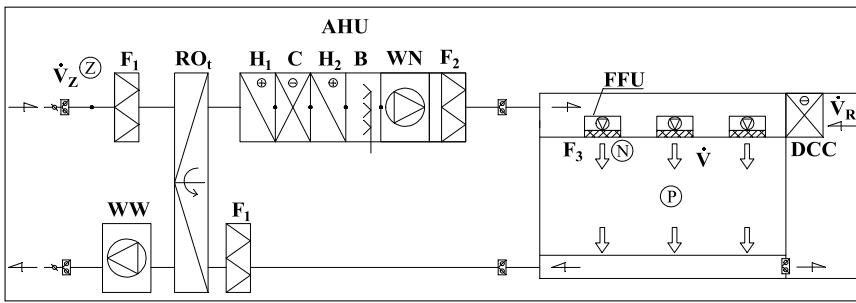
Standardem, w przypadku braku ograniczeń higienicznych jest tutaj powszechne stosowanie recyrkulacji powietrza uzupełnione – w zależności od klimatu – odzyskiem ciepła. Struktury systemów HVAC pomieszczeń czystych z różnymi opcjami recyrkulacji przedstawił m. in. Hu i Tsao [3]. Z kolei szereg prac poświęconych badaniom nad energoptymalnym sterowaniem systemami HVAC pomieszczeń czystych opublikowali Zhuang, Wang i Shan [15,16]. Również Autorzy przedstawili wyniki badań w tym zakresie w pracach [6, 7, 8, 9].

Zapotrzebowanie na energię systemu HVAC o określonej strukturze zależy od algorytmów sterowania tym systemem – można tutaj wykazać znaczące różnice w nakładach energetycznych dla różnych strategii sterowania.

Aplikację w tym zakresie przedstawiono w artykule, w którym zaprezentowano algorytmy sterowania klasycznym systemem HVAC z recyrkulacją i odzyskiem ciepła dla pomieszczenia czystego.

## Model systemu HVAC

Model technologiczny systemu HVAC pomieszczenia czystego przedstawiono na rys. 1.



**Rys. 1.**  
**Model technologiczny systemu HVAC pomieszczenia czystego**  
 RO<sub>t</sub> – obrotowy regenerator energii, AHU (Air Handling Unit) – centrala klimatyzacyjna, DCC (Dry Cooling Coil) – chłodnica sucha, FFU (Filter Fan Unit) – moduł recyrkulacyjny z filtrem absolutnym, H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub> – nagrzewnica wstępna, wtórna, C – chłodnica, B – nawilżacz parowy, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub> – filtry powietrza wstępny, dokładny, absolutny,  $\dot{V}_z, \dot{V}_r, \dot{V}$  – strumień powietrza zewnętrznego, recyrkulacyjnego, całkowity, WN, WW – wentylator nawiewny, wywiewny  
**Fig. 1. Technological model of HVAC system for cleanrooms**  
 RO<sub>t</sub> – rotary energy regenerator, AHU – Air Handling Unit, DCC – Dry Cooling Coil, FFU (Filter Fan Unit) – recirculation module with absolute filter, H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub> – pre-heater, secondary heater, C – cooler, B – steam humidifier, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub> – air filters: preliminary, precise, absolute,  $\dot{V}_z, \dot{V}_r, \dot{V}$  – external, recirculating, total air stream, WN, WW – supply, exhaust fan

Jest to jedna z typowych struktur systemu HVAC z recyrkulacją wewnętrzną dla szerokiego przedziału klas czystości: ISO5 (M3.5, kl.100) ÷ ISO8 (M6.5, kl.10.000) [1, 4] uzupełniona tutaj o odzysk ciepła – obrotowy regenerator energii.

Dla modelu technologicznego (rys. 1) opracowano model symulacyjny działania systemu HVAC w ciągu całego roku dla dwóch wariantów strategii sterowania:

- wariant I
  - centrala AHU (Air Handling Unit) przygotowuje powietrze o temperaturze równej temperaturze w pomieszczeniu  $t_{NC} = t_p$  oraz wilgotności względnej odpowiedniej dla odprowadzenia obciążeń wilgotnościowych, w przypadku ich braku  $\phi_{NC} \in [\phi_{Pmin}, \phi_{Pmax}]$
  - chłodnica sucha DCC (Dry Cooling Coil) w obiegu recyrkulacyjnym odprowadza obciążenia ciepłem jawnym,
- wariant II
  - centrala AHU i chłodnica sucha DCC odprowadzają obciążenia ciepłem jawnym  $t_{NC} = f(t)$ ,
  - centrala AHU odprowadza obciążenia wilgotnościowe, w przypadku ich braku  $\phi_{NC} \in [\phi_{Pmin}, \phi_{Pmax}]$

Punktem wyjścia było tutaj wyznaczenie algorytmów energooszczędnej obróbki termodynamicznej powietrza zgodnie z funkcją celu w postaci:

$$f_c = \sum_{i=1}^n \dot{m}_i |\Delta h_i| = \min \quad (1)$$

gdzie:

- $\dot{m}_i$  – strumień masy powietrza w i-tej operacji,
- $\Delta h_i$  – zmiana entalpii właściwej w i-tej operacji

Następnie wyznaczono zapotrzebowanie na energię użytkową, końcową i pierwotną dla obróbki termodynamicznej powietrza na podstawie relacji [10]

$$E_p = \frac{w_H}{\eta_{H,t}} \cdot Q_{H,t} + \frac{w_C}{\eta_{C,t}} \cdot Q_{C,n} + \frac{w_{DC}}{\eta_{DC,t}} \cdot Q_{DC,n} + \frac{w_B}{\eta_{B,t}} \cdot Q_{B,n} \quad (2)$$

$$Q_{K,H} = \frac{1}{\eta_{H,t}} Q_{H,N} \quad (3)$$

$$Q_{K,C} = \frac{1}{\eta_{C,t}} Q_{C,n} \quad (4)$$

$$Q_{K,DC} = \frac{1}{\eta_{DC,t}} Q_{DC,n} \quad (5)$$

$$Q_{K,B} = \frac{1}{\eta_{B,t}} Q_{B,n} \quad (6)$$

gdzie:

- $Q_{H,n}$  – roczne zapotrzebowanie na ciepło (netto) nagrzewnic wodnych, kWh/rm<sup>2</sup>,
- $Q_{C,n}, Q_{DC,n}$  – roczne zapotrzebowanie na chłód (netto) chłodnicy w centrali, chłodnicy suchej, kWh/rm<sup>2</sup>,
- $Q_{B,n}$  – roczne zapotrzebowanie na ciepło (netto) nawilżaczy parowych, kWh/rm<sup>2</sup>,
- $Q_{K,H}$  – roczne zapotrzebowanie na energię końcową nagrzewnic – ciepło końcowe kWh/rm<sup>2</sup>,
- $Q_{K,C}, Q_{K,DC}$  – roczne zapotrzebowanie na energię końcową chłodnicy w centrali, chłodnicy suchej – chłód końcowy, kWh/rm<sup>2</sup>,
- $Q_{K,B}$  – roczne zapotrzebowanie na energię końcową nawilżaczy paro-

wych – ciepło końcowe nawilżaczy, kWh/rm<sup>2</sup>,

$\eta_{H,t}$  – średnia sezonowa sprawność całkowita systemu grzewczego z wodnymi nagrzewnicami powietrza,  $\eta_{H,t} = \eta_{H,g} \eta_{H,s} \eta_{H,d} \eta_{H,e}$ , przyjęto  $\eta_{H,t} = 0,81$  ( $\eta_{H,g} = 0,90$  – wytwarzanie,  $\eta_{H,s} = 1,0$  – akumulacja,  $\eta_{H,d} = 0,94$  – dystrybucja,  $\eta_{H,e} = 0,95$  – regulacja i sterowanie),

$\eta_{C,t}, \eta_{DC,t}$  – średnia sezonowa sprawność całkowita systemu z chłodnicami powietrza,  $\eta_{C,t} = \text{ESEER}_{\eta_{C,s}} \eta_{C,d} \eta_{C,e}$ ;  $\eta_{DC,t} = \text{ESEER}_{DC} \eta_{C,s} \eta_{C,d} \eta_{C,e}$  (ESEER,  $\text{ESEER}_{DC}$  – średni europejski współczynnik efektywności energetycznej wytwornicy chłodu dla chłodnicy w centrali, chłodnicy suchej DCC,  $\eta_{C,s} = 0,95$  – akumulacja,  $\eta_{C,d} = 0,94$  – dystrybucja,  $\eta_{C,e} = 0,97$  – regulacja i sterowanie),

$\eta_{B,t}$  – średnia sezonowa sprawność całkowita systemu grzewczego zasilania nawilżaczy parowych,  $\eta_{B,t} = \eta_{B,g} \eta_{B,d} \eta_{B,e}$  ( $\eta_{B,g}$  – wytwarzanie,  $\eta_{B,d}$  – dystrybucja,  $\eta_{B,e}$  – regulacja i sterowanie), przyjęto  $\eta_{B,t} = 0,95$ ,

$w_i$  – współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii (lub energii) końcowej ( $w_H$  – dotyczy ciepła,  $w_C$  – dotyczy chłodu,  $w_B$  – dotyczy pary,  $w_{el}$  – dotyczy energii elektrycznej) przyjęto  $w_H = 1,1$  – kocioł gazowy/olejowy,  $w_C = 3,0$  – agregat chłodniczy o napędzie elektrycznym,  $w_B = 3,0$  – elektryczna wytwornica pary

### Dane wyjściowe

Obliczenia przeprowadzono dla reprezentatywnego pomieszczenia czystego klasy ISO5 [4] (M3.5, kl. 100 [1]) oraz reprezentatywnych danych technologicznych dotyczących: parametrów powietrza w pomieszczeniu, jednostkowych obciążeń chłodniczych, udziału powietrza zewnętrznego, a także jednostkowego strumienia powietrza wentylacyjnego (prędkości powietrza lub krotności wymian). Dane wyjściowe w modelu symulacyjnym zestawiono w tabeli 1. Założono, iż chłodnice w centrali klimatyzacyjnej i chłodnice suche (DCC) w obiegu recyrkulacyjnym zasilane będą z odrębnych agregatów chłodniczych o różnych współczynnikach EER (Energy Efficiency Rating).

TABELA 1. Dane wyjściowe w modelu symulacyjnym

TABLE 1. Output data in simulation model

Parametry	Wariant 1	Wariant 2
klasa czystości	ISO5 [4] (M3.5, kl.100 [1])	
$t_p$ , °C	+ 22	
$\phi_p$ , %	50 ± 5 (45÷55)	
$t_{NC}$ , °C	+ 22	$t_{NC} = f(\tau)$
$\phi_{NC}$ , %	50 ± 5 (45÷55) <sup>1/</sup>	50 ± 5 (45÷55) <sup>1/</sup>
$t_{zi}$ , °C	TRY (Test Reference Year) – Poznań	
$\phi_{zi}$ , %	TRY – Poznań	
$q_i$ , W/m <sup>2</sup>	200	
$w_i$ , g/h	0 <sup>1/</sup>	
$\alpha_z$ , %	10	
$V_i$ , m <sup>3</sup> /sm <sup>2</sup>	0,25	
$t_D$ , °C	10,0	
$t_{D'}$ , °C	14,0	
$\phi_i$ , –	0 ÷ 0,7 ( $\phi_{i,max} = 0,70$ )	
EER	3,96 <sup>3/</sup>	
EER <sub>DC</sub>	4,43 <sup>3/</sup>	
$\tau$ , h/r	8760	
$c_p$ , kJ/kgK	1,005	
$c_{pp}$ , kJ/kgK	1,86	
$r_o$ , kJ/kg	2500,8	
$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	1,2	
$p_a$ , kPa	100	

- 1/ Jednostkowe zyski wilgoci pomijalnie małe w stosunku do strumienia powietrza recykulacyjnego.
- 2/ Odpowiada prędkości powietrza  $w_p=0,25m/s$  lub krótności wymian  $n=300$  1/h dla wysokości pomieszczenia  $H=3$  m.
- 3/ Wartość średnia wg programów doborowych tego samego typoszeregu wytwornic wody lodowej. [5]
- 1/ Unit gains of moisture are negligible in relation to the recirculating air stream.
- 2/ It corresponds to the air velocity  $w_p=0,25m/s$  or air changes rate  $n=300$  1/h for the room height  $H=3$  m.
- 3/ Average value according to selection programs of the same series of types of ice water generators. [5]

gdzie:

- $t_p, \phi_p$  – temperatura, wilgotność względna powietrza w pomieszczeniu,
- $t_{NC}, \phi_{NC}$  – temperatura, wilgotność względna powietrza nawiewanego za centralą AHU,
- $t_{zi}, \phi_{zi}$  – temperatura, wilgotność względna powietrza zewnętrznego w i-tej godzinie roku porównawczego, TRY – ( $i = 1 ÷ 8760$ ),
- $q_i$  – jednostkowe obciążenie chłodnicze,
- $w_i$  – jednostkowy strumień wilgoci,
- $\alpha_z$  – udział powietrza zewnętrznego,
- $V_i$  – jednostkowy średni strumień powietrza wentylacyjnego odpowiadający wymaganej klasie czystości,
- $t_D, t_{D'}$  – temperatura powierzchni chłodnicy odpowiednio w centrali klimatyzacyjnej, chłodnicy suchej w obiegu recykulacyjnym,
- $\phi_t$  – skuteczność odzysku ciepła jawnego obrotowego regeneratora energii,
- EER, EER<sub>DC</sub> – średnie współczynniki efektywności energetycznej odpowiednio dla wytwornicy wody chłodzą-

- cej zasilającej chłodnicę w centrali klimatyzacyjnej, chłodnicy suchej (DCC) w obiegu recykulacyjnym,
- $\tau$  – czas działania instalacji w ciągu roku (założono pracę ciągłą),
- $c_p$  – ciepło właściwe powietrza,
- $c_{pp}$  – ciepło właściwe pary wodnej,
- $r_o$  – ciepło parowania wody w temperaturze 0°C,
- $\rho$  – średnia gęstość powietrza,
- $p_a$  – ciśnienie barometryczne,

### Algorytmy sterowania energoptymalnego

Na podstawie funkcji celu (1) wyznaczono optymalne trajektorie przemian termodynamicznych powietrza dla obu wariantów sterowania systemem HVAC. W wyniku otrzymano strefy energoptymalnej obróbki termodynamicznej powietrza odzworowane na wykresie h-x, które przedstawiono na rys. 2.

Równania izoterm granicznych oraz linii granicznych między strefami optymalnej obróbki termodynamicznej powietrza na wykresach h-x (rys. 2) przyjmują postać:

- izoterma  $t_G$

$$t_G = t_p - \frac{1}{\alpha_z} (t_p - t_N) \quad (7)$$

- izoterma

$$t_{G'} = t_p - \frac{t_p - t_N}{\alpha_z (1 - \phi_{t,max})} \quad (8)$$

- linia graniczna [(MR)C+DC']/(MR)CH<sub>2</sub>R (wariant II)

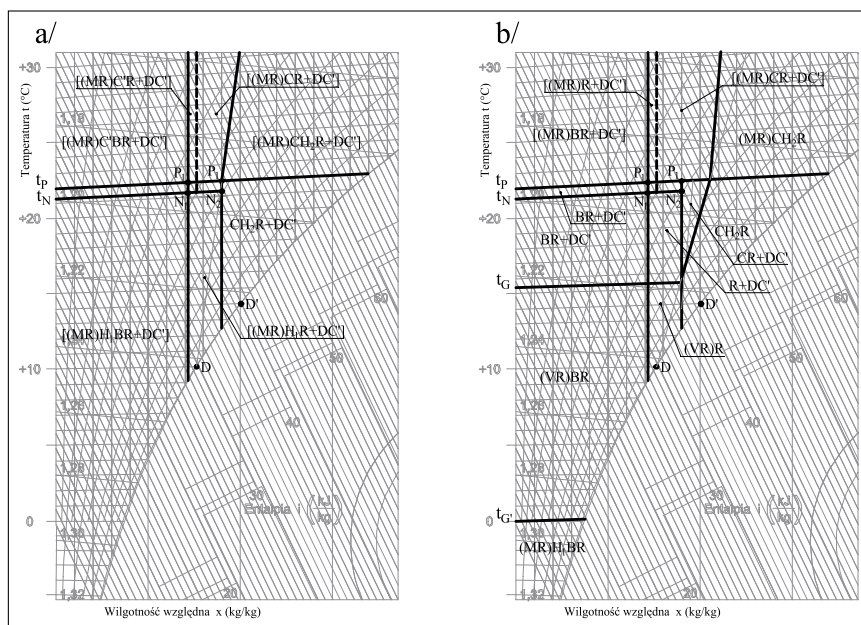
$$t_{zg} = \frac{1}{1 - \phi_t} \left( t_p \frac{x - x_D}{x_{P3} - x_D} - t_p \frac{x - x_{P3}}{x_{P3} - x_D} \right) - \frac{\phi_t}{1 - \phi_t} t_p \quad (9)$$

$$x_{P3} = x_D + (x_{N2} - x_D) \frac{t_p - t_D}{t_{NC} - t_D} \quad (10)$$

- linia graniczna CR+DC'/CH<sub>2</sub>R (wariant II)

$$t_{zg} = t_D + (t_{NC} - t_D) \frac{x - x_D}{x_{N2} - x_D} \quad (11)$$

- linia graniczna [(MR)C+DC']/(MR)CH<sub>2</sub>R+DC' (wariant II)



Rys. 2. Strefy energoptymalnej obróbki termodynamicznej powietrza a/ wariant I ( $t_{NC} = t_p, \phi_{NC} \in [\phi_{p,min}, \phi_{p,max}]$ ), b/ wariant II ( $t_{NC} = f(\tau), \phi_{NC} \in [\phi_{p,min}, \phi_{p,max}]$ ) (MR) – maksymalny odzysk ciepła, (VR) – regulowany odzysk ciepła, H<sub>1</sub> – ogrzewanie (nagrzewnica wstępna), H<sub>2</sub> – ogrzewanie (nagrzewnica wtórna), C', DC' – chłodzenie jawne (bez osuszania) w centrali, w chłodnicy suchej DCC, C – chłodzenie z osuszaniem, B – nawilżanie parowe, R – recykulacja, P – stan powietrza w pomieszczeniu, N – stan powietrza nawiewanego do pomieszczenia, NC – stan powietrza za centralą AHU, D – stan powietrza przy powierzchni chłodnicy w centrali, D' – stan powietrza przy powierzchni chłodnicy suchej (DCC) w obiegu recykulacyjnym  
Fig. 2. Zones for energy-optimal thermodynamic air treatment a/ variant I ( $t_{NC} = t_p, \phi_{NC} \in [\phi_{p,min}, \phi_{p,max}]$ ), b/ variant II ( $t_{NC} = f(\tau), \phi_{NC} \in [\phi_{p,min}, \phi_{p,max}]$ ) (MR) – maximum heat recovery, H1 – heating (preliminary heater), H2 – heating (secondary heater), C', DC' – sensible cooling (without drying) in the AHU, in a dry cooler DCC, C – cooling with dehumidification, B – steam humidification, R – recirculation, P – air condition in the room, N – air condition of the air supplied to the room, NC – air condition behind the AHU, D – air condition at the cooler surface in the air handling unit, D' – air condition at the dry cooler surface (DCC) in the recirculation circuit



$$t_{zg} = \frac{1}{1-\phi_t} (t_p - t_D) \frac{x - x_D}{x_{N_2} - x_D} + \frac{1}{1-\phi_t} (t_D - \phi_i t_p) \quad (12)$$

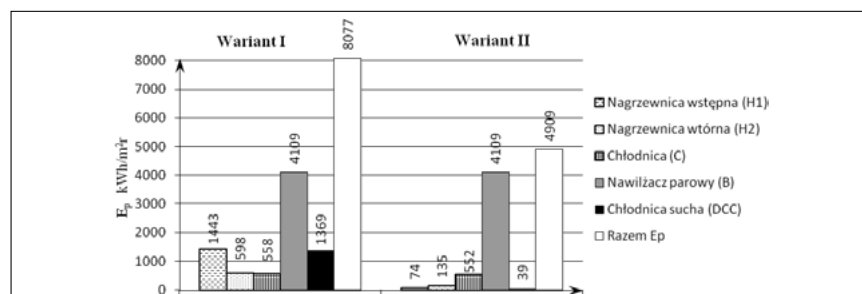
## Wyniki obliczeń, interpretacja

Wyniki obliczeń rocznego zapotrzebowania na energię użytkową, końcową i pierwotną dla obróbki termodynamicznej powietrza i rozpatrywanych wariantów sterowania systemem HVAC pomieszczenia czystego przedstawiono w tabeli 2.

**TABELA 2. Roczne zapotrzebowanie na energię użytkową, końcową i pierwotną dla obróbki termodynamicznej powietrza systemu HVAC pomieszczenia czystego**

**TABLE 2. Annual usable, final and primary energy demand for thermodynamic air treatment of the cleanroom HVAC system**

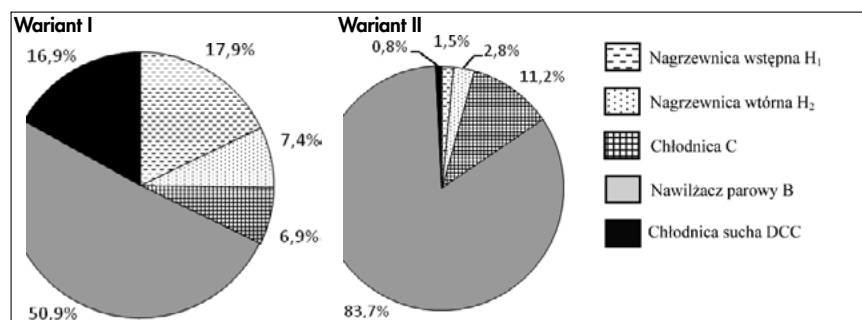
Energia użytkowa/ (końcowa)/pierwotna*		Wariant I	Wariant II
		$t_{NC} = t_p$ $\phi_{NC} \in [\phi_{Pmin}, \phi_{Pmax}]$	$t_{NC} = f(t)$ $\phi_{NC} \in [\phi_{Pmin}, \phi_{Pmax}]$
Nagrzewnica wstępna (H1)	kWh/m <sup>2</sup> r	1062,0/ (1312,0)/ 1443,0*	55,0/ (67,0)/ 74,0*
Nagrzewnica wtórna (H2)	kWh/m <sup>2</sup> r	440,0/ (544,0)/ 598,0*	99,0/ (122,0)/ 135,0*
Chłodnica (C)	kWh/m <sup>2</sup> r	638,0/ (186,0)/ 558,0*	632,0/ (184,0)/ 552,0*
Nawilżacz parowy (B)	kWh/m <sup>2</sup> r	1301,0/ (1370,0)/ 4109,0*	1301,0/ (1370,0)/ 4109,0*
Chłodnica sucha (DCC)	kWh/m <sup>2</sup> r	1752,0/ (456,0)/ 1369,0*	50,0/ (13,0)/ 39,0*
Zapotrzebowanie na energię pierwotną dla obróbki termodynamicznej powietrza	kWh/m <sup>2</sup> r	8077,0*	4909,0*



Rys. 3.

Struktura rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną dla obróbki termodynamicznej powietrza systemu HVAC, wariant I ( $t_{NC} = t_p$ ,  $\phi_{NC} \in [\phi_{Pmin}, \phi_{Pmax}]$ ), wariant II ( $t_{NC} = f(t)$ ,  $\phi_{NC} \in [\phi_{Pmin}, \phi_{Pmax}]$ )

Fig. 3. Structure of the annual primary energy demand for thermodynamic air treatment of the HVAC system, variant I ( $t_{NC} = t_p$ ,  $\phi_{NC} \in [\phi_{Pmin}, \phi_{Pmax}]$ ), variant II ( $t_{NC} = f(t)$ ,  $\phi_{NC} \in [\phi_{Pmin}, \phi_{Pmax}]$ )



Rys. 4.

Porównanie udziałów rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną dla obróbki termodynamicznej powietrza systemu HVAC, wariant I ( $t_{NC} = t_p$ ,  $\phi_{NC} \in [\phi_{Pmin}, \phi_{Pmax}]$ ), wariant II ( $t_{NC} = f(t)$ ,  $\phi_{NC} \in [\phi_{Pmin}, \phi_{Pmax}]$ )

Fig. 4. Comparison of the shares of the annual primary energy demand for thermodynamic air treatment of the HVAC system, variant I ( $t_{NC} = t_p$ ,  $\phi_{NC} \in [\phi_{Pmin}, \phi_{Pmax}]$ ), variant II ( $t_{NC} = f(t)$ ,  $\phi_{NC} \in [\phi_{Pmin}, \phi_{Pmax}]$ )

Strukturę rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną dla obróbki termodynamicznej powietrza systemu HVAC oraz udziały procentowe poszczególnych składników przedstawiono odpowiednio na rys. 3 i 4.

Na podstawie otrzymanych wyników sformułować można następujące wnioski i uwagi szczegółowe:

1° Wariantem optymalnym energetycznie jest wariant II ( $t_{NC} = f(t)$ ,  $\phi_{NC} \in [\phi_{Pmin}, \phi_{Pmax}]$ ), dla którego roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną dla obróbki termodynamicznej powietrza

jest mniejsze aż o 39,2% w stosunku do wariantu I ( $t_{NC} = t_p$ ,  $\phi_{NC} \in [\phi_{Pmin}, \phi_{Pmax}]$ ).

- 2° Dla wariantu II (optymalnego) wszystkie składniki równania bilansu energii pierwotnej – poza nawilżaczem parowym – są mniejsze w stosunku do wariantu I. Wartości te są mniejsze o:
- 94,9% – w odniesieniu do nagrzewnicy wstępnej (H<sub>1</sub>),
  - 1,1% – w odniesieniu do chłodnicy (C) w centrali AHU,
  - 77,4% – w odniesieniu do nagrzewnicy wtórnej (H<sub>2</sub>),
  - 97,2% – w odniesieniu do chłodnicy suchej (DCC).

Zapotrzebowanie na energię dla nawilżacza parowego w obu wariantach jest jednakowe.

- 3° W strukturze udziałów poszczególnych składników w równaniu rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną dla obróbki termodynamicznej powietrza i wariantu I dominuje nawilżacz parowy (B) – 50,9%, następnie nagrzewnica wstępna (H<sub>1</sub>) – 17,9%, chłodnica sucha (DCC) – 16,9%, nagrzewnica wtórna (H<sub>2</sub>) – 7,4% i chłodnica w centrali (C) – 6,9%.

- 4° W strukturze udziałów poszczególnych składników w równaniu bilansu rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną dla obróbki termodynamicznej powietrza i wariantu II – optymalnego zdecydowanie dominuje nawilżacz parowy (B) – 87,3%, następnie chłodnica w centrali (C) – 11,2%, nagrzewnica wtórna (H<sub>2</sub>) – 2,8%, nagrzewnica wstępna (H<sub>1</sub>) – 1,5% i śladowo chłodnica sucha (DCC) – 0,8%.

## Podsumowanie

Standardową strukturą systemu HVAC dla pomieszczeń czystych przy braku ograniczeń higienicznych, jest układ z recyrkulacją, odzyskiem ciepła i opcjonalnie – chłodnicą suchą (DCC) w obiegu recyrkulacyjnym.

Zapotrzebowanie na energię dla takiej struktury systemu HVAC jest funkcją strategii sterowania. W artykule zaprezentowano wyniki obliczeń symulacyjnych rocznego zapotrzebowania na energię użytkową, końcową i pierwotną dla obróbki termodynamicznej powietrza systemu HVAC pomieszczenia czystego oraz dwóch wariantów strategii sterowania: wariantu I ( $t_{NC} = t_p$ ,  $\phi_{NC} \in [\phi_{Pmin}, \phi_{Pmax}]$ ) i wariantu II ( $t_{NC} = f(t)$ ,  $\phi_{NC} \in [\phi_{Pmin}, \phi_{Pmax}]$ ) – energoptymalnego.

Wykazano ilościowo, iż w rozważanym przypadku pomieszczenia czystego

ISO5 [4] (M3.5 kl. 100 [1]) wdrożenie strategii energoosybilnego sterowania (wariantu II) pozwala zmniejszyć roczne zapotrzebowanie na energię pierwotną dla obróbki termodynamicznej powietrza systemu HVAC aż o 39,2%, w stosunku do strategii standardowej (wariantu I). Wykazano również, iż różnica w zapotrzebowaniu na energię w obu wariantach wynika głównie ze zmniejszenia zapotrzebowania na energię dla nagrzewnicy wstępnej ( $H_1$ ) i chłodnicy suchej (DCC) w wariantcie energoosybilnym. W interpretacji fizycznej oznacza to, iż w wariantcie sterowania energoosybilnego (wariantcie II) powietrze zewnętrzne podlegające obróbce w centrali AHU wykorzystywane jest optymalnie do odprowadzenia obciążeń chłodniczych w pomieszczeniu – w konsekwencji następuje radykalne zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło dla nagrzewnicy wstępnej ( $H_1$ ) i chłodu dla chłodnicy suchej (DCC).

Należy zauważyć, iż wdrożenie algorytmów optymalnej obróbki termodynamicznej powietrza wymaga zastosowania zaawansowanych systemów sterowania cyfrowego.

## LITERATURA

- [1] Federal Standard, Airborne particular cleanliness classes in cleanrooms and zones. Fed-Std-209e, 1992.
- [2] Hu S.-C., Chuah Y.K., Power consumption of semiconductor fabs in Taiwan, Energy – Int. J. 28 (2003) s.895–907.
- [3] Hu S.-C., Tsao J.-M., A comparative study on energy consumption for HVAC systems of high-tech FABs, Applied Thermal Engineering. (2007) s. 2758–2766.
- [4] ISO 14644-1 "Cleanrooms and associated controlled environments – Part 1: Classification of air clean liness".
- [5] Karty doborowe wytwornic wody chłodzącej typoszeregu NX/CA firmy Mitsubishi (2021)
- [6] Maćkowiak M., Porowski M., Sterowanie energoosybilne układu klimatyzacyjnego z recyrkulacją i obrotowym regeneratorem energii dla pomieszczenia czystego. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja. 50/8. (2019) s.310-317.
- [7] Maćkowiak M., Porowski M., Zapotrzebowanie na energię oraz koszty klimatyzacji w układzie z recyrkulacją i rekuperatorem dla pomieszczenia czystego. Instal 10/2019, s.28-33, DOI 10.36.119/15.2019.10.4.
- [8] Porowski M., Energy optimization of HVAC system from a holistic perspective: Operating theater application, Energy Conversion and Management 182. (2019), s.461-496.
- [9] Porowski M., Ocena energetyczna układów klimatyzacyjnych sal operacyjnych z recyrkulacją powietrza Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja 46/12. (2015), s.485-489.
- [10] Porowski M., The optimization method of HVAC system from a holistic perspective according to energy criterion, Energy Conversion and Management. 181. (2019), s.621-644.
- [11] Shan K., Wang S., Energy efficient design and control of cleanroom environment control systems in subtropical climate – A comparative analysis and on-site validation, Applied Energy. 204 (2017) s.582–595.
- [12] Tsao J.-M., Hu S.-C., Xu T., Chan David Y.L., Capturing energy-saving opportunities in make-up air systems for cleanrooms of high-technology fabrication plant in subtropical climate, Energy and Buildings. 42 (2010) s. 2005–2013.
- [13] Tsao J.J.M., Hu S.-C., Kao W.-C., Chien L.-H., Clean Room Exhaust Energy Recovery Optimization Design, ASHRAE Transactions. 116 (2010) Part 1 s. 81 – 86.
- [14] Zhao Y., Li N., Tao C., Chen Q., Jiang M., A comparative study on energy performance assessment for HVAC systems in high-tech fabs, Journal of Building Engineering. 39 (2021) 102188.
- [15] Zhuang C., Wang S., Shan K., Adaptive full-range decoupled ventilation strategy and air-conditioning systems for cleanrooms and buildings requiring strict humidity control and their performance evaluation, Energy 168. (2019) s. 883 – 896.
- [16] Zhuang C., Wang S., Shan K., Probabilistic optimal design of cleanroom air-conditioning systems facilitating optimal ventilation control under uncertainties, Applied Energy. 253 (2019) 113576.

## Główna Sekcja Ciepłownictwa Ogrzewnictwa Wentylacji i Inżynierii Atmosfery Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych

serdecznie zaprasza na **bezpłatne webinarium** na temat

# „Aktualne informacje dotyczące rozwiązań wentylacji w obiektach służby zdrowia”

które odbędzie się w dniu 24.09.2021 r. o godzinie 15:00.

Podczas webinarium zostaną omówione następujące tematy:

- Systemy HVAC szpitala – studium przypadku – Wojciech Porowski, Porowski DESIGN,
- Informacje o stanie prac grupy CEN TC 156 WG 18 i projekcie normy europejskiej dotyczącej wentylacji w szpitalach – Anna Bogdan, Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, Politechnika Warszawska,
- SmayLab – system wentylacji do szpitali oraz stref czystych – Zbigniew Kowalski, Smay,
- Izolacja powietrzna pacjentów zakażonych – Paweł Borowski, Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, Halton,
- Wytyczne konfiguracji i harmonogramu pracy urządzeń do pomieszczeń czystych – Wiesław Łukaszewicz i Paweł Olijarczyk, Klimor,
- Physical Security Information Management w Zarządzaniu Wszystkimi Systemami w Obiektach Medycznych – Bartosz Brzoska, C&C Partners Sp.z o.o.,
- Systemy dezynfekcji powietrza i powierzchni przy zastosowaniu promienników przepływowych i generatorów mgły – Przemysław Sadowski, Aparatura Medyczna.

**Do udziału w webinarium obowiązuje bezpłatna rejestracja dostępna na stronie  
<https://tiny.pl/9mlp2>**

# Ograniczenie hałasu od klimakonwektorów przy pomocy izolacji ArmComfort AB Alu i AB Alu Plus

Reduction of noise caused by fan coil units, using ArmComfort AB Alu and AB Alu Plus insulation

MARIA WITKOWSKA

Podczas mojej współpracy z projektantami instalacji klimatyzacyjnych często poruszany jest problem nadmiernego hałasu pochodzącego od pracy urządzeń technicznych. W dużych obiektach biurowych często instalacja klimatyzacyjna musi zapewnić komfort cieplny dla przestrzeni pozbawionych sufitów podwieszonych lub posiadających je tylko w postaci wysp. Jeżeli projektowany system klimatyzacji posiada klimakonwektory wentylatorowe, to generowany przez nie hałas może przewyższać dopuszczone normami poziomy.

Klimakonwektory wentylatorowe stosowane są w budownictwie od wielu lat, głównie w dużych obiektach, biurowcach, galeriach handlowych, hotelach. Są to sprawdzone urządzenia o małej bezwładności cieplnej, która wynika z zastosowanego u nich wentylatora. Wentylator ten wymusza cyrkulację powietrza. W przypadku zastosowania wielu urządzeń w klimatyzowanej przestrzeni, hałas od urządzeń powinien być dodatkowo ograniczany. Ciekawym rozwiązaniem może być zastosowanie izolacji akustycznej z rodziny ArmComfort AB firmy Armacell na obudowach klimakonwektorów wentylatorowych.

Do wyboru mamy dwa produkty izolacyjne w klasie reakcji na ogień B-s1,d0. Jest to izolacja ArmComfort AB Alu oraz ArmComfort AB Alu Plus.

ArmComfort AB Alu Plus składa się z bariery akustycznej epdm-eva o grubości 2 milimetrów z folią aluminiową oraz z warstwy pianki elastomerycznej ArmaFlex 9 mm o właściwościach tłumienia dźwięków materiałowych. Takie połączenie zapewnia izolacyjność akustyczną  $R_w$  wg norm EN ISO 10140-2, ISO 717-1 na poziomie  $R_w(C;Ctr)$  26 dB (-1;-3). Dodatkowo izolacja stanowi barierę dla dyfuzji

pary wodnej i chroni izolowaną powierzchnię przed rośnięciem.

Izolacja ArmComfort AB Alu posiada taką samą jak Alu Plus barierę akustyczną, materiałem izolacyjnym jest tu pianka PUR o otwartych komórkach. Co istotne izolacja ta jest wolna od halogenów i może być stosowana w bardziej wymagających pomieszczeniach, takich jak data center.

W celu potwierdzenia spodziewanych rezultatów redukcji hałasu od klimakonwektorów wentylatorowych przy pomocy izolacji z rodziny ArmComfort AB firma Armacell zleciła wykonanie badań laboratoryjnych Instytutowi Energetyki ITC w Łodzi. Przeprowadzono pomiary poziomu mocy akustycznej od pracującego urządzenia Daikin FWE07C5FV1B dla jego trzech biegów pracy (L niski, M średni i H wysoki) w komorze pogłosowej spełniającej wymagania normy PN-EN ISO 3741:2011.

Pomiary akustyczne wykonane zostały przy użyciu wzorcowanego zestawu pomiarowego firmy Norsonic.

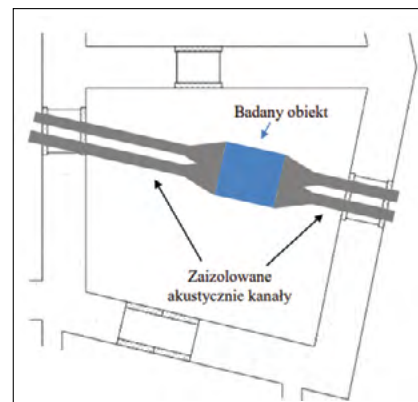
Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wyznaczano następujące wielkości akustyczne:

- ✓ Średni poziom ciśnienia akustycznego  $L_p$ , dB, serii pomiarowej w pasmach tercjowych mierzony w punktach pomiarowych w komorze;
- ✓ Poziom mocy akustycznej  $L_w$  w dB, w komorze pogłosowej W obliczeniach uwzględniono poprawkę o hałas tła w każdym pasmie tercjowym. Wynik końcowy pomiaru określony został zgodnie z normą PN-EN 3741:2011.

Dla pomiarów, klimakonwektor Daikin FWE07C5FV1B został podłączony do prostokątnych przewodów wentylacyjnych dostarczających i odprowadzających powietrze. Przewody oraz elementy potę-

zeniowe zostały zaizolowane akustycznie tak, aby zniwelować wpływ hałasu od przepływającego powietrza.

Urządzenie zostało bardzo dokładnie zaizolowane matą ArmComfort AB Alu, a w drugim badaniu ArmComfort AB Alu Plus. Matę przyklejono do ścian obudowy klejem systemowym Armaflex 520 adhesive, wszystkie krawędzie zabezpieczono dodatkowo taśmą ALU. Pozostawiono dostęp do tabliczki znamionowej, oraz tacki na skropliny.



Rys.2  
Poglądowy schemat stanowiska badawczego do pomiaru mocy akustycznej

W pierwszym etapie badań wyznaczono poziom mocy akustycznej dla urządzenia klimakonwektora wentylatorowego bez izolacji na obudowie dla trzech różnych biegów pracy tego urządzenia.

W drugim etapie wykonano takie same pomiary, ale dla urządzenia zaizolowanego matami ArmComfort AB Alu oraz ArmComfort AB Alu Plus.

Stwierdzono obniżenie poziomu sum logarytmicznych hałasu (mocy akustycznej) w badanych pasmach częstotliwości po zaizolowaniu obudowy urządzenia izolacją ArmComfort AB Alu i AB Alu

Wysokość Biegu	Klimakonwektor bez izolacji	Klimakonwektor z izolacją ArmaComfort AB Alu	Różnica $\Delta L_{WA}$
	$L_{WA}$ Suma logarytmiczna mocy akustycznej [dB]	$L_{WA}$ Suma logarytmiczna mocy akustycznej [dB]	[dB]
Bieg niski L	42,3	37,2	5,1
Bieg średni M	46,5	41,5	5
Bieg wysoki H	49,1	45,6	3,5
Wysokość Biegu	Klimakonwektor bez izolacji	Klimakonwektor z izolacją ArmaComfort AB Alu Plus	Różnica $\Delta L_{WA}$
	$L_{WA}$ Suma logarytmiczna mocy akustycznej [dB]	$L_{WA}$ Suma logarytmiczna mocy akustycznej [dB]	[dB]
Bieg niski L	42,3	3,8,1	4,2
Bieg średni M	46,5	42,9	3,6
Bieg wysoki H	49,1	46,9	2,2

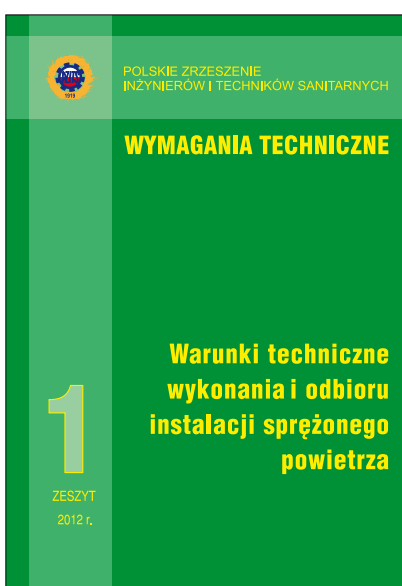
Plus. Poziom redukcji hałasu zależał od badanego biegu pracy urządzenia i był najwyższy dla biegu niskiego (L) od 5,1 dB

dla ArmaComfort AB Alu do 4,2 dB dla ArmaComfort AB Alu Plus.

Redukcja mocy akustycznej była niż-

sza dla wysokiego biegu pracy urządzenia i wyniosła odpowiednio od 3,5 dB dla ArmaComfort AB Alu do 2,2 dB dla ArmaComfort AB Alu Plus.

Przeprowadzone badania potwierdzają celowość izolowania obudowy urządzeń, takich jak klimakonwektory wentylatorowe izolacją typu – bariera akustyczna. Bardzo istotnym elementem wpływającym na uzyskany efekt końcowy wygłuszenia jest sposób montażu mat na urządzeniu. Ważny jest również fakt, że montaż izolacji nie zakłóca możliwości późniejszego serwisowania klimakonwektora. Potwierdza to producent urządzeń firma Daikin.



## Warunki techniczne wykonania i odbioru instalacji sprężonego powietrza

Niewątpliwie będą one również przydatne dla projektantów instalacji sprężonego powietrza oraz studentów inżynierii środowiska, w ramach której wykładany jest przedmiot: instalacje specjalne.

Obecnie sprężone powietrze jest jednym z szerzej stosowanych nośników energii. Ma ono zastosowanie prawie we wszystkich gałęziach przemysłu, od spożywczego do maszynowego czy też ciężkiego włącznie, a także w stomatologii, medycynie, energetyce, oczyszczalniach ścieków i w wielu innych dziedzinach. Różne jest więc jego zastosowanie a zatem i różne są wymagania co do jego parametrów oraz klasy czystości.

Ważną sprawą przy instalacjach sprężonego powietrza jest oszczędność energii, chociaż mogłoby się wydawać, że zagadnienie to jest dalekie od kwestii związanych z wykonaniem i eksploatacją systemów sprężonego powietrza, ale to pozory. Każda bowiem nieszczelność układu sprężonego powietrza przyczynia się do ucieczki powietrza do atmosfery a tym samym do konieczności dostarczenia energii do wytworzenia sprężonego powietrza brakującego w instalacji. Również źle zaprojektowana (niewłaściwe średnice) i wykonana instalacja będzie generowała niepotrzebne straty.

Warunki techniczne wykonania i odbioru instalacji sprężonego powietrza” adresowane są głównie do wykonawców instalacji sanitarnych, inspektorów nadzoru jak również służb zajmujących się eksploatacją.

Cena 1 egz. 40 zł + 5% VAT

Sprzedaż prowadzi:

Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”

02-671 Warszawa, ul. Marynarska 14 | tel. (22) 843-77-71 | e-mail: wydawnictwo@informacjainstal.com.pl



Kwartalnik „Budownictwo i Prawo” ukazuje się piętnasty rok i ma już usiałoną grupę odbiorców wśród: firm budowlanych, wydziałów budownictwa urzędów miejskich i starostw, biur projektowych, firm kosztorysowych i innych. Obecnie nakład czasopisma wynosi ok. 2000 egz. (w zależności od uczestnictwa w targach lub sympozjach i konferencjach, podczas których prowadzone są akcje promocyjne).

Współpracujemy z z ministerstwami odpowiedzialnymi za zagadnienia: budownictwa, infrastruktury, ochrony środowiska, energetyki, Głównym Urzędem Nadzoru Budowlanego, Urzędem Zamówień Publicznych, Instytutem Techniki Budowlanej, uczelniami oraz licznymi stowarzyszeniami z sektora budownictwa.

Autorzy z tytułu publikacji w „Budownictwo i Prawo” otrzymują 5 pkt w klasyfikacji MNiSW. Czasopismo jest wydawane przez Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie” oraz Oficynę Wydawniczą POLCEN i rozpowszechniane na terenie całego kraju w prenumeracie oraz w sieci sprzedaży ww. wydawców.

**Zamówienia na prenumeratę w 2021 roku w wysokości 80 zł przyjmuje:**

**Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”**

02-674 Warszawa, ul. Marynarska 14, tel./fax: 22/843-77-71

redakcja@informacjainstal.com.pl, wydawnictwo@informacjainstal.com.pl

# Wentylacja pożarowa garaży zamkniętych w świetle pożarów pojazdów elektrycznych

Smoke control of car parks with electric vehicles

WOJCIECH WĘGRZYŃSKI

DOI 10.36119/15.2021.7-8.4

W artykule przedstawiono porównanie zagadnień związanych z pożarami pojazdów spalinowych i elektrycznych, w kontekście działania systemów wentylacji pożarowej garaży. Jako kluczową różnicę zidentyfikowano wczesny etap rozwoju pożaru, w trakcie którego płonący pojazd EV może szybciej osiągnąć dużą moc pożaru, względem pojazdów konwencjonalnych. Przedstawiono wyniki wieloparametrycznych analiz CFD wskazujących na zapewnienie właściwej wysokości garażu, a przez to odpowiedniej pojemności zbiornika dymu, jako czynnik o największym wpływie na bezpieczeństwo użytkowników garażu.

*Słowa kluczowe: garaż, pożar, wentylacja pożarowa, pojazdy elektryczne (EV)*

The paper contains a comparison of the challenges related to the fires of internal combustion engine vehicles (ICEV) and electric vehicles (EV) in car parks, focused on the issues with effective smoke control. The primary differences were identified in the early growth of fire phase, in which the EV fire can grow faster compared to the ICEV. Results of a multiparametric CFD study are shown, illustrating the role of car park height as the most influential variable related to the safety of the car park occupants.

*Keywords: car park, fire, smoke control, electric vehicles (EV)*

## Wprowadzenie

W świetle pędzących zmian w sposobach transportu, które szeroko można nazwać rewolucją elektromobilności, należy przyjąć, że każdy powstający dzisiaj garaż czy inny obiekt infrastruktury transportu powinien być przygotowany na pożar pojazdu elektrycznego. Społeczeństwo, politycy, producenci – wszyscy wydają się podzielać pogląd, że zwiększenie liczby pojazdów elektrycznych jest pożądane. Stawiane są ambiitne cele na najbliższe dekady, w tym zaprzestanie produkcji i rejestracji pojazdów spalinowych i zastąpienie ich pojazdami elektrycznymi. Podąża za tym legislacja, już dzisiaj uwzględniająca konieczność zaopatrzenia nowo powstających budynków w instalacje służące ładowaniu pojazdów elektrycznych. Infrastruktura obiektów użyteczności publicznej doposażana jest w miejsca szybkiego ładowania, co ma na celu przyciągnąć klientów, którzy czas ładowania ich pojazdu spędzą w obiekcie na zakupach czy konsumpcji. Z kolei postęp w technologiach magazynowania energii elektrycznej zapewnia coraz większy zasięg pojazdów elektrycznych, zbliżając go do zasięgu pojazdów spalinowych.

Powyższe sprawia, że znajdujemy się w przededniu rewolucji w prywatnym transporcie drogowym. Jednocześnie, w niepewności stoimy przed wyzwaniem – skoro pojazdy elektryczne już dzisiaj stają się codziennością w garażach czy innych obiektach infrastruktury transportu, to czy powinniśmy rozważyć je w kategorii zwiększonego ryzyka pożarowego? Medialny obraz przebiegu pożaru pojazdu elektrycznego można określić jako co najmniej alarmistyczny. Z relacji medialnych wiemy, że pożary mogą przebiegać w sposób gwałtowny, cechuje je wyrzut gazów w formie strumienia płomieni „jet fire”, są niezwykle toksyczne i jednocześnie trudne do ugaszenia. Patrząc na całokształt zagrożeń z perspektywy naukowej, należy jednak wziąć pod uwagę, że doniesienia medialne są zazwyczaj ograniczone do najbardziej ekstremalnych zdarzeń, być może nie reprezentatywnych dla całokształtu zagrożeń w zakresie przebiegu pożaru pojazdu elektrycznego.

W niniejszej publikacji postaram się przybliżyć różnice i podobieństwa pomiędzy pożarami pojazdów elektrycznych (EV) i z silnikami spalinowymi (ICEV). Nacisk położony zostanie na

problematyce wczesnego etapu rozwoju pożaru, nad którym badania prowadzono w ITB przez ostatnie dwa lata. Przedstawione zostaną wyniki naszych badań, wraz ze wstępnymi zaleceniami praktycznymi dot. projektowania nowych garaży przeznaczonych do parkowania pojazdów elektrycznych.

## Požary pojazdów

Analizując społeczny odbiór medialnego obrazu pożarów pojazdów elektrycznych, oraz na podstawie rozmów z projektantami, rzeczoznawcami czy strażakami, mogę postawić dwie tezy:

- (1) Społeczeństwo wydaje się przeceniać zagrożenia związane z pożarami pojazdów EV;
- (2) Społeczeństwo wydaje się nie doceniać zagrożeń związanych z pożarami pojazdów ICEV.

W związku z powyższym, przed omówieniem problematyki pożarów pojazdów elektrycznych najpierw należy omówić kilka ogólnych zagadnień związanych z pożarami samochodów osobowych (bez względu na źródło energii). Przebieg pożaru najłatwiej przedstawić w formie tzw. krzywej rozwoju pożaru, czyli w formie

wykresu mocy generowanej przez pożar w funkcji czasu. Ponieważ skutki pożaru są skorelowane z jego mocą, już sam opis zmiany mocy pożaru pozwala wysnuć wnioski, co do skutków tego pożaru w przestrzeni garażu. Nasza wiedza w tym zakresie powstaje w badaniach pożarowych w pełnej skali, prowadzonych w tzw. kalorymetrach. Wychodząc z pomiaru ubytku tlenu w strumieniu gazów pożarowych, możliwe jest określenie masy tlenu jaka brała udział w reakcji spalania, a dzięki temu określić całkowitą energię wyzwoloną w reakcji spalania. Przegląd badań w tym zakresie przedstawiłem w [1]. Analiza poszczególnych badań wskazuje, że pożar pojazdu nie ma jednego, uniwersalnego przebiegu. Zupełnie różny będzie pożar w komorze silnika od pożaru w przedziale pasażerskim. Inny będzie wynik pożaru pojazdu z otwartymi lub zamkniętymi oknami. W końcu, zupełnie inny przebieg będzie miał pożar powstały w wyniku np. przegrzania hamulców od pożaru na skutek podpalenia cieczy palnej pod zbiornikiem paliwa. To zróżnicowanie sprawia niebywałą trudność w doborze „uniwersalnego” pożaru opisującego szerokie spektrum zagrożeń z jakimi możemy się spotkać. Z drugiej strony, w praktyce projektowej, musimy posłużyć się jakimś pożarem kompromisowym, który pozwoli z właściwym marginesem bezpieczeństwa odzwierciedlić przebieg najbardziej niebezpiecznego rozwoju pożaru. W wytycznych ITB 493/2015 [2] zaproponowaliśmy wyko-

rzystanie pożaru projektowego z normy NEN 6098 [3], który z kolei powstał w odniesieniu do wyników badań pożarowych TNO [4], rys. 1.

W naszej ocenie krzywa TNO jest wygodna w codziennym stosowaniu, z uwagi na rozdzielenie na okres względnie małego pożaru (do 9 minuty) oraz późniejszy rozwój pożaru do pełnej mocy. Pozwala to na wygodną ocenę warunków w czasie ewakuacji oraz w czasie w pełni rozwiniętego pożaru pojazdu w chwili rozpoczęcia działań gaśniczych. Krzywa TNO jest wynikiem jednego eksperymentu, i nie można powiedzieć, że pożar pojazdu z całą pewnością rozwinie się w ten sposób. W szczególnych warunkach rozwój pożaru pojazdu spalinowego może być większy i bardziej gwałtowny, przy czym nastąpi to w wyniku zdarzeń mało prawdopodobnych (podpalenie tapicerki przy otwartych oknach, celowe rozszczelnienie pełnego zbiornika z paliwem itp.), co pokazano m.in. w niedawnych badaniach RISE [5]. Jednocześnie pożar pojazdu wg TNO jest zbliżony do wyników innych badań pożarowych, zarówno w pierwszej części pożaru ustabilizowanego na niskiej mocy, jak i w pikie. W naszej ocenie, krzywa ta wciąż jest dobrym opisem pożaru na potrzeby projektowania systemów wentylacji pożarowej. Można zatem uznać ją za **krzywą referencyjną** i stanowi ona dla nas punkt odniesienia do analiz skutków pożarów pojazdów elektrycznych.

## Różnice w pożarach pojazdów elektrycznych i spalinowych

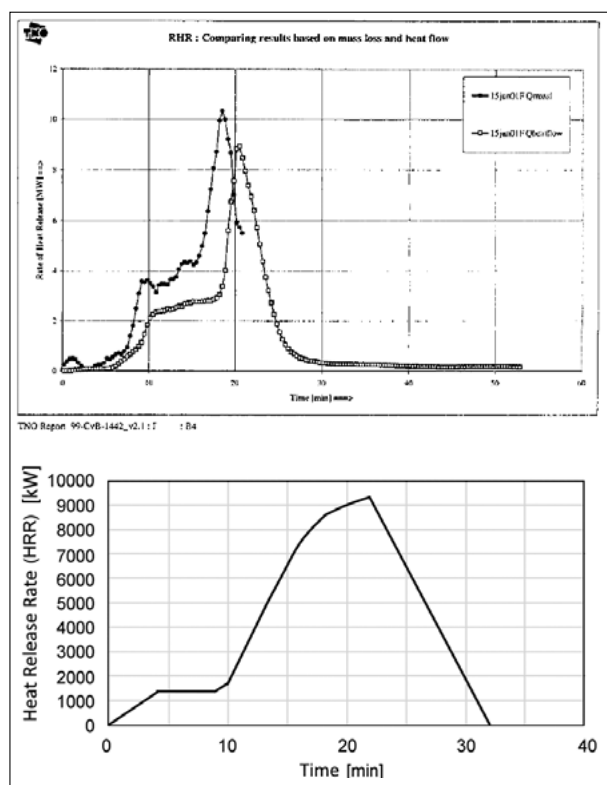
Aby ocenić rzeczywiste różnice w przebiegu pożaru pojazdu elektrycznego i spalinowego, dla uproszczenia możemy rozważania te rozdzielić na trzy niezależne problemy badawcze:

- (1) Czy prawdopodobieństwo pożaru EV jest większe?
- (2) Czy pożar EV rozwija się szybciej?
- (3) Czy pożar EV jest większy?

Najłatwiej odpowiedzieć jest na trzecie z pytań. W świetle przeglądu literatury [6] można stwierdzić, że całkowita energia wydzielona w pożarze pojazdu elektrycznego, jak i wartość szczytowa generowanej mocy pożaru są zbliżone do wartości notowanych w pożarach pojazdów spalinowych. Oznacza to, że obiekt projektowany na typowy pożar o mocy 8 MW (jak dla pojazdu spalinowego) w chwili osiągnięcia przez pożar pojazdu EV jego maksymalnej mocy, powinien być w stanie poradzić sobie z tym zagrożeniem w sposób zbliżony. Oczywiście, skład spalin może być inny (ze szczególnym podkreśleniem zwiększonej zawartości fluorowodoru), sam przebieg pożaru może obejmować nietypowe zjawiska (pożar 'jet-fire') oraz mogą pojawić się trudności ze skutecznym ugaszeniem płonącej baterii. Mimo wszystko, z uwagi na wentylację pożarową będzie to zagrożenie zbliżone do pożaru pojazdu spalinowego.

W odniesieniu do prawdopodobieństwa wystąpienia pożaru pojazdu elektrycznego, niestety nie posiadam w chwili obecnej wiarygodnych danych pozwalających na jednoznaczne stwierdzenie częstotliwości tych zdarzeń. Na niepewność w tym zakresie wpływa również galopująca technologia budowy ogniw elektrycznych, co sprawia, że badania w tym zakresie sprzed 5-10 lat trudno uznać za aktualne. Jednocześnie, ponieważ w projektowaniu systemów bezpieczeństwa pożarowego pożar uznajemy za zdarzenie pewne (projektujemy systemy przygotowane na powstanie pożaru), w odniesieniu do projektowania systemów wentylacji samo prawdopodobieństwo jego wystąpienia ma nieco mniejsze znaczenie.

Pozostaje odpowiedź na ostatnie pytanie – „czy pożar EV rozwija się szybciej”? Dotychczasowe badania, także te omówione w [6], wskazują na możliwość szybkiego rozwoju pożaru w wyniku kaskadowej awarii ogniw baterii. Wówczas w krótkim okresie dochodzi do uwolnienia dużej ilości palnych gazów, które wyrzucane są z baterii poprzez zawory upustowe lub nieuszczelnności jej obudowy, a po zapłonie



Rys. 1. Powyżej – wyniki badań pożarowych TNO [4], poniżej – krzywa rozwoju pożaru w ITB 493/2015 [2]

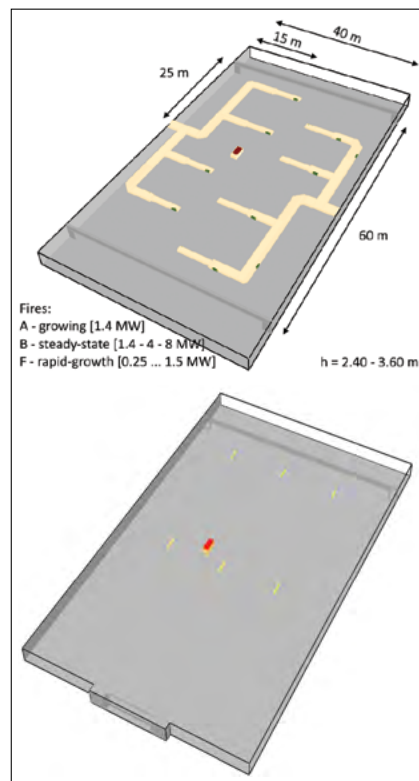
są w stanie w krótkim czasie wygenerować dużą ilość ciepła. Nie dysponujemy jednoznacznym opisem mocy pożaru tego zjawiska, gdyż charakter uwalnianego strumienia (kształt, ciśnienie, zasięg) są związane zarówno z budową samej baterii, jak i sposobem jej montażu i obudowania w pojeździe. Pewną anegdotyczną wiedzę przynoszą nagrania wideo pożarów pojazdów elektrycznych. Na potrzeby naszych badań, moc takiego pożaru oszacowaliśmy w przedziale od 250 kW do 1500 kW. Należy tu podkreślić, że mówimy tylko o pożarze gazów wyrzucanych z baterii. Konsekwencją tego zdarzenia może być przeniesienie pożaru do przestrzeni pasażerskiej, po czym pożar może osiągnąć o wiele większą moc.

### Wyniki badań w zakresie pożarów o szybkim przebiegu

W celu oceny różnic w przebiegu pożaru referencyjnego (krzywa TNO), pożaru typu „fast” [7] oraz pożarów szybko rozwijających się (imitujących szybki rozwój pożaru pojazdu EV) zaprojektowano krzywe rozwoju pożaru przedstawione na rys. 2. Moc pożarów szybko rozwijających się rosła do wartości zadanej (od 250kW do 1500kW w zależności od scenariusza) w około 30 s. Jako odniesienie do analizy wyników można stwierdzić, że zaprojektowany przez nas pożar osiągający moc 750 kW w czasie pierwszych czterech minut analizy wydziela

zblizoną ilość dymu i ciepła co referencyjny pożar TNO lub pożar przebiegający według krzywej fast (obydwa rozwijane do mocy ok. 1,40 MW). W każdym z naszych pożarów współczynnik generacji sadzy (tzw. soot yield) wynosił 0,1 g/g [8] a efektywne ciepło spalania 25 MJ/kg. Obydwa parametry wymagają uszczegółowienia w przyszłości, uwzględniającego fizykochemię spalania gazów wydzielanych w przebiegu awarii ogni. W obecnej chwili wartości tych nie różnicowano, uznając to za uzasadnione uproszczenie rozważań. Podobnie, nie modelowano konwekcji wymuszonej przepływem „jet-fire”, co będzie kolejnym krokiem badań prowadzonych w tym obszarze w ITB.

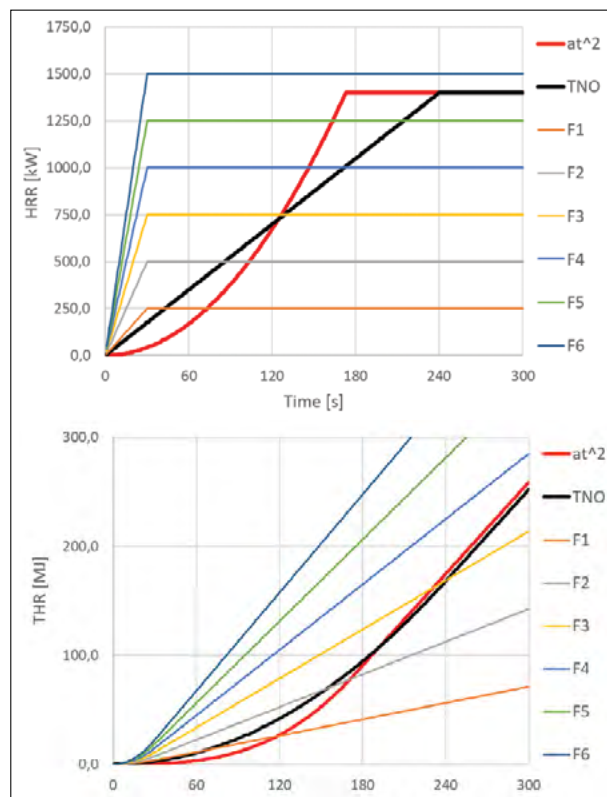
Badania prowadzono w prostokątnym garażu o wymiarach 40 m x 60 m i wysokości 2,40 m, 2,70 m, 3,00 m, 3,30 m lub 3,60 m. W garażach wykonano modele systemów wentylacji kanałowej i strumieniowej. W przypadku wentylacji kanałowej analizowano systemy o sumarycznej wydajności wyciągu 17 m<sup>3</sup>/s, 34 m<sup>3</sup>/s i 50 m<sup>3</sup>/s. W przypadku wentylacji strumieniowej analizowano system z samymi jet-fanami (siła ciągu 50N) i ścianą otwartą, oraz systemy z dodatkowym wyciągiem mechanicznym o wydajności 44 m<sup>3</sup>/s, 66 m<sup>3</sup>/s lub 88 m<sup>3</sup>/s. Do celów porównawczych przeprowadzono także symulacje bez systemów wentylacji. Odnosząc się do wyników analiz zawartych w [10], w niniejszych symulacjach nie uwzględniano obecności pojazdów w garażu. In-



Rys. 3. Przykładowe modele garaży z wentylacją przewodową (powyżej) oraz strumieniową (poniżej)

nych parametrów nie różnicowano. Użytkowano łącznie 480 kombinacji parametrów wejściowych, które badano z wykorzystaniem metody CFD oraz oprogramowania FDS.

Z przeprowadzonych analiz wynika, iż wysokość garażu jest zmienną o największym znaczeniu dla bezpieczeństwa użytkowników garażu podziemnego z pojazdami EV. Bezpieczeństwo to określane jest zazwyczaj w trakcie analizy Wymaganego i Dostępnego Czasu Bezpiecznej Ewakuacji (WCBE i DCBE), w trakcie której oceniane są warunki środowiska na wybranej płaszczynie oceny. Wysokość oceny wybierana jest arbitralnie, przy czym zazwyczaj mieści się w zakresie od 1,60 do 2,00 m (w naszej praktyce zawodowej jest to najczęściej – 1,80 m). Ponieważ dym utrzymuje się pod stropem garażu w tzw. poduszce gorącego dymu (warstwie dymu) o grubości zbliżonej do 1 m, w przypadku garaży o zbyt niskiej wysokości utrzymanie dymu powyżej płaszczyny oceny jest niemożliwe. Jednocześnie, podniesienie wysokości garażu skutkuje podniesieniem warstwy dymu, co bezpośrednio poprawia warunki ewakuacji. Choć powyższe wydaje się być oczywiste, zależność pomiędzy wysokością garażu a bezpieczeństwem nie jest uwzględniona w normach projektowych systemów wentylacji pożarowej. Z racji przyjętych uproszczeń w modelach osiowo-symetrycznej kolumny



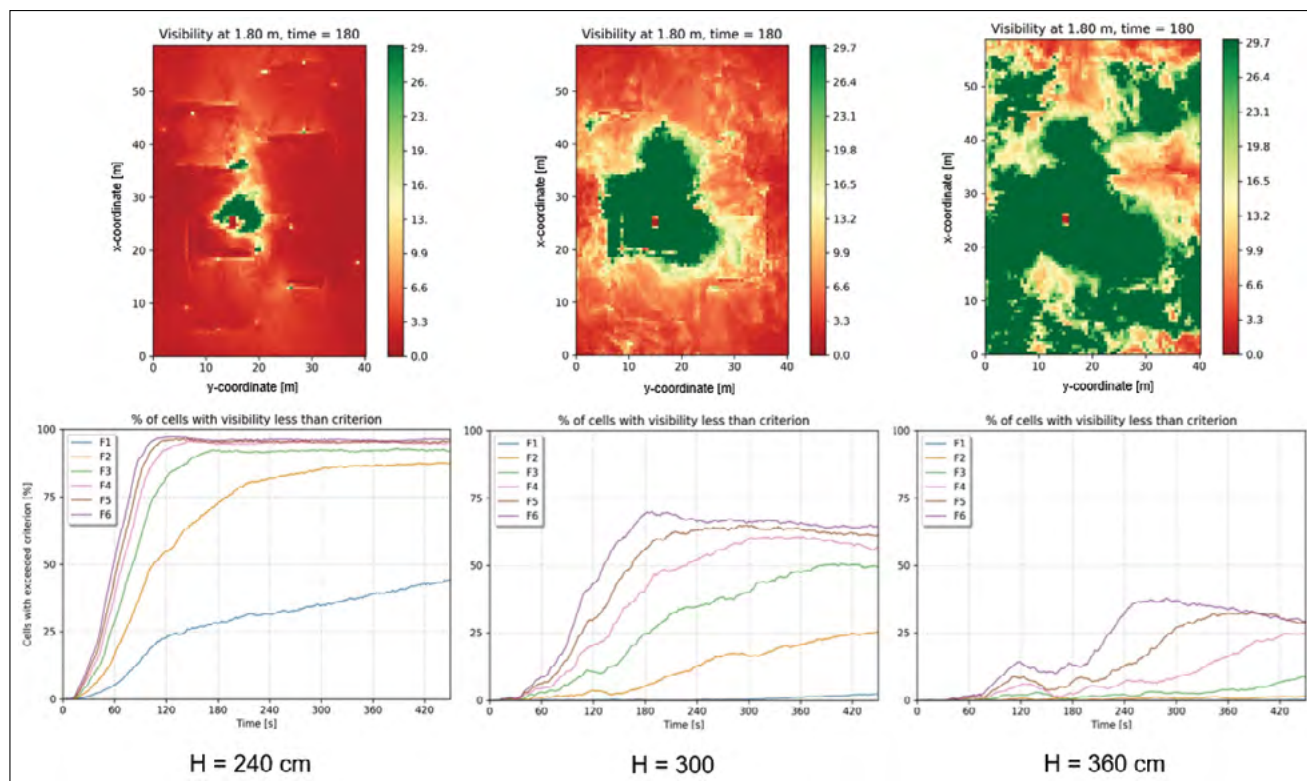
Rys. 2. Powyżej – krzywe rozwoju pożaru przyjęte w analizach CFD [kW], poniżej – całkowita energia wydzielona w pożarze w funkcji czasu [MJ] [9]

dymu [11] wraz ze wzrostem wysokości garażu wzrasta wymagana wydajność systemu oddymiania. System oddymiania o jednej wydajności powinien zatem dawać coraz gorsze rezultaty w coraz to wyższych garażach, podczas gdy w naszych badaniach wykazano, iż jest odwrotnie.

W przypadku prowadzonych przez nas analiz dla najniższych garaży (2,40 m), bez względu na zastosowany system wentylacji, nie uzyskiwano satysfakcjonujących warunków środowiska (temperatura, widzialność). Na rys. 4 przedstawiono porównanie zmiany % powierzchni garażu w jakiej odnotowano przekroczenie

nieakceptowalne. Porównanie wyników symulacji bez i z wentylacją (kanałowa o wydajności 34 m<sup>3</sup>/s, garaż o wysokości 2,70 m) przedstawiono na rys. 5. Jak wynika z tej analizy, przy pożarze szybko rozwijającym się o mocy 750 kW, wyniki są zbliżone do wyników symulacji z pożarem referencyjnym. W przypadku pożarów szybko rozwijających się o większej mocy, wyniki analiz dla tych pożarów są zdecydowanie gorsze od referencyjnych. Ponieważ nie znamy mocy pożaru samej baterii, trudno w tej chwili przewidzieć skutki takiego pożaru w garażu. Jednocześnie, opierając przewidywania wyłącznie

ce wyniki analiz uzyskiwaliśmy w garażach o wysokości 3,00 m i wyższych, rys. 6. Oznacza to, że garaże wysokie cechuje większe bezpieczeństwo w odniesieniu do pożarów szybko rozwijających się, bez względu na rodzaj wykorzystanego systemu wentylacji. Co więcej, w analizach dla garaży niskich obserwowaliśmy znikome różnice pomiędzy symulacjami z systemami wentylacji o różnych parametrach. Różnice te były istotne dopiero w wysokich garażach. Oznacza to, że może nie być możliwe zrekompensowanie niewystarczającej wysokości garażu większym systemem wentylacji (pomijając tu oczywiście



**Rys. 4.** Widzialność w dymie (0 – 30 m) oraz część komórek, w których zaobserwowano przekroczenie wartości granicznej (10 m) wyrażone w procentach, w funkcji czasu, dla garaży o różnej wysokości oraz pożarów o różnych mocach. Garaż o wysokości 2,70 m wentylowany naturalnie

krytycznych warunków środowiska z uwagi na ewakuację, w funkcji czasu. Pożary oznaczono indeksami od F1 do F6, co oznacza pożary szybko rozwijające się o mocach od 250 kW do 1500 kW (oznaczenia kolejne, skok co 250 kW). W garażu niskim, już po 60 sekundach obserwowane są przekroczenia w ponad połowie jego powierzchni, dla trzech badanych pożarów. W przypadku garażu wysokiego, pomimo braku systemu wentylacji mechanicznej, warunki środowiska utrzymują się na poziomie akceptowalnym w większości garażu przez 2-4 minuty.

Wprowadzenie systemu wentylacji w garażach o wysokości 2,40 m, nie wpływa na wyniki oceny, które są wciąż

na nagraniach wideo pożarów pojazdów EV, można spodziewać się, że moc ta będzie większa niż 1 MW, co oznacza, że przebieg pożaru pojazdu elektrycznego w początkowej fazie będzie gorszy niż przebieg pożaru pojazdu spalinowego. Także w garażach wentylowanych.

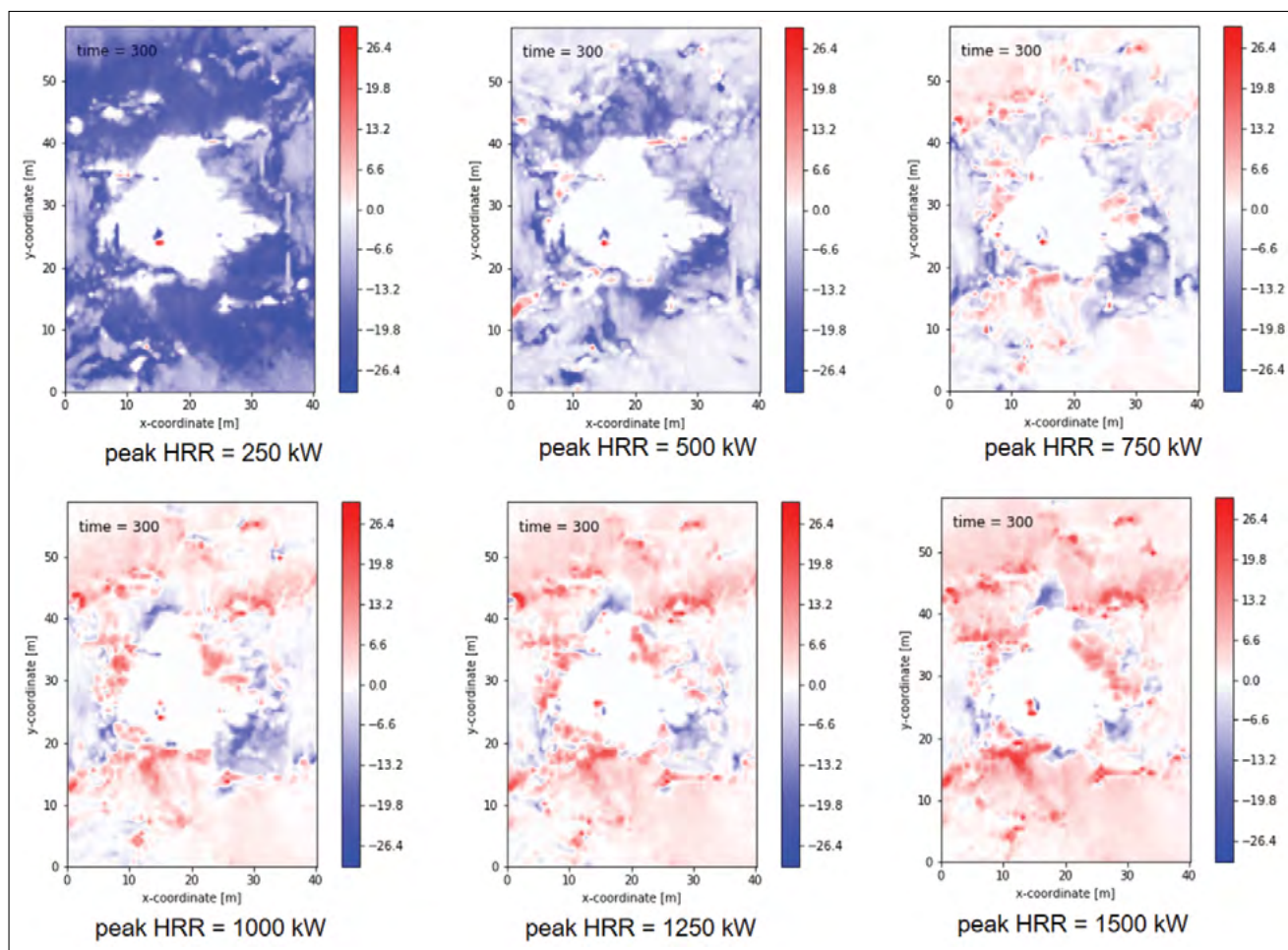
### Wnioski praktyczne

Obserwując gorsze wyniki analiz dla pożarów szybko rozwijających się, próbowaliśmy jednocześnie odpowiedzieć, czy istnieją rozwiązania techniczne pozwalające poprawić ten niekorzystny obraz. Z przeprowadzonych przez nas analiz wynika jednoznacznie, że satysfakcjonują-

problemy techniczne z instalacją większego systemu w mniejszym garażu). Powyższe wydaje się być logiczne – wyższy garaż oznacza większy zbiornik dymu, a to oznacza, że możliwe jest zmagazynowanie w nim większej ilości dymu zanim opadnie do wysokości głów osób ewakuujących się. W świetle przeprowadzonych badań za zasadne wydaje się utrzymanie zalecenia podanego już w ITB 493/2015 [2], gdzie rekomendowana wysokość garażu dla których wytyczne są właściwe, wynosi 2,90 m.

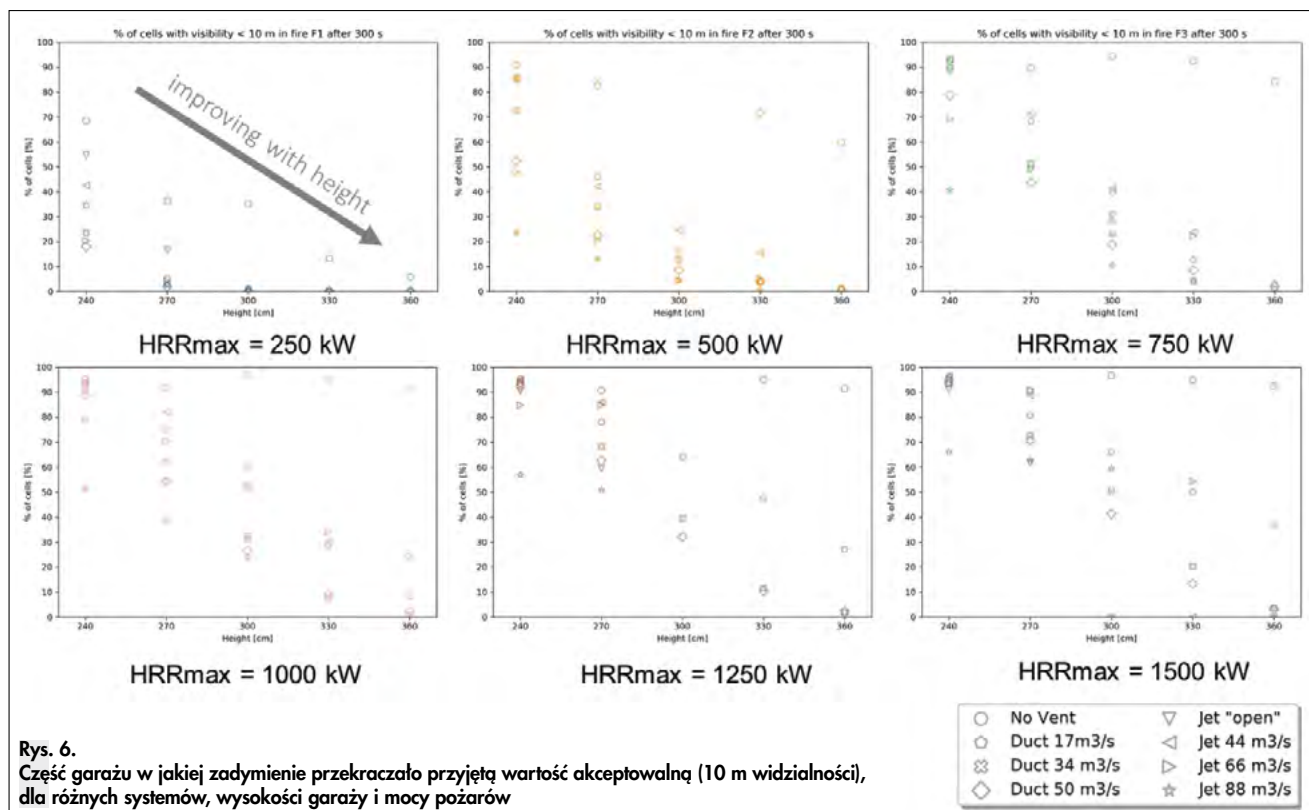
Podsumowując, jeżeli problem szybkiego rozwoju pożaru w jego wczesnej fazie zostanie rozwiązany poprzez zapewnienie wystarczającej wysokości





Rys. 5.

Różnice w zmierzonej widzialności w dymie pomiędzy symulacjami z pożarem referencyjnym (TNO) a pożarem szybko rozwijającym się o różnych mocach. Kolor niebieski wskazuje, że widzialność była niższa w symulacji referencyjnej, kolor czerwony, że w symulacji EV. Intensywność koloru odzwierciedla wartość różnicy. Pomiar w 300 s analizy. Symulacja w garażu o wysokości 2,70 m z systemem wentylacji przewodowej o wydajności 34 m<sup>3</sup>/s



Rys. 6.

Część garażu w jakiej zadymienie przekraczało przyjętą wartość akceptowalną (10 m widzialności), dla różnych systemów, wysokości garaży i mocy pożarów

garażu i typowych rozwiązań mechanicznej wentylacji pożarowej, wydaje się, że przebieg i skutki pożaru pojazdu EV w garażu nie będą odbiegać od pożaru pojazdu spalinowego. Jednocześnie, w garażach bardzo niskich lub o małej kubaturze, skutki pożarów szybko rozwijających się mogą być poważniejsze niż pożary pojazdów konwencjonalnych. W budynkach tych dostępny czas ewakuacji może być krótszy niż suma opóźnień w systemie detekcji pożaru i wentylacji pożarowej, co oznacza, że systemy budynku mogą nie zareagować wystarczająco wcześnie, aby zmienić przebieg i skutki pożaru. W budynkach tych kluczowe znaczenie będzie miało utrzymanie drożności i doskonałe oznakowanie dróg ewakuacji, jak również możliwe maksymalne skrócenie wszelkich opóźnień w działaniu systemów bezpieczeństwa. Rozsądnym wydaje się także stosowanie samoczynnych urządzeń gaśniczych. Choć nie będą one miały bezpośredniego wpływu na pożar baterii, przyczynią się do ograniczenia rozprzestrzeniania się ognia, zmniejszą temperaturę gazów pożarowych oraz być może przyczynią się do wyptłukania niektórych toksycznych produktów spalania.

W przypadku braku możliwości aktywnego zmniejszenia ryzyka pożaru pojazdu EV rozwiązaniami techniczno-budowlanymi (wysokość garażu, system wentylacji, urządzenia gaśnicze) pomocną strategią może być zarządzanie tym ryzykiem. Może się ono odbyć poprzez lokalizację miejsc postojowych dla pojazdów EV w pobliżu punktów wyciągu dymu, czy w innych miejscach korzystnych z uwagi na oddymianie i ewakuację (np. z dala od punktów

nawiewnych, z dala od wyjść ewakuacyjnych, w pobliżu punktów wyciągu dymu). Dotyczy to szczególnie miejsc postojowych z punktami ładowania pojazdu.

Wyzwania związane z rewolucją elektromobilności nie ograniczają się wyłącznie do potencjalnego szybkiego rozwoju pożaru i skutków z nim związanych. Proces ładowania pojazdów elektrycznych oraz wprowadzanie do garażu powiązanej z nim infrastruktury (ładowarki, kable) także stanowi ciekawe wyzwanie z uwagi na wentylację pożarową obiektów. Interesujące są także mechanizmy propagacji pożarów pojazdów EV, chociaż wielkie pożary garaży w ostatnich latach (m.in.: Liverpool 2017, Stavanger 2020, Warszawa 2020) wskazują, że problem ten dotyczy wszystkich rodzajów pojazdów bez względu na rodzaj paliwa.

Mam świadomość niedostatku wiedzy w zakresie bezpieczeństwa pożarowego infrastruktury w odniesieniu do pojazdów EV. Wynika on z niewystarczającej liczby badań w pełnej skali. W świetle niedawno ogłoszonych i rozstrzygniętych konkursów na prace badawcze (NFPA) czy budowy nowych laboratoriów w tym obszarze (m.in.: RISE, Szwecja; King's College, UK) na przyszłość w tym obszarze patrzę z optymizmem. Jednocześnie, prace badawcze niezliczonych ośrodków naukowych skierowane są na poprawę stabilności termicznej i bezpieczeństwa pożarowego baterii. Celem jest opracowanie technologii, w których awaria pojedynczego ogniwa nie przenosi się na ogniwa sąsiadujące. Technologie te pozwolą na wyeliminowanie problemu kaskadowej awarii ogniwa w baterii, a przez to na wyeliminowanie opisywanego w niniejszej publikacji proble-

mu pożaru szybko rozwijającego się. Jeżeli technologia te okażą się skuteczne i będą powszechnie stosowane, pożary pojazdów EV mocno spowszednieją i nie będą się znacząco różnić od wyzwań powiązanych z pożarami pojazdów spalinowych.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Krajewski G., Węgrzyński W. (2014) The use of Fire safety Engineering in the design and commissioning of car Park Fire ventilation systems. *Bezpieczeństwo i Tech Pożarnicza* 36: <https://doi.org/10.12845/bitp.36.4.2014.X>
- [2] Węgrzyński W., Krajewski G. (2015) Systemy wentylacji pożarowej garaży. *Projektowanie, ocena, odbiór*, 493/2015. Instytut Techniki Budowlanej
- [3] NEN 6098:2010 (2010) *Ontw. nl Rookbeheersingssystemen voor mechanisch geventileerde parkeergarages*
- [4] van Oerle N., Lemaire A., van de Leur P. (1999) Effectiveness of Forced Ventilation in Closed Car Parks. In: TNO Report No. 1999-CVB-RR1442
- [5] Willstrand O., Bisschop R., Blomqvist P., Temple A., Anderson J. (2020) Toxic Gases from Fire in Electric Vehicles. *RISE Report* 2020:90
- [6] Sun P., Bisschop R., Niu H., Huang X. (2020) A Review of Battery Fires in Electric Vehicles. Springer US
- [7] NFPA (2015) NFPA 204 Standard for Smoke and Heat Venting 2015 Edition
- [8] Węgrzyński W., Vigne G. (2017) Experimental and numerical evaluation of the influence of the soot yield on the visibility in smoke in CFD analysis. *Fire Saf J* 91:389–398: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.03.053>
- [9] Węgrzyński W. (2021) What If Fires in Car Parks Developed Quicker Than We Think? *FPExtra* 1–6
- [10] Suchy P., Węgrzyński W. (2018) The Influence of the Arrangement of Passenger Cars in Indoor Car Parks on CFD Calculations. *BEZPIECZEŃSTWO I Tech. Pożarnicza* 52:118–139: <https://doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.8>
- [11] Vigne G., Gutierrez-Montes C., Cantizano A., Węgrzyński W., Rein G. (2019) Review and Validation of the Current Smoke Plume Entrainment Models for Large-Volume Buildings. *Fire Technol.* 55:789–816: <https://doi.org/10.1007/s10694-018-0801-4>

## Legionella w instalacjach budynków

Autorzy: **Andrzej Wolski, Krzysztof Kaiser**

#### Spis treści

1. Wstęp
2. Legionelloza – przyczyny i konsekwencje zakażenia. Ryzyko infekcji
3. Środowiskowe czynniki rozwoju bakterii Legionella
4. Wpływ temperatury wody w instalacji ciepłej wody na rozwój bakterii Legionella
5. Wymagania aktów prawnych dotyczące występowania bakterii Legionella w instalacjach ciepłej wody
6. Węzły zasilające instalacje ciepłej wody – ograniczanie ryzyka rozwoju bakterii Legionella
7. Minimalizacja ryzyka rozwoju bakterii Legionella w instalacjach wodociągowej ciepłej wody
8. Dezynfekcja instalacji ciepłej wody
9. Legionella w instalacjach klimatyzacji – wentylacji
10. Bezpieczeństwo i higiena pracy podczas eksploatacji instalacji skażonych bakterią Legionella
11. Zalecenia dla szpitali
12. Literatura

**Sprzedaż prowadzi:  
Ośrodek Informacji**

**„Technika instalacyjna w budownictwie”  
02-674 Warszawa, ul. Marynarska 14  
tel./fax: (22) 843-77-71**

**e-mail:**

**redakcja@informacjainstal.com.pl  
www.informacjainstal.com.pl**

**Cena 45zł**



# Techniczne i ekonomiczne aspekty zastosowania innowacyjnej metody ozonowania do usuwania wybranych farmaceutyków ze ścieków – badania w skali ułamkowo-technologicznej w oczyszczalni ścieków Jaworzno Dąb

Technical and economic aspects of using the innovative ozonation method for removal of selected pharmaceuticals from sewages – the research on a fragmentary-technical scale in the Jaworzno Dąb wastewater treatment plant

JAN PAWEŁEK, TOMASZ BERGEL, EWA SIEDLECKA, ANDRZEJ K. BIŃ,  
BEATA SZATKOWSKA, ROBERT MUSZAŃSKI, MICHAŁ KOSINIAK

DOI 10.36119/15.2021.7-8.5

W pracy poddano analizie skuteczność technologiczną usuwania ze ścieków wybranych farmaceutyków (diklofenaku, karbamazepiny, sulfametaksazolu), przy wykorzystaniu innowacyjnej technologii stosowania ozonu. Badania prowadzono w okresie 9 miesięcy w pilotowej stacji badawczej o wydajności od 2 do 5 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> na terenie oczyszczalni Dąb w Jaworznie. Stwierdzono, że średnia redukcja stężenia farmaceutyków kształtowała się dla poszczególnych dawek ozonu: 6,0; 6,4 i 7,2 gO<sub>3</sub>·m<sup>-3</sup> odpowiednio dla diklofenaku od 89,3; 94,9; 96,4%, dla karbamazepiny 88,7; 92,5; 96,3% i dla sulfametaksazolu 68,2; 81,2; 92,6%. W pracy poddano także analizie redukcję podstawowych wskaźników zanieczyszczeń BZT<sub>5</sub> i ChZT. W celu odpowiedzi na pytanie czy istnieje ekonomiczne uzasadnienie stosowania w praktyce proponowanego układu technologicznego, przeprowadzono analizę zużycia energii elektrycznej, której udział stanowi największy składnik kosztów usuwania farmaceutyków. Przeprowadzono ją w odniesieniu do objętości 1 m<sup>3</sup> oczyszczanych ścieków. Pobór energii wyniósł **średnio 0,96 kWh·m<sup>-3</sup>**.

*Słowa kluczowe: ścieki, farmaceutyki, ozon, zużycie energii*

This paper focused on the technological efficiency of removal the pharmaceuticals, including diclofenac, carbamazepine and sulphamethoxazole from the sewages with the use of innovative ozone technology. The research was conducted for 9 months at a pilot research station (a capacity of 2 to 5 m<sup>3</sup>/hr) on the site of Dąb sewage treatment plant in Jaworzno. It was found that the average reduction of the pharmaceuticals at individual ozone doses (6.0; 6.4 and 7.2 g O<sub>3</sub> · m<sup>-3</sup>) was as follows: for diclofenac – 89.3; 94.9; 96.4%; for carbamazepine – 88.7; 92.5; 96.3% and for sulfamethaxazole – 68.2; 81.2; 92.6%. Moreover, in this paper also the reduction of the basic pollution indicators: BOD and COD was analyzed. In order to answer the question of whether there is a practical justification in the use of the proposed technological layout for this process, there was carried the analysis of energy consumption that is the largest cost factor at removal of pharmaceuticals. It was analyzed for the volume of 1 m<sup>3</sup> of treated sewages. The average energy consumption was 0.96 kWh · m<sup>-3</sup>.

*Keywords: sewage, pharmaceuticals, ozone, energy consumption*

## Wprowadzenie

Postęp cywilizacyjny powoduje, że z jednej strony następuje wzrost długości i standardu życia ludzi, a z drugiej wzrasta liczba i rodzaj zagrożeń dla środowiska naturalnego. Szczególnemu zagrożeniu i degradacji ulegają zasoby wodne poprzez odprowadzanie do nich wielu substancji, których negatywne skutki będą

odczuwane przez wiele lat. Należą do nich między innymi farmaceutyki, które są aktywnymi biologicznie związkami, stosowanymi głównie w medycynie i weterynarii. W literaturze określane są jako farmaceutyki i środki ochrony osobistej PPCPs (ang. Pharmaceuticals and Personal Care Products). Zaliczamy do nich także suplementy diety i odżywki spożywcze. Pomimo, że leki występują w ściekach i wodach

rzek na względnie niskim poziomie stężeń (rzędu 10<sup>-3</sup> - 10<sup>2</sup> µg·dm<sup>-3</sup>), to ich ilość jest często wystarczająca, aby negatywnie oddziaływać na organizmy żywe [1]. Antybiotyki, takie jak sulfametoksazol, mogą również przyczynić się do rozprzestrzeniania bakterii opornych na leki [1].

Świadomość negatywnego oddziaływania na organizmy wodne tych związków narastała stopniowo i dopiero pod

prof. dr hab. inż. Jan Pawełek, <https://orcid.org/0000-0003-0838-0039>; dr. hab. inż. Tomasz Bergel, prof. UR, <https://orcid.org/0000-0003-0475-112X> – Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; prof. dr hab. Ewa Siedlecka, <https://orcid.org/0000-0002-6224-0259> – Wydział Chemii, Uniwersytet Gdański; prof. dr hab. inż. Andrzej K. Biń – Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechnika Warszawska; dr inż. Beata Szatkowska – DOT-EKO, Gdańsk; dr inż. Robert Muszański, <https://orcid.org/0000-0001-7257-9558> mgr inż. Michał Kosiniak, Wofil Robert Muszański. Adres do korespondencji/Corresponding author: [tomasz.bergel@urk.edu.pl](mailto:tomasz.bergel@urk.edu.pl)

koniec lat 90. ubiegłego wieku podjęto liczne badania nad metodami ich eliminacji z wody oraz ścieków. Wyniki tych badań doprowadziły do wniosku, że aby zwiększyć skuteczność usuwania farmaceutyków należy przeprowadzić modernizację istniejących oczyszczalni ścieków przez dodanie dalszych stopni oczyszczania. Takie modernizacje przeprowadzono m.in. w Szwajcarii, Szwecji i Niemczech. Poprzedzone one zostały przeprowadzeniem licznych badań w skali laboratoryjnej i pilotowej. Szczególnie ważne są badania w skali pilotowej, bowiem można na ich etapie przeprowadzić sprawdzenie skuteczności proponowanych rozwiązań technologicznych i ich wariantów dla rzeczywistych ścieków zasilających stację pilotową w dłuższym przedziale czasu, co dodatkowo dostarcza informacji o wpływie sezonowości na efekty eliminacji mikrozanieczyszczeń ze ścieków [2,3,4,5,6,7].

Stosowane leki ulegają w organizmie biotransformacji, a efektem tego procesu jest ich przejście do formy hydrofilowej, a następnie usunięcie z organizmu przez nerki z moczem. Należy jednak pamiętać, że nie wszystkie obecne w lekach związki ulegają biotransformacji, a tym samym są wydalane w formie pierwotnej i dostają się do ścieków. Związki te są w małym stopniu usuwane podczas mechaniczno-biologicznego oczyszczania ścieków komunalnych, co przekłada się na ich obecność w ściekach oczyszczonych, a następnie w wodach odbiornika, co powoduje określone skutki [8]. Stosowane obecnie metody, nie zapewniają wysokiej efektywności usuwania farmaceutyków ze ścieków [9]. Powoduje to konieczność wprowadzenia nowych zaawansowanych metod oczyszczania, zapewniających wysokie efekty usuwania leków ze ścieków. Wykazano, że najczęściej identyfikowanymi lekami w ściekach są ibuprofen, karbamazepina, diklofenak, sulfametoksazol czy estron. W konwencjonalnych oczyszczalniach ścieków stopień usuwania karbamazepiny wynosi zwykle poniżej 20% [10]. Stężenia karbamazepiny w wodach powierzchniowych, ściekach surowych i oczyszczonych mieszczą się w zakresie 1 - 3600 ng dm<sup>-3</sup>. Sulfametoksazol, ze względu na jego szerokie zastosowanie jest również często wykrywany zarówno w ściekach jak też w wodach powierzchniowych i gruntowych, a także w wodzie do picia. Stężenia sulfametoksazolu w ściekach oczyszczonych mieściły się w zakresie od 0,3 do 783 ng · dm<sup>-3</sup> [11,12], natomiast diklofenak w stężeniach dochodzących do 1,3 µg·dm<sup>-3</sup> [7]. Podobnie jak karbamazepi-

na, również diklofenak i sulfametoksazol są nieefektywnie usuwane przez konwencjonalne systemy oczyszczania ścieków.

Wzrost liczby ludności na świecie i rozwój medycyny powodują, że przemysł farmaceutyczny jest jedną z najprężniej rozwijających się gałęzi gospodarki. W Polsce w 2020 roku wartość rynku farmaceutycznego była równa 37,2 mld zł (dotyczy to segmentów aptecznych, szpitali i sprzedaży wysyłkowej online). Wzrost do roku poprzedniego wynosił 2,2%, czyli o ok. 0,8 mld zł więcej w porównaniu do 2019 roku [13]. Należy dodać, że rok 2020 ze względu na sytuację epidemiologiczną i trudniejszy dostęp do lekarza, był mniej korzystny w zakresie obrotu lekami. W latach poprzednich dynamika ta była wyższa, przykładowo w roku 2017 wzrost ten wynosił 4,9% w stosunku do roku poprzedniego. Czynniki te powodują, że należy spodziewać się dalszego wzrostu stężeń farmaceutyków w środowisku, w tym w ściekach i zagrożenia z ich strony dla organizmów żywych, włącznie z ludźmi. Uwarunkowania te powodują, że z jednej strony należy podejmować działania dla ograniczenia przyrostu stężeń farmaceutyków w ściekach, poprzez lepszą gospodarkę lekami, a z drugiej na doskonaleniu naukowych podstaw ich usuwania. Jedną z technologii usuwania farmaceutyków jest metoda ozonowania.

Ozon odkryty w 1840 roku przez Christiana Schönbeina jest obecnie szeroko stosowany nie tylko w technice uzdatniania wody, ale w wielu innych dziedzinach, np. w przemyśle spożywczym. Coraz powszechniejsze stosowanie ozonu wynika z jego oddziaływania na substancje zawarte w wodzie, spowodowane silnymi możliwościami utleniającymi, np. do usuwania smaku i zapachu. Wymienione uwarunkowania powodują, że zaczęto stosować ozon w technologii oczyszczania ścieków, jako dodatkowy proces po ich biologicznym oczyszczeniu, którego celem jest eliminacja farmaceutyków.

Artykuł niniejszy przedstawia wyniki badań efektywności usuwania trzech leków (diklofenaku, karbamazepiny i sulfametoksazolu) ze ścieków przy zastosowaniu ozonu. Ozonowaniu poddawano ścieki po mechaniczno-biologicznym oczyszczeniu (etap biologiczny w układzie Bardenpho) w oczyszczalni Jaworzno Dąb. Oczyszczalnia w Jaworznie to obiekt o przepustowości średniodobowej 25000 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup> zaprojektowany na 125000 RLM. Ścieki komunalne dopływają do oczyszczalni kanalizacją ogólnospławną. Głównie są to ścieki bytowo-gospodarcze oraz w 2,1% ścieki dowożone wozami aseniza-

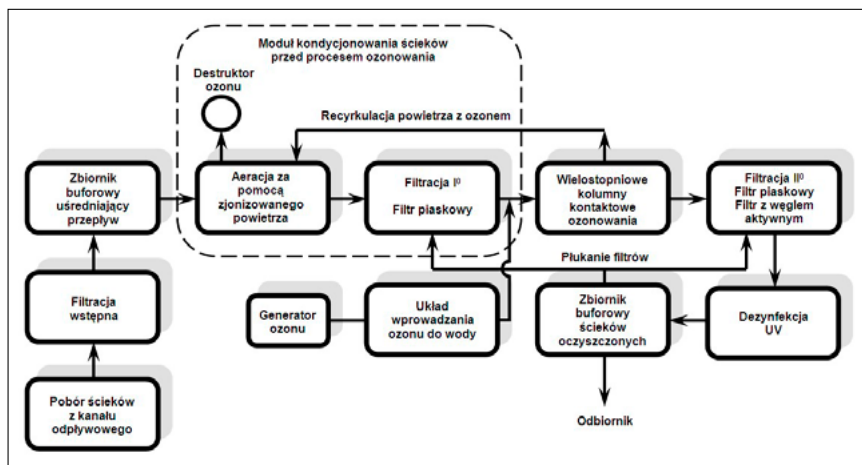
cyjnymi, 0,4% odcieki ze składowiska odpadów i 12,9% ścieki z przemysłu. Na wylocie z oczyszczalni zainstalowano układ ozonowania w skali ułamkowo-technicznej, pracujący przy zmiennych strumieniach przepływu ścieków w zakresie od 2 do 5 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>.

Celem pracy jest ocena sprawności zmodyfikowanej technologii stosowania ozonu pod kątem usuwania wybranych farmaceutyków ze ścieków oczyszczonych, a także, co należy uznać za istotne, ocena zużycia energii elektrycznej przy stosowaniu tej technologii, w celu odpowiedzi na pytanie dotyczące uzasadnienia ekonomicznego jej wprowadzania. Badania prowadzono w okresie od 01.06.2020 do 26.02.2021 na ściekach rzeczywistych dopływających i odpływających ze stacji pilotowej o zmiennych parametrach fizyko-chemicznych i przy stosowaniu różnych dawek ce ozonu.

### Stacja pilotowa i zastosowana w niej technologia usuwania farmaceutyków

Zastosowana technologia w stacji pilotowej, którą można nazwać innowacyjną, różni się od stosowanych, np. w Szwajcarii czy Szwecji tym, że do ścieków na wstępie podawana jest mieszanka powietrzno-ozonowa, w której ozon to zresorbowany gaz odpadowy z głównego ozonowania w kolumnach kontaktowych. Proces ten wspomaga ozonowanie właściwe poprzez destabilizację układów koloidalnych i inicjuje procesy utleniania. Wstępne utlenianie ma na celu optymalizację dawki ozonu. Dla skutecznego usuwania mikrozanieczyszczeń wprowadzono wstępne usuwanie materii organicznej przed głównym procesem ozonowania poprzez wstępną filtrację. Takie rozwiązanie miało na celu eliminację części materii organicznej. Ponadto, optymalizacja dawki ozonu jest w badanej instalacji realizowana poprzez zastosowanie kolumn kontaktowych wielostopniowych, które pozwalają na precyzyjne ustalenie czasu kontaktu ścieków z ozonem.

Zadaniem instalacji badawczej była redukcja stężenia farmaceutyków w ściekach w taki sposób, aby ograniczyć powstawanie ubocznych produktów ozonowania, (np. bromiany) oraz ograniczyć toksyczność ścieków po procesie. Badania były prowadzone także w celu optymalizacji procesu pod względem ekonomicznym i energetycznym. Układ technologiczny składa się z trzech stopni usuwania farmaceutyków: I stopień - usuwanie za pomocą zjonizowanego powietrza i prefiltracji,



Rys. 1. Schemat technologiczny stacji pilotowej do usuwania farmaceutyków ze ścieków oczyszczonych

II stopień - usuwanie za pomocą wody wysokoozonowanej w wielostopniowych kolumnach kontaktowych i III stopień - usuwanie przy pomocy procesów filtracyjnych na filtrze żwirowo-piaskowym i filtrze węglowym. Stacją pilotową mającą charakter obiektu kontenerowego tworzy pięć modułów (rys. 1).

#### Moduł poboru ścieków

Ścieki na potrzeby stacji pobierane są z kanału odpływowego odprowadzającego ścieki oczyszczone z oczyszczalni. Do poboru ścieków służy specjalnej konstrukcji wkład piętrzący, w którym zamontowana jest pompa. Pobrane ścieki są filtrowane na pierwszym stopniu filtracji ciśnieniowej, a następnie kierowane do zbiornika buforowego uśredniającego przepływ. Przed zbiornikiem realizowany jest pomiar temperatury i mętności. W przypadku przekroczenia określonej wartości mętności ścieki zostają zawrócone do kanału odpływowego.

#### Moduł kondycjonowania ścieków

Ze zbiornika buforowego ścieki pompowane są do aeratora-desorbera pracującego na zjonizowanym powietrzu. Przed aeratorem mierzone są: natężenie przepływu, wartość pH i temperatura. W aeratorze następuje napowietrzanie ścieków recykulowaną mieszaniną powietrza z ozonem odpadowym pochodzącym z kolumny kontaktowej, w której realizowany jest główny proces ozonowania. Ilość mieszaniny powietrzno-ozonowej włączanej do aeratora mierzona jest przez automatykę układu. Mieszanina powietrzno-ozonowa usuwana z aeratora kierowana jest do katalitycznego destruktor ozonu. Następnie ścieki pompowane są ze zbiornika reakcyjnego aeratora-desorbera na drugi stopień filtracji przez złożo piasku kwarcowego filtra ciśnieniowego.

#### Moduł ozonowania

Po filtracji ścieki trafiają do systemu ozonowania Wofil. Przepływają przez układ wprowadzania ozonu do ścieków, gdzie są mieszane z ustaloną dawką ozonu. Dawka ozonu może być zmieniana w dowolny sposób. Ścieki wymieszane z ozonem w mieszadzu statycznym, trafiają do pierwszej kolumny kontaktowej. Jest to kolumna utleniająco-wznosząca, w której następują reakcje utleniania. Z pierwszej kolumny ścieki przelewają się do drugiej kolumny (odgazowującej i przetrzymywania). Poziom napełnienia drugiej kolumny jest regulowany, a co za tym idzie - w dowolny sposób ustalany jest czas kontaktu ścieków z ozonem. Dodatkowo zastosowane kolumny kontaktowe są kolumnami wielostopniowymi, co umożliwia bardziej precyzyjnie ustalenie czasu kontaktu ścieków z ozonem, poprzez zmianę czynnej objętości kolumn. Przed kolumnami kontaktowymi mierzona jest objętość przepływu ścieków i ich temperatura.

Na podstawie natężenia przepływu ścieków dodawana jest odpowiednia ilość ozonu, zapewniająca założone stężenie ozonu resztkowego w ściekach, a pośrednio dawkę ozonu. Pobór próbki ścieków do pomiaru stężenia ozonu resztkowego, następuje w sposób ciągły z górnego poziomu pierwszej kolumny kontaktowej. Zjonizowane powietrze włączane do aeratora-desorbera, powstaje przez zmieszanie powietrza wdmuchiwanego do wielostopniowych kolumn kontaktowych z ozonem desorbującym z zaazonowanych ścieków przepływających przez kolumny. Z wielostopniowych kolumn kontaktowych odgazowane ścieki pompowane są na trzeci i czwarty stopień filtracji ciśnieniowej.

#### Moduł filtracji na złożach kwarcowych i węgla aktywnym

Trzeci stopień filtracji to filtracja ciśnie-

niowa na złożach kwarcowych, pozwalająca na usunięcie ze ścieków jak największej ilości utlenionych zanieczyszczeń. Czwarty stopień filtracji to filtracja ciśnieniowa na złożu filtracyjnym złożonym z hydroantracytu i bitumicznego węgla aktywnego. Filtracja ta zapewnia maksymalnie doczyszczanie ścieków z wszystkich utlenionych zanieczyszczeń. Blok ten służy do optymalizacji procesów oczyszczania ścieków oraz w przyszłości do procesów odzyskiwania wody. Po filtracji realizowany jest pomiar natężenia przepływu, dzięki któremu system automatycznie kompensuje i wyrównuje pracę układu technologicznego.

#### Moduł dezynfekcji UV

Po filtracji czwartego stopnia oczyszczone ścieki przepływają przez średniociśnieniową lampę UV i wpływają do zbiornika ścieków oczyszczonych. Pobór i badanie próbek po lampie UV oraz w innych wyznaczonych miejscach pozwala na porównanie i ocenę jakości oczyszczonych ścieków w różnych miejscach ciągu technologicznego. Oczyszczone i zdezynfekowane ścieki ze zbiornika ścieków oczyszczonych służą do płukania filtrów drugiego, trzeciego i czwartego stopnia filtracji.

Opisany ciąg może działać w dowolnej konfiguracji urządzeń technologicznych z możliwością pracy lub pominięcia każdego z nich. Pozwala to na ocenę efektywności działania każdego z elementów składowych ciągu technologicznego.

#### Metodyka badań

Badania prowadzono przy zmiennych strumieniach przepływu ścieków w zakresie od 2 do 5 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> i zmiennej dawce ozonu: 6,0; 6,4 i 7,2 gO<sub>3</sub>·m<sup>-3</sup>. Badania dla dawki 6,4 gO<sub>3</sub>·m<sup>-3</sup> prowadzono w okresie 1.06-24.06.2020r., dla 7,2 gO<sub>3</sub>·m<sup>-3</sup> w okresie 25.06-31.07.2020r. i najdłużej dla 6,0 gO<sub>3</sub>·m<sup>-3</sup> w okresie 3.08.2020r.-26.02.2021r. Należy dodać, że w okresie ok. dwóch miesięcy poprzedzających analizowany okres, prowadzono badania wstępne w celu „wpracowania układu” i sprawdzenia prawidłowej pracy poszczególnych modułów.

Próbki pobierano raz dziennie przez pięć dni w tygodniu (od poniedziałku do piątku) od 02.06.2020r. do 26.02.2021r. w sześciu punktach układu technologicznego, tj. na dopływie i odpływie oraz w czterech punktach pośrednich, w celu oceny udziału w procesie zmian jakości ścieków poszczególnych modułów stacji. Udział ten będzie przedmiotem innych

publikacji. W niniejszej pracy poddano analizie jakość ścieków na dopływie i odpływie ze stacji. Stężenia leków metodą chromatografii cieczowej LC-MS-MS oznaczano w laboratorium Eurofins OBIKŚ Polska Sp. z o.o. w Katowicach, natomiast oznaczenia wskaźników BZT<sub>5</sub> i ChZT wykonywano w laboratorium Wodociągów Jaworzno sp. z o.o.

Analizę energochłonności procesu usuwania farmaceutyków ze ścieków przeprowadzono dla okresu stosowania dawki ozonu równej 6,0 gO<sub>3</sub>·m<sup>-3</sup>. Przyjęto bowiem założenie, że z uwagi na znacznie dłuższy czas trwania tego okresu w stosunku do pozostałych, będzie on najbardziej reprezentatywny.

### Analiza wyników badań

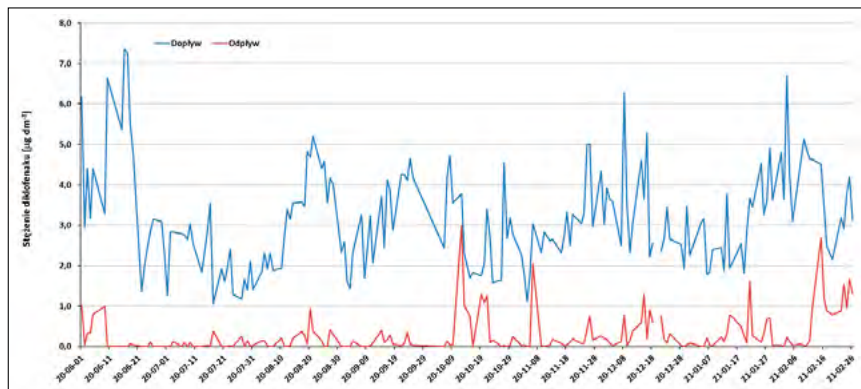
#### Efektywność usuwania farmaceutyków

Wyniki badań obejmujących stężenie farmaceutyków w ściekach na dopływie i odpływie ze stacji pilotowej przedstawiono odpowiednio: dla diklofenaku na rys. 2, dla sulfametaksazolu rys. 3 i dla karbamazepiny rys. 4.

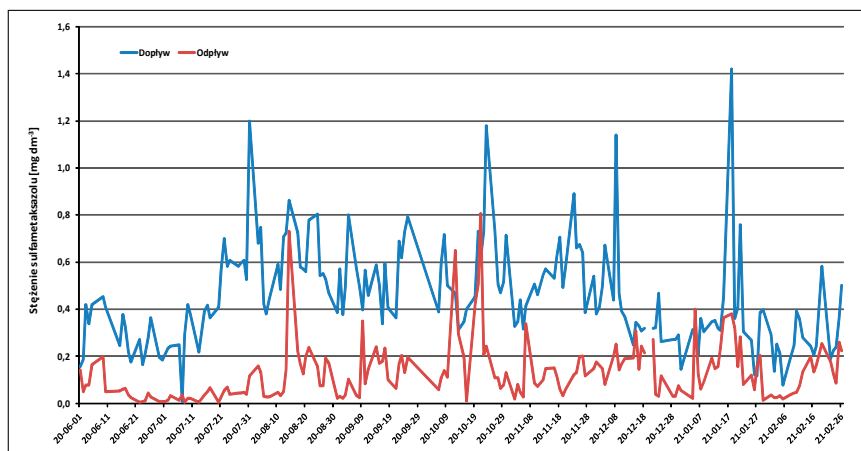
Przedstawione na rysunkach wyniki wskazują wysoką redukcję badanych farmaceutyków po poddaniu ich procesom ciągu technologicznego stacji pilotowej, a w szczególności procesowi ozonowania. Wyniki obliczeń procentowej redukcji w zależności od dawki ozonu przedstawiono w tabeli 1. Wynika z niej, że najwyższą redukcję uzyskano dla diklofenaku. Jego średnia redukcja wynosiła począwszy od najniższej 89,3% dla dawki 6,0 gO<sub>3</sub>·m<sup>-3</sup>, poprzez 94,9% dla dawki 6,4 gO<sub>3</sub>·m<sup>-3</sup> do 96,4% dla dawki 7,2 gO<sub>3</sub>·m<sup>-3</sup>. Nieco gorsze efekty uzyskano przy usuwaniu karbamazepiny, która była redukowana o 88,7; 92,5 i 96,3% odpowiednio dla dawki ozonu 6,0; 6,4 i 7,2 gO<sub>3</sub>·m<sup>-3</sup>. Najtrudniej usulwalnym lekiem był sulfametaksazol, bowiem efektywność ponad 90% uzyskano dopiero przy dawce 7,2 gO<sub>3</sub>·m<sup>-3</sup>, natomiast dla dawki ozonu 6,0 gO<sub>3</sub>·m<sup>-3</sup> redukcja jego stężenia była najniższa - średnio na poziomie 68,2%.

#### Redukcja fizykochemicznych wskaźników jakości ścieków z wykorzystaniem ozonowania

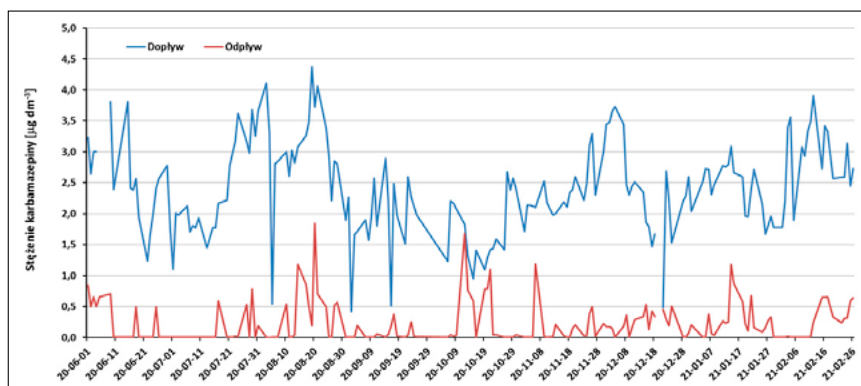
Wartości BZT<sub>5</sub> i ChZT w ściekach wprowadzanych na instalację były charakterystyczne dla ścieków oczyszczonych w poprawnie pracującej mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków. W okresie badań nie odnotowano przekroczenia wartości dopuszczalnej ChZT i tylko jednokrotne przekroczenie (o 6,6%)



Rys. 2. Stężenie diklofenaku w ściekach dopływających i odpływających ze stacji pilotowej



Rys. 3. Stężenie sulfametaksazolu w ściekach dopływających i odpływających ze stacji pilotowej



Rys. 4. Stężenie karbamazepiny w ściekach dopływających i odpływających ze stacji pilotowej

Tabela 1. Redukcja zawartości farmaceutyków w ściekach przy różnych dawkach ozonu, [%]

Farmaceutyk	Parametr	Dawka ozonu [gO <sub>3</sub> ·m <sup>-3</sup> ]		
		6,0	6,4	7,2
Diklofenak	średnia	89,3	94,9	96,4
	minimum	20,9	69,8	64,2
	maksimum	99,8	99,9	99,7
	odchylenie stand.	16,2	8,9	7,9
Sulfametaksazol	średnia	68,2	81,2	92,6
	minimum	5,8	56,2	81,9
	maksimum	97,5	98,1	98,8
	odchylenie stand.	26,8	12,2	4,2
Karbamazepina	średnia	88,7	92,5	96,3
	minimum	6,6	78,2	72,9
	maksimum	99,9	99,9	99,8
	odchylenie stand.	18,2	9,6	7,9

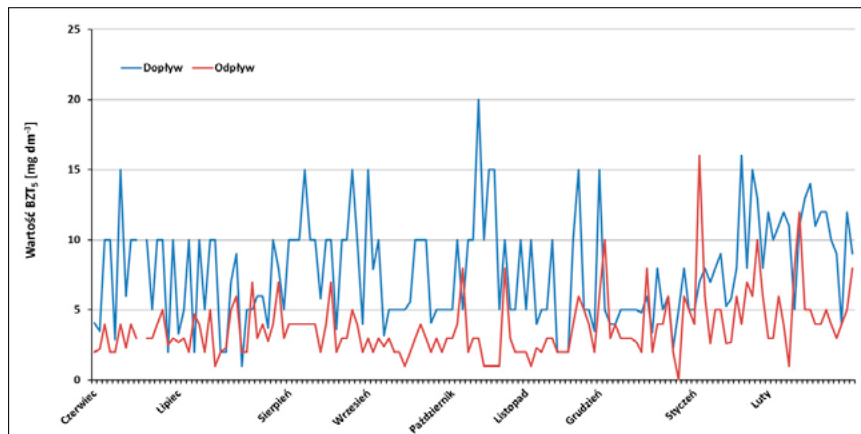
wartości dopuszczalnej BZT<sub>5</sub> określonych w obowiązującym rozporządzeniu [14]. W styczniu i lutym 2021 roku w ściekach wprowadzanych na instalację obserwowano wzrost stężenia biodegradowalnej materii organicznej do 12-14 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>. W tym samym okresie wzrosła również wartość wskaźnika ChZT z 36-60 do 66-78 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>. Wzrost obu parametrów świadczy o jakościowej zmianie ścieków wpływających na oczyszczalnię lub o zmianie efektywności pracy samej oczyszczalni w okresie niższej temperatury. Wyniki badań obejmujące wartości wskaźników tlenowych ścieków BZT<sub>5</sub> i ChZT na dopływie i odpływie z modelu badawczego, przedstawiono na rysunkach 5 i 6.

Przedstawione na rysunkach 5 i 6 wartości analizowanych wskaźników wskazują na ich zróżnicowaną redukcję, przy praktycznie niewidocznym wpływie dawki ozonu. Podstawowe parametry statystyczne wraz z procentową redukcją zestawiono w tabeli 2. Wynika z niej, że odnotowano średnie obniżenie BZT<sub>5</sub> z 7,77 do 3,74 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>, a zatem średnia redukcja BZT<sub>5</sub> wyniosła 42,03%. W przypadku ChZT średnia redukcja była znacznie niższa i wyniosła 19,71% (z 47,75 do 37,27 mgO<sub>2</sub>·dm<sup>-3</sup>).

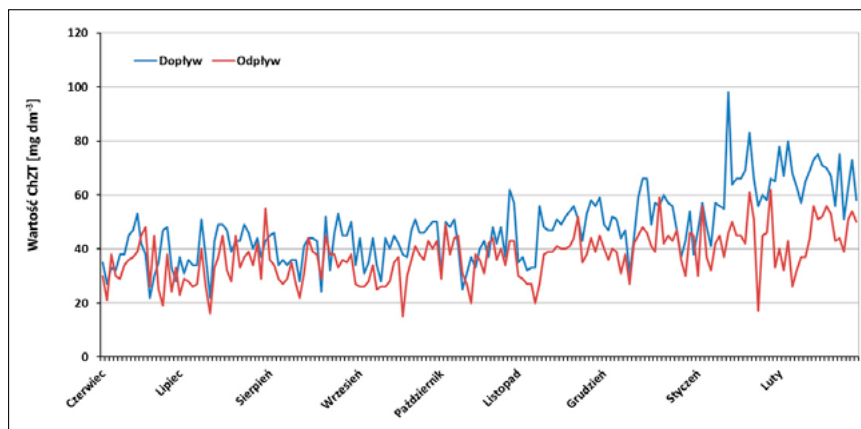
### Zużycie energii elektrycznej

Zagadnienie zużycia energii przy oczyszczaniu ścieków jest bardzo ważne i było przedmiotem rozważań od początków prowadzenia oczyszczania ścieków w warunkach sztucznych. Tematyka ta jest przedmiotem wielu opracowań i publikacji. W pracach tych autorzy analizują pobór energii w różnych aspektach. Najbardziej popularnym jest odnoszenie poboru energii do 1 m<sup>3</sup> oczyszczanych ścieków [15,16,17]. Innym sposobem jest ustalenie zużycia energii na poszczególne procesy tworzące ciąg technologiczny oczyszczalni, łącznie z procesami przeróbki osadów [18]. Jeszcze inną metodą jest odnoszenie poboru energii do efektywnego usunięcia ładunku zanieczyszczeń, np. wynikającego ze wskaźnika BZT<sub>5</sub> czy ChZT [15,18].

Zużycie energii w komunalnych oczyszczalniach ścieków, przy analizie kosztów ich eksploatacji, stanowi najwyższy ich składnik. Wykonywane audyty energetyczne i wyznaczanie energochłonności procesów jednostkowych ma na celu podejmowanie działań w celu zmniejszenia energochłonności, jednak nie może to mieć wpływu na jakość ścieków oczyszczonych. Winno natomiast odbywać się poprzez optymalizację pracy poszczegól-



Rys. 5. Wartości BZT<sub>5</sub> ścieków dopływających i odpływających ze stacji pilotowej



Rys. 6. Wartości ChZT ścieków dopływających i odpływających ze stacji pilotowej

Tabela 2. Redukcja BZT<sub>5</sub> i ChZT w pilotowej stacji badawczej

Wskaźnik, liczba prób	Parametr	Wartość wskaźnika [mgO <sub>2</sub> ·dm <sup>-3</sup> ]		Redukcja [%]
		Dopływ	Odpływ	
BZT <sub>5</sub> 145	Średnia	7,77	3,74	42,03
	Min	1	0	-135
	Maks.	20	16	100
	Odch. stand.	3,71	2,21	40,02
ChZT 177	Średnia	47,75	37,27	19,71
	Min	22	15	-50
	Maks.	98	62	69,64
	Odch. stand.	12,98	9,04	17,19

nych urządzeń i prowadzić do możliwie najwyższego pokrycia potrzeb energetycznych oczyszczalni poprzez własną produkcję energii [19, 20].

Wprowadzanie nowych technologii jest jednym z kluczowych czynników poprawy efektywności oczyszczania ścieków, jednak ich wprowadzanie niesie dodatkowe koszty. Proces stosowania ozonu w różnych technologiach był przez wiele lat uważany za relatywnie drogi, stąd stosowano go głównie w zakładach wodociągowych o dużej produkcji wody. Produkowane obecnie urządzenia do ozonowania są tańsze i mniej energochłonne, a zatem koszty stosowania tego procesu są niższe. Dlatego na przestrzeni ostatnich 30 lat nastąpiło szerokie upowszechnienie

stosowania ozonu w technologii uzdatniania wody, a obecnie ozon zaczęto stosować również do usuwania farmaceutyków w oczyszczalniach ścieków. Interesująca może być odpowiedź na pytanie dotyczące zużycia energii elektrycznej wykorzystywanej w tym procesie. Odpowiedź na to pytanie pozwala ocenić możliwości wdrożenia tej technologii na oczyszczalni ścieków w skali rzeczywistej. Koszt oczyszczania ścieków winien być akceptowalny społecznie, a taryfa opłat za odprowadzane ścieki jest zatwierdzana przez określony organ.

W tabeli 3 przedstawiono zużycie energii elektrycznej do ozonowania ścieków w stacji pilotowej przy dawce ozonu 6 gO<sub>3</sub>·m<sup>-3</sup>, w nawiązaniu do objętości

ścieków i w przeliczeniu na jeden m<sup>3</sup>, które średnio wyniosło 0,96 kWh·m<sup>-3</sup>. Zużycie energii w stacji pilotowej obejmuje pracę urządzeń bezpośrednio związanych z ozonowaniem, a także pomocniczych, tzn. lampy UV (0,5 kW) i wytwornic tlenu (2 x 0,5 kW). W praktyce stosowanie lampy UV do dezynfekcji ścieków nie jest obowiązkiem, stąd tylko znikoma liczba zakładów ją stosuje. Z kolei w przypadku wytwornicy tlenu praktyka pokazuje, że obecnie zakłady częściej kupują tlen niż go produkują z powietrza, co jest rozwiązaniem tańszym i mniej kłopotliwym w eksploatacji.

Uzyskane wyniki wskazują, że wprowadzenie procesu usuwania farmaceutyków ze ścieków oczyszczonych poprzez ich ozonowanie będzie powodować podwyższenie zużycia energii. Jednak wprowadzany proces, który w wysokim stopniu usuwa farmaceutyki, jest technologią bezodpadową i nie powoduje toksyczności oczyszczonych ścieków, a także poprawia inne wskaźniki ścieków oczyszczonych, w tym BZT<sub>5</sub> i ChZT. Należy jeszcze dodać, że jednostkowe zużycie energii uzależnione jest także od skali obiektu. Prowadzone badania dotyczyły małego obiektu o obciążeniu hydraulicznym około 120 m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>, a zatem w przypadku stosowania tej technologii na skalę techniczną w obiektach większych, jednostkowe zużycie energii będzie znacznie niższe.

## Podsumowanie

Przedstawiona analiza sprawności technologicznej usuwania wybranych farmaceutyków ze ścieków oczyszczonych i uzyskane efekty na poziomie od 80 do ponad 90%, redukcja wielkości wskaźników BZT<sub>5</sub> i ChZT o 42 i 20% oraz ustalone zużycie energii elektrycznej na poziomie 0,96 kWh·m<sup>-3</sup> w obiekcie o skali pilotowej, pozwalają na rekomendowanie do stosowania w praktyce tej innowacyjnej technologii do usuwania farmaceutyków ze ścieków. Korzyści obejmujące uzyskanie poprawy jakości ścieków oczyszczonych wprowadzanych do środowiska bez konieczności dozowania do nich środków chemicznych, należy rozpatrywać w aspekcie doskonalenia sprawności technologicznej oczyszczalni. Należy również zwrócić uwagę na fakt, że jest to technologia bezodpadowa, co w porównaniu z innymi metodami usuwania farmaceutyków o podobnym zużyciu

**Tabela 3. Zużycie energii elektrycznej w stacji pilotowej przy usuwaniu farmaceutyków ze ścieków oczyszczonych**

Okres	Liczba dni	Średnia objętość ścieków		Zużycie energii elektrycznej	
		m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup>	kWh	kWh·d <sup>-1</sup>	kWh·m <sup>-3</sup>
03.08.2020 – 26.02.2021 (dawka 6,0 gO <sub>3</sub> ·m <sup>-3</sup> )	151	109,07	15 775	104,47	0,96

energii (np. techniki membranowe 0,5-1,0 kWh·m<sup>-3</sup>) sprawia, że jest to technologia znacznie korzystniejsza.

## Podziękowanie

Autorzy pragną podziękować następującym osobom, dzięki którym możliwa była realizacja badań:

- Prezes Zarządu NFOŚiGW - Maciej Chorowski,
- Doradca NFOŚiGW Dominik Pióro,
- Prezes Zarządu Wodociągi Jaworzno Sp. z o.o. Józef Natonek,
- Technolog ścieków, koordynator projektu Joanna Stepa,
- Laboratorium Wodociągów Jaworzno Sp. z o.o. kierownik Włodzimierz Hulbój,
- JRP Wodociągi Jaworzno Sp. z o.o. kierownik Julian Stumpf.

## LITERATURA:

- [1] Mao D., Yu S., Rysz M., Luo Y., Yang F., Li F., Prevalence and proliferation of antibiotic resistance genes in two municipal wastewater treatment plants. *Water Res.* 85, 458–466. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.09.010>.
- [2] Antoniou M.G., Hey G., Vuga S.R., Spiliotopoulou A., Fick J., Tyskind M., la Cour Jansen J., Andersen H.R., Required ozone doses for removing pharmaceuticals from wastewater effluents. *Science of the Total Environment*, 2013, 456–457, 42–49.
- [3] Huber M.M., Göbel A., Joss A., Hermann N., Löffler D., McArdell Ch.S., Ried A., Siegrist H.R., Ternes Th.A., von Gunten U., Oxidation of pharmaceuticals during ozonation of municipal wastewater effluents: A pilot study. *Environmental Science & Technology*, 2005, 39, 4290–4299.
- [4] Kharel S., Stapf M., Miehe U., Ekblad M., Cimbritz M., Falás P., Nilsson J., Sehlén R., Bester K., Ozone dose dependent formation and removal of ozonation products of pharmaceuticals in pilot and full-scale municipal wastewater treatment plants. *Science of the Total Environment*, 2020, Article 139064.
- [5] Kotowska U., Kapelewska J., Sturgulewska J., Determination of phenols and pharmaceuticals in municipal wastewaters from Polish treatment plants by ultrasound-assisted emulsification-microextraction followed by GC-MS. *Environ. Sci. Pollut.*, 2014, Res. 21: 660–673. DOI 10.1007/s11356-013-1904-6.
- [6] Pazda M., Rybicka M., Stolte S., Bielawski K.P., Stepnowski P., Kumirska J., Wolecki D., Mulkiwicz E., Identification of selected antibiotic resistance genes in two different wastewater treatment plant systems in Poland: A pre-

liminary study. *Molecules* 25, 2020, 2851; doi:10.3390/molecules25122851.

- [7] Lagesson A., Fahlman J., Brodin T., Fick J., Jonsson M., Byström P., Bioaccumulation of five pharmaceuticals at multiple trophic levels in an aquatic food web insights from a field experiment. *Sci. Total Environ*, 2016, 568, 208–215. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.206>.
- [8] Boroń M., Pawlas K.: Farmaceutyki w środowisku wodnym. „Problemy Higieny i Epidemiologii” 96(2)/2015, s. 357-363.
- [9] Wontorska K., Wąsowski J.: Problematyka usuwania farmaceutyków w procesach oczyszczania ścieków. „Gaz Woda i Technika Sanitarna” 1/2018, s. 30-36.
- [10] Zhang S., Gitungo S., Axe L., Dyksen J.E., Raczko R.F., A pilot plant study using conventional and advanced water treatment processes: Evaluating removal efficiency of indicator compounds representative of pharmaceuticals and personal care products. *Water Research*, 2016, 105, 85-96.
- [11] Zhang Y., Geißén S.U., Gal C., Carbamazepine and diclofenac: removal in wastewater treatment plants and occurrence in water bodies. *Chemosphere* 73, 2008, 1151–1161.
- [12] Björleinius, B., Ripszám, M., Haglund, P., Lindberg, R.H., Tyskind, M., Fick J., Pharmaceutical residues are widespread in Baltic Sea coastal and offshore waters: Screening for pharmaceuticals and modelling of environmental concentrations of Carbamazepine, *Science of the Total Environment*, 2018, 633: 1496-1509 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.276>.
- [13] Rynek farmaceutyczny w 2020 roku. IQVIA. Warszawa 2021.
- [14] Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 12 lipca 2019 r. Dz.U. 2019 poz. 1311.
- [15] Mastoń A., Energochłonność wybranych oczyszczalni ścieków zlokalizowanych w południowo-wschodniej Polsce, *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2017, 20(3), 331-342.
- [16] Panepinto D, Fiore S, Zappone M, Genon G, Meucci L. Evaluation of the energy efficiency of a large wastewater treatment plant in Italy. *Appl Energy* 2016;161:404-11.
- [17] Ciepliński J., Analiza wybranych czynników determinujących energochłonność średnich, sekwencyjnych oczyszczalni ścieków, praca dr. PK, 2020, Wydział IŚiE.
- [18] Wróblewski J., Heidrich Z., Energochłonność miejskich oczyszczalni ścieków według amerykańskich danych literaturowych, *Forum Eksploatacja*, 2019, 2 (101), 26-29.
- [19] Bodik I, Kubaská M. Energy and sustainability of operation of a wastewater treatment plant. *Environ Prot Eng* 2013;39:15–24. 140.
- [20] Horne J., Zahreddine P., Doerr D., Innovative Energy Conservation Measures at Wastewater Treatment Facilities, US EPA May 17th, 2012.



**Jeszcze można zamawiać prenumeratę miesięcznika Instal na 2021 rok.**

Druk zamówienia na stronie [www.informacijainstal.com.pl](http://www.informacijainstal.com.pl)



# EKOLOGICZNA DEZYNFEKCJA

NATURALNIE

BEZ  
CHLORU



# OWWO\*

**Najtańszy i najsilniejszy środek do dezynfekcji istniejących oraz nowo budowanych sieci wodociągowych.**



\* roztwór odgazowanej wody wysoko ozonowanej produkowany wyłącznie z wody i energii elektrycznej

**WOFIL**  
OZONE TECHNOLOGY

[www.wofil.pl](http://www.wofil.pl)

# Metody matrycowe wykorzystywane w analizie ryzyka ujęć wody

Matrix methods used in the risk analysis of water intakes

DAWID SZPAK, KRZYSZTOF BORYCZKO, JAKUB ŻYWIEC, JANUSZ RAK

DOI 10.36119/15.2021.7-8.6

Ocena ryzyka ujęć wody od 2017 roku jest podstawą decyzji o utworzeniu strefy pośredniej ochrony ujęć wody. W pracy dokonano przeglądu matryc ryzyka wykorzystywanych w analizie i ocenie ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę (SZW). Ponadto przedstawiono ocenę ryzyka dla czterech ujęć wód powierzchniowych, typu brzegowego, zlokalizowanych w południowo-wschodniej Polsce. Na podstawie wyników oceny ryzyka zidentyfikowano potrzebę ustanowienia nowych lub dostosowania istniejących stref ochronnych dla analizowanych ujęć wód.  
*Słowa kluczowe: analiza ryzyka, ujęcie wody, strefa ochrony ujęcia wody*

From 2017 risk assessment for water intakes is the basis for the decision to establish the indirect water protection zone. The work contains a review of the risk matrix methods, which are used in the risk analysis and assessment in the water supply system (WSS). Risk assessment was carried out for four surface water intakes, onshore type located in south-eastern Poland. Based on the results of the risk assessment, the need to establish new or adjust existing protection zones for analyzed water intakes was identified.

*Keywords: risk analysis, water intake, water intake protection zone*

## Wprowadzenie

Dostęp do bezpiecznej wody do spożycia jest niezbędny dla zdrowia, jest podstawowym prawem człowieka i elementem skutecznej polityki ochrony zdrowia. System zaopatrzenia w wodę (SZW) jest elementem infrastruktury krytycznej [6]. Infrastruktura krytyczna oznacza systemy i obiekty funkcjonalnie połączone, wchodzące w skład tych systemów, w tym obiekty budowlane, jednostki administracji publicznej, instalacje, usługi kluczowe dla bezpieczeństwa państwa i obywateli, które zapewniają sprawne funkcjonowanie organów administracji państwowej oraz instytucji i przedsiębiorców [11]. Głównym zadaniem SZW jest zaopatrzenie odbiorców w wodę do spożycia o wymaganej jakości, odpowiedniej ilości i ciśnieniu odpowiadającym aktualnym normom. Ze względu na duży zasięg przestrzenny, obejmujący cały obszar zasilania wodociągów, różnorodność stosowanych materiałów i ich wiek, SZW do prawidłowego funkcjonowania wymaga fachowej obsługi [8, 9, 14, 17, 20].

Sieć wodociągowa jest rozbudowaną instalacją techniczną, a jej niezawodne działanie uzależnione jest od wielu czynni-

ków wewnętrznych (konstrukcja, materiał, warunki przepływu), jak i zewnętrznych (np. warunki gruntowo-klimatyczne, działalność człowieka). Konsekwencją wynikającą z oddziaływania tych czynników są zdarzenia awaryjne, powodujące zawodność całości lub części SZW, co w konsekwencji może prowadzić do utraty bezpieczeństwa odbiorców wody, co należy rozpatrywać w dwóch aspektach [5]:

- zagrożenia wynikające z braku wody lub przerwy w dostawie wody,
- zagrożenia wynikające z możliwości spożycia skażonej wody (co może spowodować utratę zdrowia konsumentów).

Źródłem zaopatrzenia mieszkańców w wodę do spożycia są ujęcia wód podziemnych i powierzchniowych. Wody przeznaczone do spożycia przez ludzi powinny spełniać określone wymagania. Osiąga się to poprzez wykorzystanie: dobrej jakości wód gruntowych, które nie wymagają lub wymagają niewielkiego uzdatniania; wody powierzchniowej wymagającej zastosowania, w zależności od kategorii jakości, odpowiedniego procesu uzdatniania. Jakość pobieranej wody zależy głównie od [23]:

- w przypadku ujęć wód podziemnych – ilość i rodzaj zanieczyszczeń wprowadzanych do gruntu lub migrujących z powierzchni ziemi do warstwy wodonośnej zasilającej ujęcie,
- w przypadku ujęć wód powierzchniowych – ilość i rodzaj zanieczyszczeń wprowadzanych do tych wód powyżej ujęcia.

Kluczowym zadaniem władz publicznych w zapewnieniu odpowiedniej jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi jest utrzymanie jakości pobieranych wód, a tam gdzie to konieczne, poprawa jakości wody. Realizuje się to m.in. poprzez określanie w ramach pozwoleń wodnoprawnych na pobór wód warunków poboru tych wód oraz ustanawianie stref ochronnych ujęć wód. Z uwagi na fakt, że skażenie wód podziemnych przeznaczonych do spożycia przez ludzi może pojawić się po wielu latach, od prawidłowego ustanowienia stref ochronnych ujęć i przestrzegania warunków związanych z ich utworzeniem oraz wydanych pozwoleń wodnoprawnych, zależy od tego, czy ochrona ujęcia wody jest skuteczna.

W Polsce znowelizowano Prawo wodne [22], które określa zasady tworzenia stref

dr inż. Dawid Szpak, <https://orcid.org/0000-0001-9654-2477>, dr inż. Krzysztof Boryczko, prof. PRz, <https://orcid.org/0000-0001-6690-3577>, mgr inż. Jakub Żywiec, <https://orcid.org/0000-0002-0823-4229>, prof. dr hab. inż. Janusz Rak, <https://orcid.org/0000-0001-7713-5841> – Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków, Rzeszów, e-mail: rakjan@prz.edu.pl, kb@prz.edu.pl, dsz@prz.edu.pl

ochronnych ujęć wody. Strefa ochronna to obszar, na którym obowiązują nakazy, zakazy i ograniczenia w korzystaniu z gruntu i wody. Strefa ochronna obejmuje: tylko obszar ochrony bezpośredniej lub obszar ochrony bezpośredniej oraz obszar ochrony pośredniej. Dla każdego ujęcia wody ustanawia się strefę ochronną obejmującą jedynie obszar ochrony bezpośredniej. W obszarze ochrony bezpośredniej konieczne jest [22]:

- odprowadzanie wód opadowych lub roztopowych w sposób uniemożliwiający ich dotarcie do urządzeń służących do poboru wody,
- zagospodarowanie terenu zielenią,
- odprowadzanie ścieków z urządzeń sanitarnych poza granicę obszaru ochrony bezpośredniej przeznaczonych do użytku przez osoby zatrudnione przy eksploatacji urządzeń poboru wody,
- ograniczenie obecności osób niezatrudnionych przy obsłudze urządzeń poboru wody tylko do niezbędnych potrzeb.

W obszarze ochrony pośredniej można zabronić lub ograniczyć wykonywanie prac lub czynności obniżających użyteczność ujęcia wody lub wydajność ujęcia, np.: odprowadzanie ścieków do wód lub do gruntu; rolnicze wykorzystanie ścieków; przechowywanie lub unieszkodliwianie odpadów radioaktywnych; stosowanie nawozów i środków ochrony roślin; budowa nowych dróg, linii kolejowych, lotnisk czy lądowisk; budowa urządzeń melioracyjnych i wykopów ziemnych; lokalizacji zakładów przemysłowych i hodowli zwierząt; lokalizacji magazynów produktów naftowych i innych substancji oraz rurociągów do ich transportu.

Strefa ochronna, obejmująca obszar ochrony bezpośredniej i obszar ochrony pośredniej, ustalana jest na podstawie analizy ryzyka, w tym oceny zagrożenia zdrowia, z uwzględnieniem czynników negatywnie wpływających na jakość ujmowanych wód, na podstawie analiz hydrogeologicznych lub hydrologicznych oraz dokumentacji hydrogeologicznej lub hydrologicznej, analizy rozpoznania źródeł zagrożeń wynikających ze sposobu zagospodarowania terenu, a także wyników badań jakości pobieranych wód [22].

Analizę ryzyka przeprowadza się dla: ujęć dostarczających więcej niż 10 m<sup>3</sup> wody dziennie lub obsługujących więcej niż 50 osób; indywidualne ujęcia dostarczające do 10 m<sup>3</sup> wody na dobę lub obsługujące wodę do 50 osób, jeżeli woda dostarczana jest jako woda przeznaczona do spożycia przez ludzi, w ramach obiektów handlowych, usługowych, przemysłowych lub użyteczności publicznej. Analiza ryzyka jest

aktualizowana nie rzadziej niż co 10 lat, w przypadku ujęć dostarczających mniej niż 1000 m<sup>3</sup> wody rocznie – nie rzadziej niż co 20 lat. Strefa ochronna jest ustanawiana na koszt właściciela ujęcia wody. Analizy ryzyka w systemach wodociągowych są powszechnie znane [16, 18, 21], jednak wprowadzone Prawo wodne [22] po raz pierwszy wymieniło wykonanie analizy ryzyka jako obowiązkowe opracowanie. Celem pracy jest przedstawienie przeglądu matryc ryzyka, które mogą być wykorzystywane w analizie ryzyka ujęć wody oraz przedstawienie wyników analizy ryzyka dla czterech ujęć wód powierzchniowych, typu brzegowego zlokalizowanych w południowo-wschodniej Polsce.

### Przegląd istniejącego stanu wiedzy w zakresie wykorzystania metod matrycowych pod kątem potencjalnego zastosowania w analizie ryzyka w SZW

#### Metody matrycowe w analizie ryzyka systemów komunalnych

Ustawa Prawo wodne [22] nie precyzuje w oparciu o jaką metodę należy wykonać analizę ryzyka ujęcia wody. Pojęcie ryzyka w systemach technicznych zostało wprowadzone przez zespół S. Kaplan i B. J. Garrick w 1981 roku. W pracy [3] zdefiniowali oni ryzyko jako zbiór trzech parametrów:

$$r = \{s_i, p_i, x_i\} \quad (1)$$

gdzie:

- $s_i$  – scenariusz zdarzenia niepożądanego,
- $p_i$  – prawdopodobieństwo zajścia danego scenariusza awaryjnego,
- $x_i$  – konsekwencje zajścia danego scenariusza awaryjnego.

W inżynierii środowiska (podobnie jak w większości zastosowań inżynierskich) obowiązuje podstawowa definicja ryzyka, która przedstawia ryzyko jako iloczyn prawdopodobieństwa zajścia zdarzeń niepożądanych i strat powstałych w wyniku ich zajścia. Mimo że ryzyko jest przedmiotem analiz i ocen już od bardzo dawna, to pojęcie ryzyka nie zostało jeszcze jednoznacznie zdefiniowane, a ryzyko ocenia się na wiele sposobów.

Pojęcie ryzyka w inżynierii środowiska w Polsce wprowadził E. Kempa [4]. Jako jedni z pierwszych badania na temat ryzyka w SZW prowadzili T. Lubowiecka oraz A. Wiczysty [7]. Najbardziej zaawansowane prace dotyczące wykorzystania metod matrycowych w analizie ryzyka systemów komunalnych były prowadzone w Katedrze Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków Politechniki Rzeszowskiej pod kie-

runkiem Profesora Janusza Raka. Prace te doprowadziły do opracowania wieloparametrycznych metod oceny ryzyka szczegółowo opisanych w licznych publikacjach oraz monografiach [13, 19]. Zaprezentowane matryce ryzyka są modyfikowane w zależności od specyfiki SZW oraz celu analizy ryzyka. Przykładowo, dla analizy ryzyka awarii sieci wodociągowej wprowadza się parametry charakteryzujące rodzaj sieci i intensywność uszkodzeń.

#### Dwuparametryczna matryca ryzyka

Dwuparametryczna matryca ryzyka przedstawia zależność prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia od jego następstw (skutków) według podstawowego wzoru [12, 15]:

$$r_{ij} = P_i \cdot C_j \quad (2)$$

gdzie:

- $P_i$  – prawdopodobieństwo zajścia zdarzeń niepożądanych,  $i = 1, 2, \dots, n$ ,
- $n$  – liczba skali przyjętej dla parametru prawdopodobieństwa,
- $C_j$  – konsekwencje, straty względne związane z danym prawdopodobieństwem,  $j = 1, 2, \dots, m$ ,
- $m$  – liczba skali przyjętej dla parametru strat.

Zbiór możliwych wartości ryzyka  $R = \{r_{ij}\}$  można przedstawić w macierzy  $m \times n$  postaci:

$$M_R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{pmatrix}$$

gdzie:

- $R$  – zbiór wartości ryzyka,
- $M$  – oznaczenie macierzy,
- $r_{ij}$  – wartość ryzyka dla  $i$ -tej wartości prawdopodobieństwa i  $j$ -tej wartości strat.

W ilościowych metodach matrycowych dla wszystkich parametrów ryzyka przypisuje się odpowiednie wagi punktowe (w przyjętej skali). Przykładowo, dla najprostszej skali trójstopniowej wartościowanie poszczególnych parametrów przedstawia się w sposób następujący:

- dla parametru prawdopodobieństwa:
  - małe – waga 1,
  - średnie – waga 2,
  - duże – waga 3,
- dla parametru strat:
  - małe – waga 1,
  - średnie – waga 2,
  - duże – waga 3.

#### Trójparametryczna matryca ryzyka

W trójparametrycznej macierzy ryzyka parametrami są: częstotliwość wystąpienia

Tabela 1. Trójparametryczna macryca ryzyka  
Table 1. Three-parametric risk matrix

V	P = 1				
	C				
	1	2	3	4	5
1	1	2	3	4	5
2	2	4	6	8	10
3	3	6	9	12	15
4	4	8	12	16	20
5	5	10	15	20	25

V	P = 2				
	C				
	1	2	3	4	5
1	2	4	6	8	10
2	4	8	12	16	20
3	6	12	18	24	30
4	8	16	24	32	40
5	10	20	30	40	50

V	P = 3				
	C				
	1	2	3	4	5
1	3	6	9	12	15
2	6	12	18	24	30
3	9	18	27	36	45
4	12	24	36	48	60
5	15	30	45	60	75

V	P = 4				
	C				
	1	2	3	4	5
1	4	8	12	16	20
2	8	16	24	32	40
3	12	24	36	48	60
4	16	32	48	64	80
5	20	40	60	80	100

V	P = 5				
	C				
	1	2	3	4	5
1	5	10	15	20	25
2	10	20	30	40	50
3	15	30	45	60	75
4	20	40	60	80	100
5	25	50	75	100	125

zagrożenia, skutki zagrożeń i podatność na zagrożenia. Przykładową trójparametryczną macrycę ryzyka przedstawiono w tabeli 1. Obowiązuje formuła [12, 15]:

$$r = P \cdot C \cdot V \quad (3)$$

gdzie:

- P – waga punktowa związana z prawdopodobieństwem wystąpienia danego reprezentatywnego zdarzenia niepożądanego,
- C – waga punktowa związana z wielkością strat,
- V – waga punktowa związana z podatnością (ang. vulnerability) SZW na zagrożenia.

W ujęciu „security” ryzyko można oszacować w oparciu o zależność [12]:

$$r = \frac{P \cdot C}{O} \quad (4)$$

gdzie:

- O – waga punktowa związana z ochroną (ang. security) SZW przed zagrożeniami.

Barьеры ochronne stanowią zbiorniki wody czystej, system monitoringu itp. Im bardziej rozbudowany system barьер ochronnych, tym mniejsze jest ryzyko wystąpienia zagrożenia w SZW.

Dla potrzeb analizy zagrożenia ludności i mienia związanego z awariami SZW można wykorzystać formułę [10]:

$$r = P \cdot C \cdot F \quad (5)$$

gdzie:

- F – waga punktowa związana z wielkością strat ludzkich.

### Czteroparametryczna macryca ryzyka

Czteroparametryczna macryca szacowania ryzyka jest wyznaczana na podstawie zależności [13]:

$$r = \frac{P \cdot C \cdot N}{O} \quad (6)$$

gdzie:

- N – waga punktowa związana z zagrożoną liczbą mieszkańców.

Dla potrzeb analizy ryzyka w sieci wodociągowej można wykorzystać zależność:

$$r = \frac{S \cdot I \cdot U}{O} \quad (7)$$

gdzie:

- S – waga punktowa związana z rodzajem sieci wodociągowej (sieć magistralna, rozdzielcza, podłączenie domowe),
- I – waga punktowa związana z intensywnością uszkodzeń,
- U – waga punktowa związana z uciążliwością naprawy uszkodzeń.

### Pięcioparametryczna macryca ryzyka

Kombinacją macierzy trójparametrycznej i czteroparametrycznej jest macryca pięcioparametryczna, która ma zastosowanie w przypadku bardzo rozbudowanych SZW w dużych aglomeracjach miejskich. Ryzyko wyznacza się według formuły [13]:

$$r = \frac{P \cdot C \cdot N \cdot E}{O} \quad (8)$$

gdzie:

- E – waga punktowa związana z ekspozycją na zagrożenie.

### Asymetryczna dwuparametryczna macryca ryzyka

Analiza ryzyka w oparciu o klasyczną definicję wg wzoru (2) skutkuje tym, że w macrycy ryzyko przyjmuje taką samą wartość dla małych wartości P i dużych war-

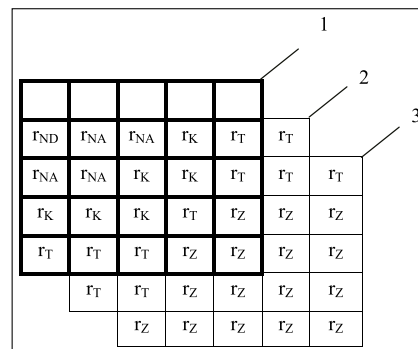
tości C oraz dla dużych wartości P i małych wartości C. W celu wyeliminowania tych ograniczeń, zaproponowano wykorzystanie współczynnika rangi skutków lub konsekwencji zdarzenia niepożądanego (w). Zakładając, że straty posiadają większy wpływ na wielkość ryzyka, zaproponowano następującą definicję ryzyka [12]:

$$r = P \cdot C^w \quad (9)$$

Współczynnik w zależy od liczby zagrożonych osób i wysokości strat, większe wartości wyrażają bardziej dotkliwe straty. Możliwe wartości współczynnika w = {1,0; 1,1; 1,3; 1,6; 2,0}.

### Wielowarstwowa macryca ryzyka

Opracowywanie wielowarstwowej macrycy ryzyka rozpoczyna się od ustalenia skali dla wielkości prawdopodobieństwa (częstości) i strat. Zaproponowano wykorzystanie pięciostopniowej skali dla obu wielkości związanych z ryzykiem. Głównym założeniem metody jest możliwość zmniejszenia negatywnych skutków zdarzenia pod wpływem zadziałania bariery ochronnej. Ideę trójwarstwowej macrycy ryzyka pokazano na rysunku 1 [1].



Rys. 1. Trójwarstwowa macryca ryzyka gdzie: 1 – efekt bariery zapobiegania; 2 – efekt bariery ochrony; 3 – efekt bariery przeciwdziałania  
Fig. 1. Three-tier risk matrix

### Przykład oceny ryzyka dla wybranych ujęć wody

Analizę ryzyka przeprowadzono dla 4 ujęć wody zlokalizowanych w regionie Polski południowo-wschodniej w województwie podkarpackim. Są to ujęcia wód powierzchniowych, typu brzegowego, trzy z nich ujmują wodę rzeczną, a jedno ujmuje wodę ze zbiornika zaporowego.

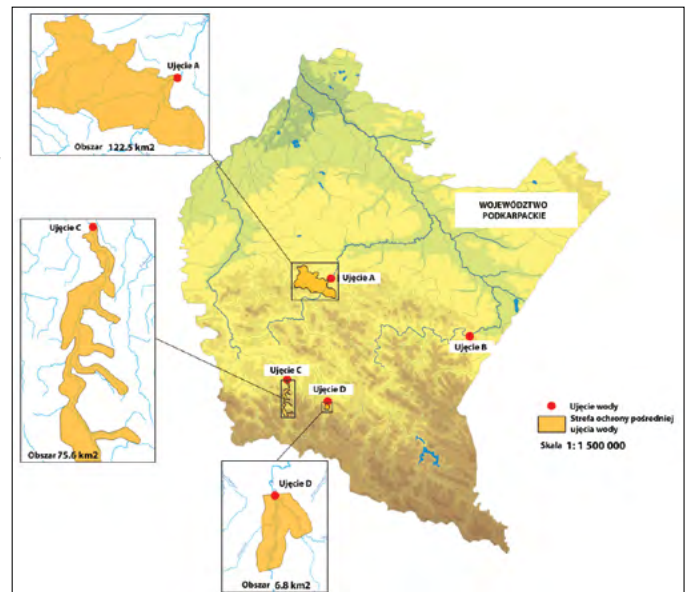
Zgodnie z ustawą Prawo wodne [22], która reguluje sprawę ochrony ujęć wody w Polsce, strefę ochronną obejmującą teren ochrony bezpośredniej i teren ochrony pośredniej ustanawia się na podstawie analizy ryzyka obejmującej ocenę zagrożeń zdrowotnych z uwzględnieniem czynników

negatywnie wpływających na jakość ujmowanej wody, przeprowadzoną w oparciu o analizy hydrogeologiczne lub hydrologiczne oraz dokumentację hydrogeologiczną lub hydrologiczną, analizę identyfikacji źródeł zagrożenia wynikających ze sposobu zagospodarowania terenu, a także o wyniki badania jakości ujmowanej wody. Podejście to jest zbliżone z wymaganiami Drinking Water Directive 2020/2184 [2] oraz wymaganiami WHO w zakresie oceny ryzyka w obszarach zasilania dla punktów poboru wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.

Analiza ryzyka została wykonana przez pracowników Katedry Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków Politechniki Rzeszowskiej dla czterech ujęć wody zaopatrujących wybrane miasta położone w południowo-wschodniej Polsce. Po przeprowadzeniu szczegółowej identyfikacji zagrożeń dla jakości wody rzeki oraz analizy wyników badań jakości ujmowanej wody zidentyfikowano istniejące środki bezpieczeństwa zabezpieczające konsumentów przed spożyciem wody o nieodpowiedniej jakości. Przeprowadzono także walidację istniejących środków bezpieczeństwa, której celem było potwierdzenie działania tych środków w warunkach normalnych i kryzysowych. Skuteczność środków bezpieczeństwa wpływa na obniżenie wartości ryzyka. Wskazano także środki brakujące, czyli takie które powinny funkcjonować w systemie, a dotychczas nie zostały wdrożone.

W tabeli 2 przedstawiono same wyniki przeprowadzonej analizy ryzyka ze względu na ograniczone ramy czasopisma.

Rys. 2. Zasięg projektowanej strefy ochrony pośredniej ujęcia A, C oraz D  
Fig. 2. The scope of the designed indirect protection zone for Intake A, Intake C and Intake D



Otrzymane rezultaty są wynikiem opracowań wykonanych na zlecenie przedsiębiorstw wodociągowych zarządzających ujęciami A, B, C oraz D. Każde zdarzenie jest opisane za pomocą trzech parametrów: „prawdopodobieństwo”, „skutek” oraz „ochrona” i w oparciu o te parametry została wyznaczona wartość ryzyka zgodnie z zależnościami (4).

Efektem przeprowadzonej analizy ryzyka jest przedstawienie propozycji działań naprawczych oraz propozycji zasięgu strefy ochrony pośredniej dla poszczególnych ujęć wody. Proponowany zasięg strefy ochrony pośredniej dla ujęcia wody A, C oraz D obejmuje obszar, dla którego przeprowadzono analizę ryzyka, tj. teren powyżej ujęcia wody w obszarze

12 godzinny splotu do ujęcia wody. Przeprowadzona analiza ryzyka nie wykazała natomiast istotnych zagrożeń dla ujęcia wody, dla ujęcia B. W związku z powyższym, oraz z faktem, że cały teren objęty przedmiotowym opracowaniem obejmuje obszar szczególnie chroniony przyrodniczo oraz brakiem dużych oczyszczalni ścieków sanitarnych i zakładów przemysłowych stanowiących potencjalne zagrożenie, nie ma potrzeby ustanawiania strefy ochrony pośredniej ujęcia wody. Analizowane SZW są wyposażone w niezbędne zabezpieczenia związane z ujmowaniem wody powierzchniowej. Ocena ryzyka zagrożeń dla ujęć wody nie wykazała bardzo znaczących zagrożeń dla konsumentów wody wodociągowej.

Tabela 2. Analiza ryzyka  
Table 2. Risk analysis

Lp.	Rodzaj zdarzenia	Charakterystyka zdarzenia niepożądanego	Ryzyko				Mediana	Minimum	Maximum	Odch. stand.	Kwantyl dolny (25%)	Kwantyl górny (75%)
			Ujęcie A	Ujęcie B	Ujęcie C	Ujęcie D						
1	Wypadek drogowy lub kolejowy	Zanieczyszczenie wody rzecznej spowodowane transportem oraz wypadkiem drogowym lub kolejowym (oleje, benzyna, WWA, substancje chemiczne)	0,40	1,00	0,67	0,67	0,67	0,40	1,00	0,21	0,47	0,75
2	Oczyszczalnia ścieków komunalnych lub przemysłowych	Incydentalne zanieczyszczenie wody rzecznej spowodowane awarią oczyszczalni ścieków komunalnych lub przemysłowych (powyżej ujęcia wody), która skutkuje odprowadzeniem do rzeki nieoczyszczonych ścieków komunalnych (bakterie, wirusy, związki biogenne) lub przemysłowych (substancje szkodliwe, metale ciężkie)	1,00	0,75	5,00	0,25	0,88	0,25	5,00	1,90	0,38	2,00
3	Zakłady przemysłowe	Zanieczyszczenie wody rzecznej spowodowane przez zakłady o dużym i zwiększonym ryzyku wystąpienia poważnej awarii przemysłowej	0,25	0,50	0,20	0,20	0,23	0,20	0,50	0,12	0,20	0,31
4	Działalność rolnicza	Zanieczyszczenie wody rzecznej spowodowane nieodpowiednią działalnością rolniczą (pestycydy, substancje biogenne)	1,50	0,75	1,00	2,00	1,31	1,25	0,75	2,00	0,48	0,81
5	Inne źródła obszarowe	Zanieczyszczenie wody rzecznej spowodowane przez inne źródła obszarowe tj. dzikie wysypiska śmieci, stacje paliw, cementarze	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,00	0,25	0,25
6	Nieregulowana gospodarka ściekowa	Zanieczyszczenie wody rzecznej przez nieszczelne szamba i odprowadzanie ścieków nieoczyszczonych do gruntu lub wody (brak zbiorczego systemu odprowadzania ścieków)	2,00	1,50	2,67	2,00	2,00	1,50	2,67	0,42	1,63	2,17
7	Powódź	Zanieczyszczenie wody rzecznej spowodowane przez powódź lub gwałtowne opady deszczu (wzrost mętności oraz zanieczyszczenia biologicznego wody)	1,20	1,50	2,00	1,25	1,38	1,20	2,00	0,32	1,21	1,63
8	Działanie osób trzecich	Zanieczyszczenie wody rzecznej spowodowane przez szkodliwe działanie osób trzecich (akt wandalizmu, sabotaż)	0,80	1,20	1,33	1,33	1,17	1,27	0,80	1,33	0,22	0,90
9	Sezonowe zmiany jakości wody – lato	Zmiany sezonowe jakości wody w okresie letnim (wzrost stężenia substancji biogennych powodujących eutrofizację rzeki)	4,00	3,00	4,00	4,00	4,00	3,00	4,00	0,43	3,25	4,00
10	Sezonowe zmiany jakości wody – zima	Zmiany sezonowe jakości wody w okresie zimowym (odtlenienie wody, wzrost NH <sub>4</sub> )	4,00	2,25	3,00	3,00	3,00	2,25	4,00	0,62	2,44	3,25

Ocena ryzyka jest procesem ciągłym, dlatego na podstawie przeprowadzonej analizy przedstawiono propozycję działań korygujących lub naprawczych, jakie przedsiębiorstwa wodociągowe powinny podjąć w celu stałej kontroli i redukcji ryzyka. Działania korygujące zostały przedstawione dla źródeł zagrożeń mających najistotniejszy wpływ na poziomy ryzyka generowanych zagrożeń dla ujęć A-D:

- opracowanie procedur postępowania w przypadku wystąpienia zanieczyszczenia, którego konwencjonalny proces uzdatniania nie będzie w stanie usunąć,
- pozyskiwanie środków finansowych przez jednostki samorządu terytorialnego na budowę sieci kanalizacji sanitarnej w miejscowościach położonych na terenie zlewni rzek, z których ujmuwana jest woda, w szczególności na obszarze 12 godzinnego spływu do ujęcia wody,
- monitorowanie zużycia środków ochrony roślin na terenie ochrony pośredniej oraz kontrola ich jakości,
- opracowanie w oczyszczalniach ścieków planów kontroli stanu technicznego obiektów i rurociągów oraz wdrożenie procedur postępowania po rozpoznaniu poważnej awarii w oczyszczalniach ścieków,
- wprowadzenie zakazu lokalizacji nowych oczyszczalni ścieków komunalnych i przemysłowych na terenie strefy ochrony pośredniej ujęcia wody.

## Podsumowanie

W pracy dokonano przeglądu matrycy ryzyka wykorzystywanych w analizie i ocenie ryzyka w SZW. Opracowane metody mogą być modyfikowane w zależności od specyfiki SZW oraz celu analizy ryzyka. Ocena ryzyka i zarządzanie ryzykiem w obszarach zasilania dla punktów poboru wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi zgodnie z zapisami Drinking Water Directive 2020/2184 [2] powinna zostać przeprowadzona w UE do 12 lipca 2027 r. Polska spełnia to kryterium, już do końca 2022 roku ma być wykonana analiza ryzyka dla ujęć wody dostarczających więcej niż 10 m<sup>3</sup> wody na dobę lub służących zaopatrzeniu w wodę więcej niż 50 osób w Polsce.

Ustawa Prawo wodne [22] nałożyła obowiązek przeprowadzenia analizy ryzyka, ale nie wskazuje ona w jaki sposób należy ją wykonać. Spowodowało to, że przedsiębiorstwa wodociągowe szukały wsparcia merytorycznego w tym zakresie. We współpracy z przedsiębiorstwami wodociągowymi opracowano analizę ryzyka dla ujęć wody objętych niniejszą pracą i na ich podstawie odpowiedni woj-

woda ustanowił zasięg wymaganych stref ochronnych. Przedstawiona w pracy metoda może być stosowana przez polskie przedsiębiorstwa wodociągowe zarówno do opracowania analizy ryzyka dla ujęć wody, jak i do corocznych ewaluacji zagrożeń ujęcia wody. Czynniki ryzyka bowiem nie można całkowicie wyeliminować.

Podjęcie oparte na analizie ryzyka zagrożeń wydaje się optymalne zarówno z punktu widzenia bezpieczeństwa konsumentów wody, jak i rozwoju społeczno-gospodarczego. Ustanowienie strefy ochrony jest zawsze związane z ograniczeniem działalności gospodarczej na danym terenie i powinna być ona ustanawiana tylko wtedy, gdy to konieczne dla zapewnienia odpowiedniej jakości pobieranej wody. Na podstawie wyników oceny ryzyka przeprowadzonej dla czterech ujęć wody powierzchniowej zlokalizowanych w południowej Polsce zdefiniowano odpowiednie środki zarządzania ryzykiem w celu zapobiegania zidentyfikowanemu ryzyku lub w celu jego kontroli i oceniono potrzebę ustanowienia lub dostosowania stref ochronnych dla analizowanych ujęć wód powierzchniowych. Przeprowadzona analiza ryzyka nie wykazała istotnych zagrożeń dla ujęcia wody dla ujęcia B, w związku z czym nie ma potrzeby ustanawiania strefy ochrony pośredniej ujęcia wody. Dla ujęć A, C oraz D wyznaczono teren ochrony pośredniej obejmujący obszar 12 godzinnego spływu do ujęcia wody.

Opracowana metoda wychodzi naprzeciw nowoczesnym standardom dotyczącym bezpieczeństwa wody przeznaczonej do spożycia i może być powszechnie stosowana przez przedsiębiorstwa wodociągowe dla potrzeb realizacji założeń Planów Bezpieczeństwa Wodnego (PBW). Opracowana metoda analizy i oceny ryzyka uzupełni i rozszerzy zalecaną dla PBW dwuparametryczną matrycę ryzyka.

## LITERATURA

- [1] Borysiewicz Mieczysław, Markowski Adam S. 2002. „Kryteria akceptowalności ryzyka poważnych awarii przemysłowych”. Wydawnictwo CIOP. Warszawa.
- [2] DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (UE) 2020/2184 z dnia 16 grudnia 2020 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi
- [3] Kaplan Stanley, Garrick John B. 1981. „On The Quantitative Definition of Risk”. *Risk Analysis*. 1: 11-27.
- [4] Kempa Edward S. 1993. „Analiza ryzyka w systemach oczyszczania wód”. *Ochrona Środowiska*. 3(50): 5-10.
- [5] Kutyłowska Małgorzata. „Neural network approach for failure rate prediction”. *Engineering Failure Analysis* 2015, 47, 41-48.
- [6] Lee Mijin, Mcbean Edward Arthur, Ghazali Mimader; Schuster Corinne J., Huang Jinhui Jeanne. „Fuzzy-Logic Modeling of Risk Assessment for a Small Drinking-Water Supply System”. *Journal of Water Resources Plan-*

ning and Management 2009, 135, 547-552, doi:10.1061/(asce)0733-9496(2009)135:6(547).

- [7] Lubowiecka Teresa, Wieczysty Artur. „Ryzyko w systemach zaopatrzenia w wodę”. *Monografia Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*. Warszawa. 113-141.
- [8] Michaud David, George E. Apostolakis. „Methodology for ranking elements in water supply networks”. *Journal of Infrastructure Systems* 2006, 12, 230-242.
- [9] Porto Monica. *Water and Ethics, Human Health and Sanitation; United Nations Educational: Saint-Denis*, 2004.
- [10] Rak Janusz R. 2017. „Analiza i ocena zagrożenia ludności i mienia w przypadku awarii systemów wodociągowych”. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2: 47-50.
- [11] Rak Janusz R., Pietrucha-Urbanik Katarzyna. „An Approach to Determine Risk Indices for Drinking Water- Study Investigation”. *Sustainability* 2019, 11, 3189.
- [12] Rak Janusz R., Tchórzewska-Cieślak Barbara. 2014. „Matrycowe metody analizy ryzyka awarii infrastruktury komunalnej”. *Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury, JCEEA*. XXXI, 61(1/14): 233-244.
- [13] Rak Janusz R., Tchórzewska-Cieślak Barbara. 2005. „Metody analizy i oceny ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę”. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej*. Rzeszów.
- [14] Rak Janusz R., Żywiec Jakub. „Relacje podatność – odporność w aspekcie bezpieczeństwa systemów wodociągowych”. *INSTAL*, z.7-8/2019, s.59-63.
- [15] Rak Janusz R., Tchórzewska-Cieślak Barbara, Boryczko Krzysztof, Szpak Dawid. „Wykorzystanie zaawansowanych metod matrycowych w analizie ryzyka w systemach zbiorowego zaopatrzenia w wodę”. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*. 11/2017, 448-452.
- [16] Santonu Kumar Sanyal, Taslin Jahan Mou, Ram Prosad Chakrabarty i inni. „Diversity of arsenite oxidase gene and arsenotrophic bacteria in arsenic affected Bangladesh soils”. *Ambio Express* 2016, 6, doi:ARTN 2110.1186/s13568-016-0193-0.
- [17] Szpak Dawid, Tchórzewska-Cieślak Barbara. „The Use of Grey Systems Theory to Analyze the Water Supply Systems Safety”. *Water Resources Management* 2019, 33, 4141-4155.
- [18] Szpak Dawid, Tchórzewska-Cieślak Barbara. „Water producers risk analysis connected with collective water supply system functioning”. In *Dependability Engineering and Complex Systems. Advances in Intelligent Systems and Computing*, W; Mazurkiewicz Zamojski, J; Sugier, J; Et Al., Ed.; Springer Switzerland 2015; Volume 470, pp. 479-489.
- [19] Tchórzewska – Cieślak Barbara. 2011. „Metody analizy i oceny ryzyka awarii podsystemu dystrybucji wody”. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej*. Rzeszów.
- [20] Tchórzewska-Cieślak Barbara, Szpak Dawid. „A Proposal of a Method for Water Supply Safety Analysis and Assessment”. *Ochrona Środowiska* 2015, 37, 43-47.
- [21] Tchórzewska-Cieślak Barbara, Boryczko Krzysztof, Piegdon Izabela. „Possibilistic risk analysis of failure in water supply network”. In *Proceedings of the The European Safety And Reliability Conference (ESREL)*, Wrocław, 2015; pp. 1473-1480.
- [22] Ustawa Prawo wodne (Dz.U. 2017 poz. 1566) z późn. zm.
- [23] Xian Zhong, Qingping Wu, Jumei Zhang, Shuxian Shen. „Prevalence, genetic diversity and antimicrobial susceptibility of *Campylobacter jejuni* isolated from retail food in China”. *Food Control* 2016, 62, 10-15, doi:10.1016/j.foodcont.2015.09.032.

# Czas pracy bezuszkodzeniowej sieci wodociągowej miasta Głubczyce jako element bezpieczeństwa funkcjonowania systemu zaopatrzenia w wodę

Time between failure of water pipeline in Głubczyce as an element of safe operation of the water supply system

IZABELA ZIMOCH, MARCIN GRABUŃCZYK

DOI 10.36119/15.2021.7-8.7

Zaopatrzenie ludności w wodę przeznaczoną do spożycia przez ludzi stanowi podstawowy element funkcjonowania gminy, będąc jednocześnie jej zadaniem własnym, które w omawianym przypadku jest realizowane przez przedsiębiorstwo wodociągowe. System zbiorowego zaopatrzenia w wodę, zgodnie z ustawą o zarządzaniu kryzysowym, należy do infrastruktury krytycznej państwa. Najważniejszym elementem tego systemu jest sieć wodociągowa stanowiąca newralgiczny punkt całej infrastruktury krytycznej. Niezbędnym warunkiem dla dostaw wody do odbiorców, zgodnym z polskimi wymogami ustawowymi, jest utrzymanie sprawności i prawidłowe działanie sieci wodociągowej wraz z infrastrukturą towarzyszącą, przy czym sieć wodociągowa musi pracować niezawodnie, zarówno przy minimalnych rozbiorach, jak i w okresach wzmożonego zapotrzebowania na wodę. Prawidłowo, bezawaryjnie funkcjonujący system zaopatrzenia w wodę, w tym sieć wodociągowa jest kluczowym elementem budowania systemu bezpieczeństwa zdrowotnego mieszkańców. W artykule przedstawiono analizę czasów eksploatacyjnych (czas pracy bezuszkodzeniowej i czas odnowy) sieci wodociągowej w gminie Głubczyce w aspekcie bezpieczeństwa funkcjonowania infrastruktury krytycznej.

*Słowa kluczowe: sieć wodociągowa, infrastruktura krytyczna, niezawodność, awaryjność, czas pracy bezuszkodzeniowej, czas odnowy*

Management of delivering water intended for human consumption is essential element of the functioning of the municipality as an independent territorial unit, being at the same time its own task, which in the discussed case is carried out by the water supply company. The collective water supply system, according to the Act on crisis management, belongs to the country's critical infrastructure. The most important element of the water supply system is the water pipe network, which is crucial point of the completely critical infrastructure. A necessary condition for supplying drinking water to consumers, in accordance with Polish law requirements, is maintaining the efficiency and proper operation of the water pipe network together with the accompanying infrastructure, and the water pipe network must operate reliably both at minimum consumption and during periods of increased water demand. Properly, failure-free functioning of water pipelines is a key element of building a health safety system for residents. The article presents an analysis of operating times (time between failure and downtime) of the water supply network in the municipality of Głubczyce in the aspect of security of critical infrastructure functioning.

*Keywords: water pipe network, critical infrastructure, reliability, failure, time between failure, downtime*

## Wstęp

Gospodarka wodna jest podstawowym elementem funkcjonowania gminy jako samodzielnej jednostki terytorialnej. Zbiorowe zaopatrzenie w wodę stanowi podstawę funkcjonowania regionu w tym utrzymania standardów sanitarnych jej mieszkańców, a dostępność i jakość wody przyczyniają się w znacznym stopniu do atrakcyjności inwestycyjnej i wzrostu rozwoju gospodarczego regionu.

Najważniejszym elementem gospodarki wodnej jest sieć wodociągowa, która stanowi newralgiczny punkt całego systemu wodociągowego. Natomiast niezbędnym warunkiem dostawy wody do odbiorców w sposób ciągły w niezbędnej ilości i pod odpowiednim ciśnieniem jest jej prawidłowe działanie, przy czym musi ona pracować niezawodnie, zarówno przy minimalnych rozbiorach wody, jak i w okresach wzmożonego zapotrzebowania.

System zbiorowego zaopatrzenia w wodę zgodnie z Ustawą z dnia 26 kwietnia 2007r. o zarządzaniu kryzysowym, zaliczany jest do infrastruktury krytycznej. Stanowi to konieczność zapewnienia ciągłości funkcjonowania oraz szybkiego odtworzenia w razie wystąpienia awarii lub zdarzenia niepożądanego. Zgodnie z art. 5 ust. 1 ustawy z dnia 7 czerwca 2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków przedsiębiorstwo wodociągowe-

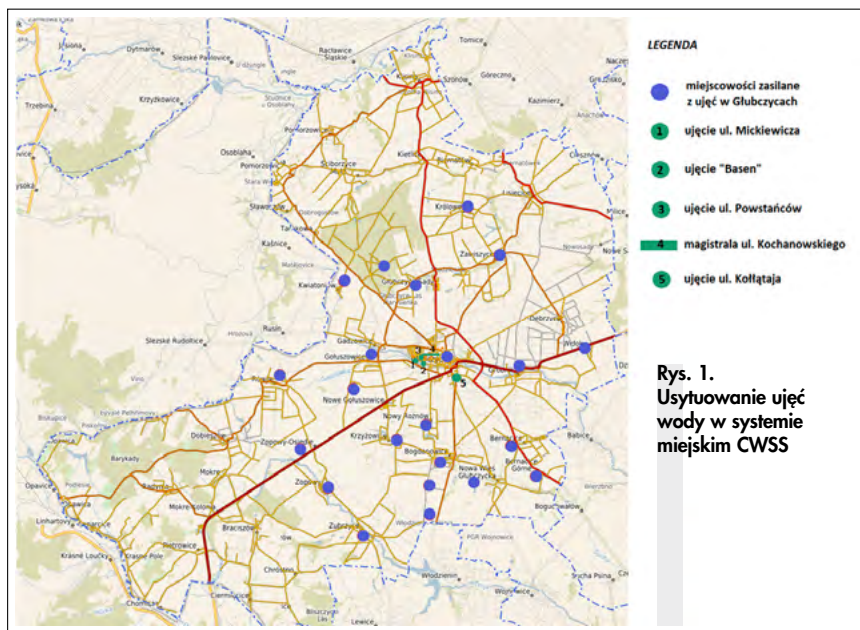
Prof. dr hab. inż. Izabela Zimoch - Politechnika Śląska, Katedra Inżynierii Wody i Ścieków, Gliwice, <https://orcid.org/0000-0003-3048-4002>, mgr Marcin Grabuńczyk - Głubczyckie Wodociągi i Kanalizacja Sp. z o.o., 48-100 Głubczyce, ul. Powstańców 2. Adres do korespondencji/Corresponding author: [izabela.zimoch@polsl.pl](mailto:izabela.zimoch@polsl.pl)

-kanalizacyjne ma obowiązek m.in. zapewnić zdolność posiadanych urządzeń wodociagowych do realizacji dostaw wody w wymaganej ilości i pod odpowiednim ciśnieniem, w sposób ciągle i niezawodny. Wypełnienie tego obowiązku uwarunkowane jest utrzymaniem sieci i urządzeń wodociagowych w dobrym stanie technicznym, zapewnieniem stabilności pracy układu wodociagowego oraz sprawnym usuwaniem ewentualnych awarii [1, 2].

Największym problemem dla przedsiębiorstwa wodociagowego jest występowanie awarii i strat wody w sieci wodociagowej, które wpływają z jednej strony na stabilność dostaw, a z drugiej na sytuację finansową przedsiębiorstwa. Przy czym awarie sieci wodociagowej można zdefiniować jako uszkodzenia lub niesprawności przewodów wodociagowych wraz z uzbrojeniem, powodujące częściową lub całkowitą utratę wymaganych własności technicznych. Są to zwłaszcza brak szczelności i zdolności przepustowej sieci wodociagowej oraz uszkodzenia uzbrojenia, uniemożliwiające jego pracę i wymagające naprawy strukturalnej z odcięciem dopływu wody włącznie. Natomiast usuwanie przecieków wody wymaga znajomości przyczyn, które je powodują, co pozwala na wybranie właściwych środków i sposobów likwidacji przecieków oraz skuteczniejsze prowadzenie kompleksowych poszukiwań i napraw [3-7].

### Opis obiektu badań

Gmina Głubczyce położona jest w południowo-wschodniej części Polski, w południowo-wschodniej części województwa opolskiego. Powierzchnia gminy wynosi 294,30 km<sup>2</sup> i jest zamieszkała przez ponad 23 tys. mieszkańców. System zaopatrzenia w wodę (SZW) w gminie Głubczyce składa się z podsystemu produkcji wody (PsPW - obejmujący ujmowanie i przesyłanie wody), podsystemu gromadzenia



Rys. 1. Usytuowanie ujęć wody w systemie miejskim CWSS



Rys. 2. Pompownia wody przy ulicy Powstańców w Głubczycach



Rys. 3. Zbiornik magazynujący wody w Głubczycach

wody (PsGW) oraz podsystemu jej dystrybucji (PsDW – obejmujący sieć wodociagową wraz z przyłączami wodociagowymi). Eksploatacja systemu w gminie opiera się na 4 ujęciach zlokalizowanych w mieście Głubczyce (Miejski System Zaopatrzenia w Wodę CWSS - tabela 1, rys. 1) oraz 8 ujęciach zlokalizowanych w okolicznych wsiach (Wiejski System Zaopatrzenia w Wodę RWSS tabela 1). Ujęcia te zasilają w wodę miasto Głubczyce oraz 48 gmin wiejskich.

Powierzchnia miasta Głubczyce, które stanowi obiekt badań, wynosi 12,52 km<sup>2</sup> i jest zamieszkała przez ponad 12 tys. mieszkańców. W CWSS obejmującym również system zaopatrzenia w wodę w mieście Głubczyce (rys. 1) wydzielono dwa podsystemy produkcji wody PsPW-Kofłtąja oraz PsPW - Powstańców (tabela 2), które tłoczą wodę do sieci wodociagowej, budującej podsystem dystrybucji wody PsDW). Eksploatacja PsPW w mieście (tabela 2) opiera się na pracy

Tabela 1. Charakterystyka wydajności SZW na terenie gminy Głubczyce

SZW	Ujęcie wody (liczba dni eksploatacji ujęcia w roku [d])	Liczba zasilanych miejscowości	Średniodobowa produkcja wody [m <sup>3</sup> /d]	Całkowita roczna produkcja wody [m <sup>3</sup> /rok]	Udział procentowy w strukturze produkcji ogółem [%]	Średniodobowe zużycie wody w mieście Głubczyce [m <sup>3</sup> /d]	Średnioroczne zapotrzebowanie na wodę gmin wiejskich [m <sup>3</sup> /rok]
Miejski system zaopatrzenia w wodę MSZW (rys. 1)	Powstańców (305)	23 w tym miasto Głubczyce	2 088,44	636 974,00	54.6	1617.01	254 924,28
	Mickiewicza (249)		220,32	54 859,00	4.7		
	Kofłtąja (366)		462,83	169 395,00	14.5		
	"Basen" (364)		258,99	94 274,00	8.1		
Wiejski system zaopatrzenia w wodę WSZW	Klisino	26	293,08	106 976,00	9.2	0	211 612,00
	Mokre Wieś		17,22	6 284,00	0.5		
	Debrzyca		26,90	9 817,00	0.8		
	Dobieszów		10,42	3 803,00	0.3		
	Braciszów		40,54	14 796,00	1.3		
	Mokre Kolonia		66,02	24 097,00	2.1		
	Krasne Pole		44,78	16 343,00	1.4		
	Tarnkowa		80,81	29 496,00	2.5		

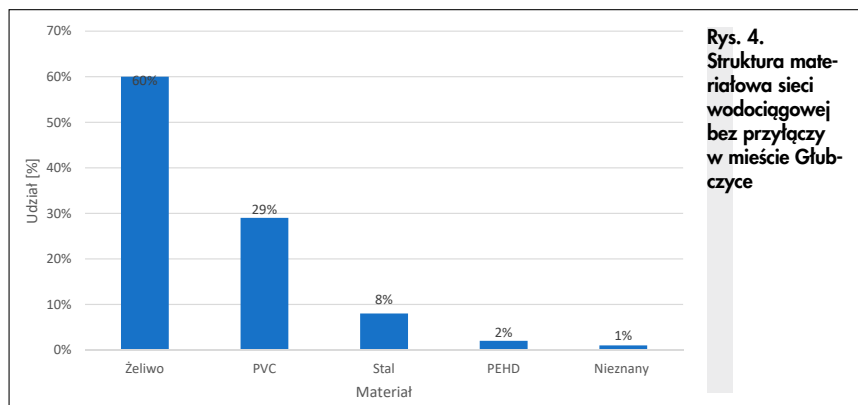


Tabela 2. Charakterystyka ujęć wody w miejskim systemie zaopatrzenia w wodę MSZW

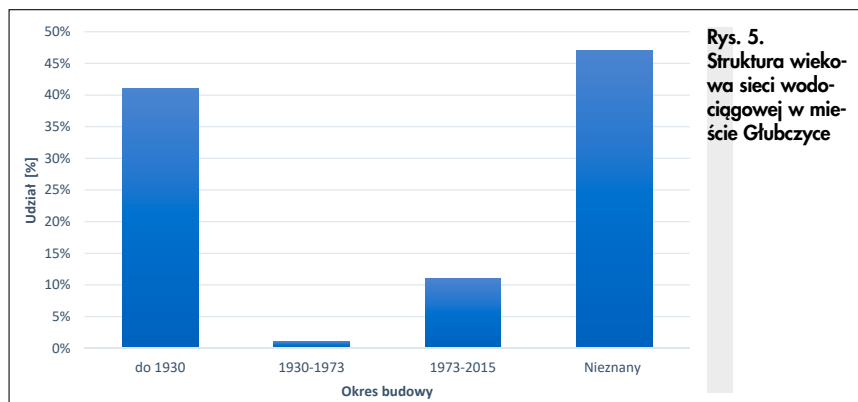
MSZW	Ujęcia wody	Maksymalna wydajność dobową [m <sup>3</sup> /d]	Średnio dobową produkcją wody [m <sup>3</sup> /d]	Rezerwy mocy produkcyjnych [m <sup>3</sup> /d]	Średniodobowa produkcja wody dla PsDW(MG) [m <sup>3</sup> /d]	Infrastruktura techniczna	Obszar zasilania
PsPW-Powstańców	Mickiewicza Powstańców Basen	5 496,00	2 567,75	2 928,25	1390,02	Pompownia wody wyposażona w cztery pompy sterowane falownikami. Zbiorniki zapasowo wyrównawcze dwukomorowe o pojemności 2000 m <sup>3</sup> , zasilane z trzech niezależnych ujęć.	Miasto Głubczyce (56% produkcji dobowej PsPW-Powstańców) oraz 22 miejscowości wiejskich
PsPW-Koźłataja	Koźłataja	720,00	457,96	262,04	226,99	Kontenerowa pompownia wody. Jednokomorowy zbiornik zapasowo wyrównawczy o pojemności 680 m <sup>3</sup> .	Miasto Głubczyce (49% produkcji dobowej PsPW-Koźłataja) oraz 11 miejscowości wiejskich

Tabela 3. Charakterystyka infrastruktury wodociągowej na terenie gminy Głubczyce

PsDW	Typ sieci wodociągowej	Długość [km]	Udział procentowy w strukturze ogółem [%]	Liczba przyłączy wodociągowych [szt.]
MPsDW	Sieć magistralna	2,00	3,12%	1476 [42,76%]
	Sieć rozdzielcza	33,60	20,57%	
	Przyłącza wodociągowe	16,90	22,01%	
WPsDW	Sieć magistralna	62,03	96,88%	1976 [57,24%]
	Sieć rozdzielcza	129,72	79,43%	
	Przyłącza wodociągowe	59,90	77,99%	
Suma		304,15		



Rys. 4. Struktura materiałowa sieci wodociągowej bez przyłączy w mieście Głubczyce



Rys. 5. Struktura wiekowa sieci wodociągowej w mieście Głubczyce

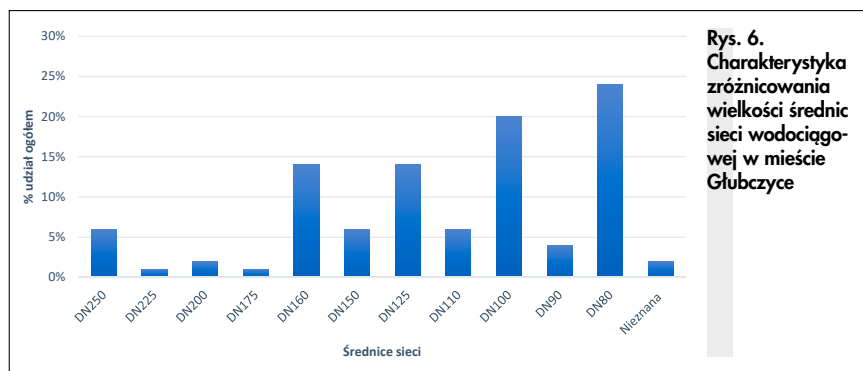
4 niezależnych ujęć wody (rys. 2), z których ujęcie Koźłataja ujmuje wody głębinowe na potrzeby eksploatacyjne PsPW- Koźłataja. Natomiast ujęcia przy ulicy Powstańców, Mickiewicza, „Basen” pracują w układzie zintegrowanym bud-

ującym PsPW- Powstańców. Ujęcie „Basen” eksploatuje zasoby wód głębinowych głównie na potrzeby basenu miejskiego, jednakże w przypadku wystąpienia sytuacji kryzysowej lub awaryjnej zasila sieć miejską. Ujmowana woda w PsPW -

Powstańców kierowana jest do zbiorników magazynujących (rys. 3), skąd tłoczona jest do sieci wodociągowej. SZW miasta Głubczyce charakteryzuje się średnim rocznym dobowym rozbiorem wody na poziomie 1617,01 m<sup>3</sup>/d. Największy rozbiór wody przypada na miesiące wiosenne i letnie. Szczegółowa analiza rozbiorów wody w 2020 r. wykazała, że największe średniodobowe zapotrzebowanie na wodę odnotowano w kwietniu (1828,74 m<sup>3</sup>/d) z największym rozbiorem wody w mieście w dniu 28 kwietnia (2176,98 m<sup>3</sup>/d). Najmniejszy średniodobowy rozbiór wody odnotowano w styczniu (1443,758 m<sup>3</sup>/d), w którym w dniu 1 stycznia rozbiór wody był najmniejszy i wynosił zaledwie 1146,87 m<sup>3</sup>/d.

Całkowita długość sieci wodociągowej na terenie gminy Głubczyce wynosi 304,15 km, z czego 17% stanowią przewody wodociągowe w mieście Głubczyce (miejski podsystem dystrybucji wody – MPsDW) z dominacją sieci rozdzielczej o długości 33,6 km (64% całkowitej długości przewodów wodociągowych). Pełna charakterystyka infrastruktury wodociągowej na terenie gminy Głubczyce z podziałem na podsystem miejski (MPsDW) oraz podsystem wiejski (wiejski podsystem dystrybucji wody WPsDW) z uwzględnieniem typu sieci, długości, udziału procentowego w całkowitej strukturze, a także liczby przyłączy wodociągowych została przedstawiona w tabeli nr 3.

Sieć wodociągowa w mieście Głubczyce posadowiona jest głównie na terenach silnie zurbanizowanych (90%) w pasie drogowym oraz w niewielkim stopniu w chodnikach. Pozostała część infrastruktury przebiega w obszarach zielonych, stanowiąc głównie przyłącza w miejscach łączenia się z wewnętrzną instalacją wodociągową.



Rys. 6. Charakterystyka zróżnicowania wielkości średnic sieci wodociągowej w mieście Głubczyce

Sieć wodociągowa w mieście Głubczyce charakteryzuje się dużą różnorodnością materiałową (rys. 4). Dominującymi materiałami są tu żeliwo oraz PCV, z udziałem odpowiednio 60% i 29% w całkowitej długości sieci. Przyłącza wodociągowe w większości wykonane są z rur stalowych, stanowiących około 88% w całkowitej długości tych rur. Rurociągi wykonane z żeliwa dominują w centrum miasta, natomiast rurociągi z materiałów PVC i PEHD stosowane są na obrzeżach i w obszarach rozbudowy miasta.

Przeprowadzona, na podstawie istniejącej dokumentacji technicznej, analiza wieku przewodów (rys. 5) wykazała, iż 46% całkowitej długości sieci to rurociągi o niezidentyfikowanym roku budowy. Z analizy tej wynika, że przewody wybudowane przed 1930 rokiem, tj. o wieku przekraczającym 80 lat, stanowią aż 41%, z czego około 18% to rurociągi ponad stuletnie. Najstarsze przewody znajdują się w centrum miasta.

Sieć wodociągowa na terenie miasta charakteryzuje się również dużą różnorodnością pod względem zmienności średnic (rys. 6), obejmującą przewody o średnicy z przedziału od DN 80 do DN 250. Największy udział w budowie podsystemu dystrybucji wody mają rurociągi o średnicach od DN 80 do DN 100.

## Metodyka badawcza

Definicja awarii sieci wodociągowej zgodnie z normą ISO 24516-1 Wytyczne gospodarowania majątkiem wodociągów i kanalizacji Część 1: Sieci wodociągowe, to „lokalne, niedopuszczalne pogorszenie zdolności operacyjnej elementu infrastruktury dystrybucji wody” [8]. W tym kontekście rozróżnia się dwa typy awarii występujących w podsystemie dystrybucji wody: awarię nagłą i stopniową. Awaria nagła spowodowana jest nieoczekiwanymi, znaczącymi zmianami w strukturze materiałowej przewodów, której najczęściej towarzyszy duży wypływ wody. Natomiast awaria stopniowa powstaje na skutek nie-

odwracalnych zmian w strukturze materiału w efekcie zużycia technicznego lub postępującego procesu starzeniowego. W każdym z wyróżnionych przypadków awarii – nagła i stopniowa - odnawialnych obiektów technicznych, do których zaliczane są obiekty sieci wodociągowej, analizy niezawodnościowe ich funkcjonowania obejmują zarówno cykl pracy jak i odnowy. Zatem, ustalenie kryteriów eksploatacji w procedurach badawczych pozwala w sposób jednoznaczny określić dwa eksploatacyjne stany niezawodności:

- stan pracy, czyli zdolności całkowitej, w którym element systemu realizuje powierzoną mu funkcję z wymaganym efektem techniczno-technologicznym i ekonomicznym,
- stan niezdatności częściowej lub całkowitej, w którym z powodów losowych następują zakłócenia w eksploatacji obiektu na skutek jego uszkodzenia.

Uwzględniając powyższe stany eksploatacyjne oraz specyfikę budowy i eksploatacji sieci wodociągowej w analizie niezawodności ich funkcjonowania zwykle wyróżnia się dwa podstawowe czasy eksploatacyjne: średni czas pracy bezuszkodzeniowej  $T_p$  (równanie 1) i średni czas odnowy  $T_o$  (równanie 2) [7, 9-10].

$$T_p = \frac{1}{k+z} \left( \sum_{i=1}^k t_{pi} + z \cdot t \right) \quad (1)$$

$$T_o = \frac{1}{n_o} \sum_{i=1}^{n_o} t_{oi} \quad (2)$$

gdzie:

k - liczba okresów pracy obiektów uszkodzających się,

z - liczba okresów pracy obiektów nieuszkodzających się,

t - długość okresu badań - obserwacji [d],

$t_{pi}$  - wartość  $i$ -tego czasu pracy obiektów uszkodzających się [d],

$n_o$  - liczba odnow w badanym okresie,

$t_{oi}$  - czas trwania  $i$ -tej odnowy [h].

W sytuacji pojawienia się uszkodzenia istotnym jest ustalenie przyczyn, uwarunkowań powstania i skutków zaistniałego

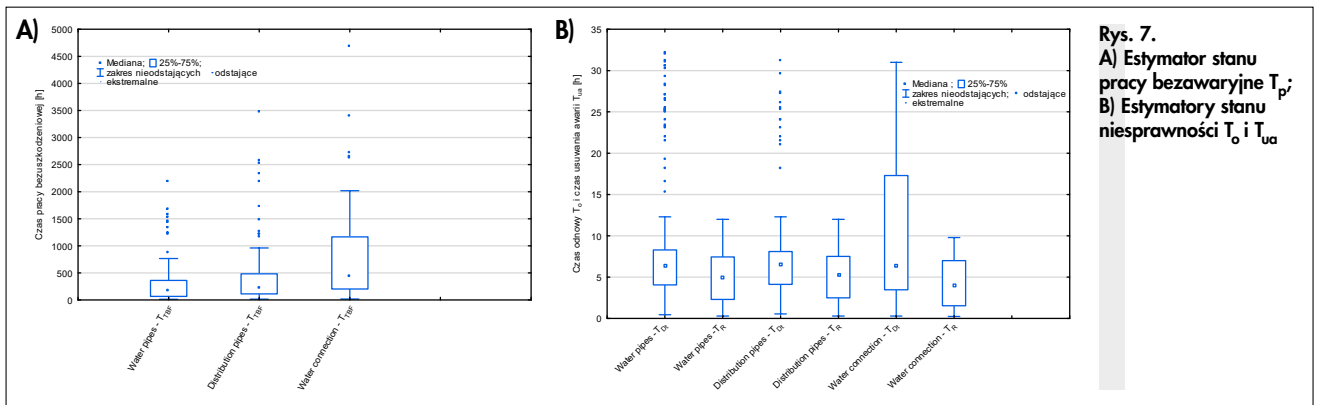
zdarzenia oraz określenie pełnej charakterystyki techniczno-organizacyjnej usunięcia uszkodzenia. Zgromadzone w ramach przeprowadzonych badań dane o uszkodzeniu, archiwizowane w dziennikach awarii, pozwoliły w pełnym zakresie przeprowadzić niezawodnościową analizę czasów eksploatacji sieci wodociągowej w mieście Głubczyce. Analizę oparto na danych archiwalnych pozyskanych z rejestru awarii odnotowanych w latach 2015-2020. Rejestr ten obejmuje takie dane, jak: data wyłączenia awarii, godzina przyjęcia zgłoszenia, godzina przystąpienia do usuwania awarii, godzina usunięcia awarii, miejsce wystąpienia awarii, przyczyna wystąpienia awarii, sposób realizacji zgłoszenia i opis podjętych czynności eksploatacyjnych. Rejestr awarii prowadzony przez przedsiębiorstwo wodociągowe dodatkowo zawiera protokół oraz dokumentację fotograficzną.

W procesie badawczym przeprowadzono wielokryterialną analizę uszkodzeń z uwzględnieniem rodzaju materiału oraz funkcji sieci (sieć: magistralna i rozdzielcza oraz przyłącza wodociągowe). Integralnym elementem badań była analiza czasu pracy bezuszkodzeniowej oraz czasu odnowy i czasu usuwania awarii. W procedurach badawczych czas pracy bezuszkodzeniowej ( $T_p$ ) definiowany jest jako okres eksploatacji rurociągu między kolejnymi awariami. Czas odnowy ( $T_o$ ) natomiast stanowi okres od zgłoszenia uszkodzenia do jego całkowitego usunięcia. Zatem obejmuje on dwa komponenty związane z okresem realizacji prac organizacyjnych i przygotowawczych brygady remontowej oraz z okresem prac związanych z rzeczywistym usunięciem uszkodzenia sieci wodociągowej. Natomiast czas usuwania awarii ( $T_{oa}$ ) to okres od wyjazdu brygady remontowej na miejsce awarii do chwili całkowitego jej usunięcia [10].

## Rezultaty i dyskusja wyników

Zebrane w ramach prowadzonych badań dane o awariach poddano weryfikacji i pogrupowano, uwzględniając zarówno funkcję przewodu, jak i rodzaj materiału, z którego zbudowana jest sieć wodociągowa. W oparciu o zgromadzone informacje utworzono także zbiór danych zawierający zmienne losowe czasów eksploatacji tj.: czas pracy bezuszkodzeniowej, czas odnowy i czas usunięcia awarii.

W okresie 6 lat prowadzonych badań w systemie wodociągowym miasta Głubczyce odnotowano łącznie 197 awarii, z czego aż 56% stanowiły uszkodzenia



stalowej sieci wodociągowej (110 awarii w tym 68 na sieci rozdzielczej oraz 42 na przyłączach wodociągowych). Natomiast liczba wszystkich uszkodzeń żeliwnej sieci wodociągowej wynosi 44, z których aż 86% (38 awarii) stanowiły uszkodzenia sieci rozdzielczej. Najmniejszą liczbę awarii odnotowano na sieciach wykonanych z tworzyw sztucznych PCV (20 uszkodzeń). Roczna częstotliwość występowania awarii charakteryzowała się dużą dynamiką zmian. Najwięcej awarii w ciągu roku odnotowano w 2015 roku (48 awarii, 24% wszystkich awarii), a najmniej w 2017 roku (22 awarie, 11% wszystkich awarii). W wyniku przeprowadzonej analizy wykazano, że najbardziej awaryjnym materiałem, z którego została wykonana sieć wodociągowa jest stal, a najczęstszą przyczyną powstawania awarii dla tego typu materiału była korozja. W przypadku przewodów żeliwnych najczęstszą przyczyną awarii stanowiła nieszczelność złączy, natomiast dla przewodów wykonanych z tworzyw sztucz-

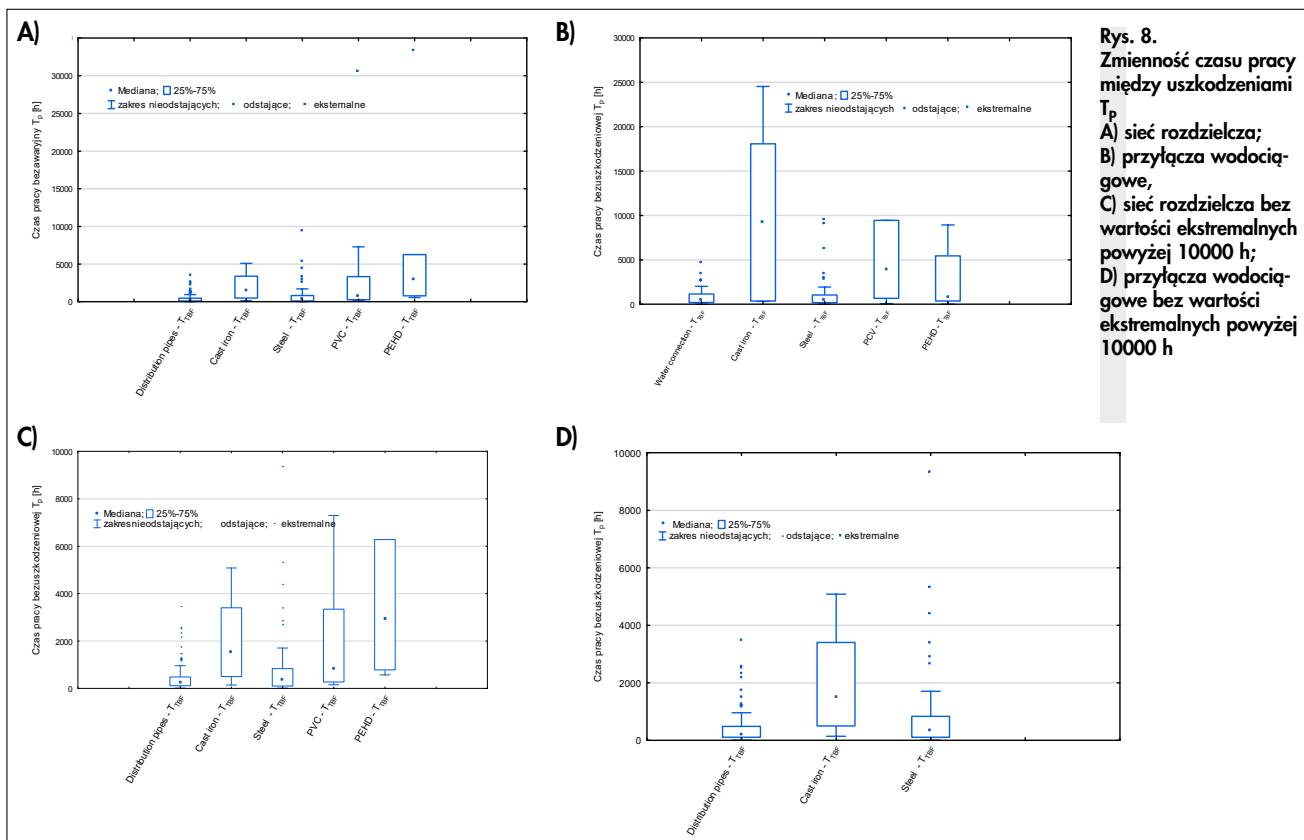
nych główną przyczyną awarii były wady materiałowe, nieszczelności złączy oraz nieodpowiednie prowadzenie prac budowlanych na trasie przebiegu rurociągu. Ponadto zarówno sieć wodociągowa położona zbyt głęboko jak i zbyt płytko sprawia poważne problemy eksploatacyjne. W okresach, kiedy występowały długotrwałe niskie temperatury ujemne, płytkie przewody ulegały zamarzaniu, co skutkowało brakiem dostawy wody do mieszkańców. Z kolei przewody ułożone na dużych głębokościach sprawiają problemy przy lokalizacji wycieków, które ujawniają się przeważnie po długim czasie w postaci uszkodzonych terenów zielonych, chodników czy nawierzchni dróg.

Integralną częścią prac badawczych była analiza czasu pracy bezuszkodzonej oraz czasu odnowy i czasu usuwania awarii (tabela 4, rys. 7). Elementem tej analizy była między innymi ocena czasów trwania stanów eksploatacyjnych w 6-letnim okresie prowadzonych obserwacji odniesiona do funkcji sieci, jak sieć roz-

dzielcza i przyłącza wodociągowe (rys. 7 A i B). Stan pracy całej sieci dystrybucji wody determinowany jest głównie awaryjnością sieci rozdzielczej, dla której mediana czasu pracy bezawaryjnej osiągnęła wielkość 212,45 h. W przypadku przyłączy wodociągowych czas ten osiągnął większy rozrzut przyjmując wartości z zakresu od 16,2 h (marzec 2019 r.) do 4675,5 h (listopad 2018r.), dla którego mediana to 450,1 h (rys. 7A). W ciągu sześcioletniego okresu prowadzonych badań na sieci magistralnej odnotowano jedną awarię w dniu 4 marca 2016 r. W konsekwencji stan pracy sieci magistralnej charakteryzuje się bardzo długim średnim czasem między uszkodzeniami wynoszącym aż 26288,55 h, a czas odnowy wynosi 6,83 h, w którym czas rzeczywistego usuwania awarii stanowi 6,5 h. Natomiast stan niezdatności częściowej lub całkowitej opisany jest porównywalnymi estymatorami, dla których mediana czasu odnowy wynosi odpowiednio dla sieci rozdzielczej 6,5 h

**Tabela 4. Podstawowe statystyki opisowe czasu pracy bezawaryjnej, czasu odnowy i usuwania awarii w latach 2015-2020**

Typ	Rok	Czas pracy bezawaryjnej $T_p$ [h]					Czas odnowy $T_o$ [h]					Czas usuwania awarii $T_{ua}$ [h]				
		N	min	max	sr	Odch.st	N	min	max	sr	Odch.st	N	min	max	sr	Odch.st
Cała sieć wodociągowa	2015	47	18.1	693.05	165.13	145.20	47	0.45	32.2	7.76	8.08	47	0.3	11.5	3.47	2.68
	2016	27	13.42	1461.23	361.75	458.75	27	1.3	30.4	9.58	9.15	27	0.45	12.0	4.45	2.95
	2017	22	18.4	1676.20	398.05	471.62	22	3.0	31.15	10.01	7.43	22	2.5	8.0	5.99	1.79
	2018	32	14.4	1582.00	329.58	354.73	32	2.14	32.0	10.84	8.64	32	1.36	11.0	5.62	2.57
	2019	41	16.1	699.3	209.49	175.84	41	0.3	30.58	8.60	7.20	41	0.25	8.3	5.13	2.87
	2020	27	22.3	2184.35	349.67	415.29	26	0.55	28.15	8.26	7.17	26	0.4	9.0	5.65	2.71
	Średnia	196	13.42	2184.35	278.92	341.75	195	0.3	32.2	8.99	8.04	195	0.25	12.0	4.88	2.82
Sieć rozdzielcza	2015	25	18.1	1171.05	273.45	247.26	25	1.0	31.2	6.38	7.04	25	0.3	9.0	3.57	2.46
	2016	13	16.4	3471.2	752.74	924.20	13	1.3	21.0	6.58	5.44	13	0.45	12.0	3.89	3.40
	2017	15	24.3	2581.25	609.04	745.75	15	3.0	24.1	8.17	4.95	15	2.5	8.0	5.78	1.63
	2018	23	14.4	2536.3	460.56	555.31	23	3.25	25.5	9.02	6.26	23	1.25	10.0	5.63	2.34
	2019	30	16.1	2325.22	274.53	430.62	30	1.15	29.58	8.62	6.23	30	0.3	8.3	5.66	2.84
	2020	22	47.45	2184.35	427.99	462.62	22	0.55	27.15	8.77	7.18	22	0.5	9.0	5.93	2.45
Średnia	128	14.4	3471.20	419.42	566.80	128	0.55	31.2	7.80	6.57	128	0.3	12.0	5.10	2.75	
Przyłącza wodociągowe	2015	22	29.0	1043.36	366.72	290.55	22	0.45	28.43	8.67	8.35	22	0.3	9.8	3.29	2.65
	2016	14	49.37	1939.38	728.50	627.69	14	1.0	30.0	13.30	11.50	14	1.0	8.0	4.53	2.44
	2017	7	331.47	2658.45	1094.30	812.29	7	5.58	23.2	9.56	5.65	7	4.0	8.0	6.25	1.77
	2018	9	68.46	4675.50	1084.40	1392.60	9	2.14	31.0	12.87	11.18	9	1.36	8.0	4.93	2.53
	2019	11	16.20	3405.54	765.41	919.12	11	0.3	24.10	8.00	7.66	11	0.25	8.0	3.64	2.67
	2020	5	380.25	2722.0	1857.04	856.39	4	1.15	8.0	4.66	3.02	4	0.4	8.0	4.10	3.42
	Średnia	68	16.2	4675.50	798.91	899.55	67	0.3	31.0	10.22	9.50	67	0.25	9.8	4.13	2.77



**Rys. 8.** Zmienność czasu pracy między uszkodzeniami  $T_p$   
**A)** sieć rozdzielcza;  
**B)** przyłącza wodociągowe,  
**C)** sieć rozdzielcza bez wartości ekstremalnych powyżej 10000 h;  
**D)** przyłącza wodociągowe bez wartości ekstremalnych powyżej 10000 h

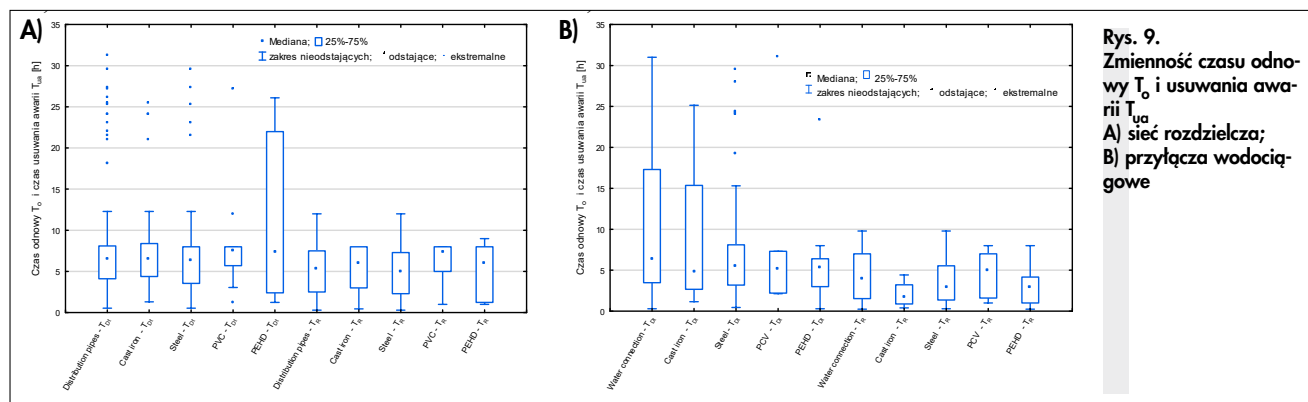
i przyłączy wodociągowych 6,36 h, w rezultacie których mediana czasu odnowy dla całej sieci wodociągowej przyjęła wartość na poziomie 6,45 h. Podobnie w przypadku czasu usuwania awarii, jego mediana wynosi odpowiednio dla całej sieci 5,00 h, dla sieci rozdzielczej 5,30 h i przyłączy wodociągowych 4,0 h (rys. 7B).

Analiza uzyskanych dla PsDW miasta Głubczyce estymatorów czasu bezawaryjnej pracy  $T_p$  (tabela 4) w całym okresie badań wykazała, że średnia jego wartość wynosi 278,92 h, która jest o 1,69 razy większa od najmniejszej wartości średniej uzyskanej w 2015 r. Największy średni czas pracy bezawaryjnej 398,05 h odnotowano w 2017 r. Jest on aż o 141% większy od najmniejszej wartości średniej w okresie 6 letnich badań (165,13 h), charakteryzującej stan pracy, czyli całko-

witej zdolności eksploatacyjnej sieci wodociągowej w 2015 r. Najdłuższy interwał czasu pracy bezawaryjnej odnotowano w 2020 roku (2184,35 h), który jest 3,15 razy dłuższy, tj. o 1491,3 h, od najmniejszej wartości maksymalnej, która wystąpiła w 2015 r. Natomiast najkrótszy czas pracy bezawaryjnej odnotowano w dniach 11-12 maja 2016r, kiedy to po usunięciu awarii stalowej sieci rozdzielczej, po upływie zaledwie 13,42 h wystąpiła awaria na stalowym przyłączy wodociągowym. Średni czas bezawaryjnej pracy  $T_p$  dla przyłączy wodociągowych (798,91 h) jest 1,9 razy większy od jego wartości średniej dla sieci rozdzielczej (419,42 h). Eksploatacja przyłączy wodociągowych charakteryzowała się największą wartością średnią czasu pracy między uszkodzeniami 1857,04 h występującą w 2020 r., która

jest o 1104,3 h (2,47 razy) większa od największej średniej wartości  $T_p$  745,74 h dla sieci rozdzielczej w 2016 r. Powyższy fakt determinowany jest zarówno najdłuższym interwałem czasu pracy bezawaryjnej odnotowanym w okresie prowadzonych badań dla przyłączy wodociągowych w roku 2018 (4675,5 h) oraz najkrótszym 14,4 h dla sieci rozdzielczej zaobserwowanym w 2018 r.

Średni czas odnowy wyznaczony dla poszczególnych lat (tabela 4) charakteryzował się najmniejszą jego wartością na poziomie 7,76 h w 2015 r. oraz największą wartością średnią 10,84 h w 2018 r. Wartość średnia czasu odnowy w całym okresie badań wyniosła 8,99 h. Jest ona 1,15 razy większa od wartości w 2015 r. i o 1,21 razy mniejsza od największej wartości średniej 10,84 h odnotowanej



**Rys. 9.** Zmienność czasu odnowy  $T_0$  i usuwania awarii  $T_{usa}$   
**A)** sieć rozdzielcza;  
**B)** przyłącza wodociągowe

w 2018 r. Najkrótszy czas odnowy miał miejsce w styczniu 2018 r. i wyniósł on zaledwie 0,3 h, co związane było z doszczelnieniem zaworu w studzienice wodomierzowej na przyłączy. Natomiast najdłuższym czasem odnowy  $T_o = 31,2$  h charakteryzowała się awaria, która wystąpiła w dniach 14-15 stycznia 2015 r. na stalowej sieci rozdzielczej. W okresie badań średni czas rzeczywistego usuwania awarii  $T_{ua}$  wynosił 4,88 h dla całej sieci wodociągowej w mieście Głubczyce (zakres zmienności od 3,47 h do 5,99 h). Natomiast najmniejszy średni czas usuwania awarii odnotowano na poziomie 3,29 h dla przyłączy w 2015 r., podczas gdy jego maksymalną wartość  $T_{ua} = 6,25$  h charakteryzował stan odnowy determinowany awariami w 2017 r. Wyznaczony średni czas usuwania awarii dla sieci rozdzielczej (5,1 h) jest o 0,97 h dłuższy niż jego wartość charakteryzująca przyłącza wodociągowe (4,13 h). Maksymalną wartość usuwania niesprawności odnotowano 23.09.2016 r. na sieci rozdzielczej i jest ona większa o 2,2 h od maksymalnego czasu usuwania awarii dla przyłączy, którą odnotowano 12 stycznia 2015 r.

Elementem przeprowadzonych badań była również ocena estymatorów charakteryzujących wydzielone dwa stany eksploatacyjne sieci wodociągowej w mieście Głubczyce z uwzględnieniem funkcji (sieć rozdzielcza i przyłącza wodociągowe) i rodzaju materiału z jakiego zostały wykonane przewody wodociągowe (rys. 8 i 9).

Czas pracy bezuszkodzeniowej sieci rozdzielczej (rys. 8) determinowany zbieżnością trwania stanów pracy przewodów stalowych przyjmującym wartość z przedziału od 14,4 h (09.09.2018 r.) do 9350 h (okres od 05.02.2017 r. do 02.03.2018 r.), dla których zaobserwowano najmniejszą wartość średnią czasu pracy  $T_p = 854,86$  h. Największą wartość średnią czasu pracy bezawaryjnej na poziomie 7168,72 h odnotowaną na sieci rozdzielczej charakteryzowały się przewody z PEHD, dla których czas ten jest aż 17,1 razy większy od wartości średniej wyznaczonej dla wszystkich przewodów sieci rozdzielczej. Sieć rozdzielcza z PVC charakteryzowała się podobnymi do przewodów z PEHD charakterystykami stanu pracy, dla którego największa wartość czasu pracy bezuszkodzeniowej (30679,0 h) była zaledwie o 2622,39 h mniejsza od najdłuższej jego wartości odnotowanej na sieci z PEHD. Natomiast średni czas pracy bezawaryjnej rozdzielczej sieci wodociągowej wykonanej z żelaza jest 4,6 krotnie większy od wartości średniej odnotowanej dla całej sieci roz-

dzielczej. Ponadto maksymalny okres trwania stanu pracy żeliwnej sieci rozdzielczej  $T_p = 5086,0$  h osiągał najmniejszą wartość w odniesieniu do pozostałych materiałów, z których zbudowana jest sieć rozdzielcza, która była 1,8 razy mniejsza od wartości max  $T_p$  dla rozdzielczej sieci stalowej i ponad 6-krotnie mniejsza w odniesieniu do sieci z PVC (6,03) i PEHD (6,55).

W przypadku przyłączy wodociągowych (rys. 8) zmienność czasu pracy bezawaryjnej wahała się w zakresie od 16,2 h do 4675,5 h (wartość średnia 798,91 h). Najkrótszy czas pracy bezawaryjnej  $T_p = 16,2$  odnotowano na przyłączy wodociągowym z PEHD w dniu 21.03.2019 r. Najmniejszą wartością średnią czasu pracy bezawaryjnej 1433,54 h charakteryzowały się przyłącza ze stali (zakres zmienności od 29,0 h do 9521,24 h), natomiast największą 10509,26 h przyłącza żeliwne (zakres zmienności od 331,47 h do 24535,0 h). Dla przyłączy wodociągowych z tworzyw sztucznych odnotowano najdłuższy stan pracy ponad 7-krotnie większy od najdłuższego stanu pracy przyłączy (okres od 21.04.2018 r. do 02.11.2018 r.). Przyłącza wodociągowe z tworzyw sztucznych, podobnie jak sieć rozdzielcza z tych materiałów, charakteryzowały się najdłuższym czasem pracy bezawaryjnej wynoszącym dla sieci z PCV 34592,0 h i z PEHD 33634,20 h.

Stan niesprawności sieci rozdzielczej o średnim czasie odnowy 7,99 h (zakres zmienności 0,55 h – 31,2 h, rys. 9) determinowany jest w głównej mierze przebiegiem procesu usuwania uszkodzenia na sieci stalowej (średni  $T_p = 7,15$  h, min.  $T_p = 0,55$  h; max.  $T_p = 31,02$  h). Najdłuższy czas odnowy 26,1 h odnotowano w dniach

14-15 sierpnia 2020 r. na sieci z PEHD, którego przyczyną było usuwanie niesprawności spowodowanej pęknięciem przewodu, w efekcie którego odnotowano wyciek wody na powierzchnię ulicy Fabrycznej. Sieć rozdzielcza z PEHD charakteryzuje się największą wartością średnią czasu odnowy w okresie 6-letnich badań, wynoszącą 10,22 h. Stan niesprawności kształtowany jest czasem usuwania awarii, który w przypadku sieci rozdzielczej PsDW Głubczyc charakteryzuje się dużą jednorodnością, niezależnie od rodzaju materiału. Zakres zmienności czasu usuwania awarii przyjmuje wartości od 0,3 h do 12 h (wartość średnia  $T_{ua} = 5,10$  h). Największą wartość średnią usuwania awarii wynoszącą 6,14 h charakteryzowała się sieć rozdzielcza z PCV. Czas ten był 1,20 razy dłuższy od wartości średniej wyznaczonej dla całej sieci rozdzielczej oraz o 1,26 razy dłuższy od najmniejszej wartości średniej odnotowanej na stalowej sieci rozdzielczej ( $T_{ua} = 4,87$  h). Najdłuższy czas usuwania awarii 12 h odnotowano w dniach 23-24 września 2016 r. na stalowej sieci rozdzielczej. Czas ten związany był z usuwaniem uszkodzenia przewodu DN100 na Osiedlu Konstytucji, wywołanego korozją.

Czas trwania stanu niesprawności przyłączy wodociągowych PsDW w Głubczycach (rys. 9) jest nieznacznie dłuższy (1,29 razy) w odniesieniu do sieci rozdzielczej. Średni czas odnowy dla przyłączy wodociągowych wynosi 10,32 h, jest zaledwie o 3,27 h dłuższy od najmniejszej wartości średniego czasu odnowy odnotowanego na przyłączy z PEHD ( $T_o = 7,04$  h) oraz o 19 minut krótszy od największej średniej wartości czasu odnowy odnotowanego na przyłączy z PCV



Rys. 10.  
Awaria na Osiedlu Konstytucji 3 Maja w Głubczycach



Rys. 11.  
Awaria na ulicy Słowackiego w Głubczycach

( $T_0=10,64$  h). W okresie prowadzonych badań najdłuższy czas odnowy 29,4 h odnotowano na przyłączach stalowych (w dniach 10-11 października 2016 r.), które również charakteryzują się największym czasem usuwania awarii 9,8 h (w dniu 12.01.2015 r.).

Niewątpliwie awarie sieci wodociągowej są zdarzeniami, których dogłębna analiza pozwala na wypracowanie środków bezpieczeństwa minimalizując przedstawione na rys. 10 i 11 negatywne skutki awarii, które miały miejsce na sieci wodociągowej w analizowanym okresie.

## Podsumowanie

Ważnym aspektem dla niezawodności i sprawnej eksploatacji sieci wodociągowej pozostaje czynnik materiałowy wykonania rurociągów. Dóbr odpowiednich materiałów przy budowaniu sieci wodociągowych stanowi o poprawności jej eksploatacji. Przeprowadzone badania wykazały, iż w pełni uzasadnionym jest przy podejmowaniu decyzji o wyborze materiału budującego sieć wodociągową przeprowadzenie analizy uwzględniającej poniższe aspekty:

- walory eksploatacyjne rur (trwałość, szczelność, zachowanie w stosunku do wody, łatwość wymiany elementów, możliwość renowacji),

- wytrzymałość konstrukcyjną,
- podatność na obciążenia i uszkodzenia,
- łatwość montażu (pracochłonność wykonania połączeń, ciężar rur),
- cenę materiału,
- zakres oferty techniczno-asortymentowej.

Fundament działań w zarządzaniu PsDW powinny stanowić szkolenia dla kadry kierowniczej oraz montażowej z zakresu prawidłowej eksploatacji sieci wodociągowej oraz prawidłowego jej wykonania. Ponadto, należy tak planować prace inwestycyjne i remontowe związane z rewitalizacją sieci wodociągowej, aby zredukować jej awaryjność i w konsekwencji zmniejszyć negatywne skutki w postaci przerw w dostawie wody do mieszkańców. Ponadto działania te przyczyniają się do sukcesywnej redukcji strat wody, co ma znaczący wpływ na kondycję finansową przedsiębiorstwa, a w konsekwencji na kształtowanie się cen opłat za wodę.

Najmniejszą awaryjnością w okresie 2015-2020 w PDW Głubczyc charakteryzują się przewody magistralne (0,083 uszk./km-rok). Przewody sieci rozdzielczej (0,635 uszk./km-rok) oraz przyłącza wodociągowe (0,671 uszk./km-rok) charakteryzują się zbliżoną intensywnością uszkodzeń. Przeprowadzone badania wykazały, iż istotnym czynnikiem charakteryzującym stany niesprawności sieci

wodociągowej Głubczyc jest czas odnowy, w tym czas trwania prac przygotowawczych brygad remontowych.

## BIBLIOGRAFIA:

- [1] Ustawa z dnia 7 czerwca 2001r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków (Dz. U. z 2020r. poz. 2028).
- [2] Ustawa z dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym (Dz. U. z 2021 r. poz. 159).
- [3] Kwietniewski M., Rak J.: Niezawodność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce, Polska Akademia Nauk, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej, Instytut Podstawowych Problemów Techniki, Warszawa 2010.
- [4] Szpak D., Tchórzewska-Cieślak B.: Analiza awaryjności sieci wodociągowej w aspekcie bezpieczeństwa funkcjonowania infrastruktury krytycznej, Chemik 2014, 10/2014.
- [5] Świętochowski K.: Awaryjność sieci wodociągowej w województwie dolnośląskim i opolskim, INSTAL 10/2020, s. 42-47 DOI: 10.36119/15.2020/10.7.
- [6] Iwanek M., Suchorab P.: Ocena stanu eksploatacyjnego wybranej sieci wodociągowej, INSTAL 2012, nr 12, s. 39-42.
- [7] Zimoch I.: Niezawodnościowa interpretacja awaryjności podsystemu dystrybucji wody, Czasopismo Techniczne. Środowisko. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki, 2011, z 1-Ś, 211-223.
- [8] International Standard ISO 24516-1 Guidelines for the management of assets of water supply and wastewater systems, Part 1: Drinking water distribution networks
- [9] Rak J.: Problematyka ryzyka w wodociągach, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2014.
- [10] Zimoch I.: Czynniki kształtujące czas usuwania awarii wodociągowej. INSTAL 2009, nr 6, s. 50-52

## WŁADYSŁAW SZAFLIK

PROJEKTOWANIE  
INSTALACJI CIEPŁEJ WODY  
W BUDYNKACH MIESZKALNYCH



Książka jest poświęcona instalacjom ciepłej wody i układom jej przygotowywania. Liczy 294 stron tekstu, bogato ilustrowanego rysunkami, schematami oraz tabelami i stanowi pewne podsumowanie wieloletnich prac prowadzonych w Katedrze Ogrzewnictwa, Wentylacji i Ciepłownictwa Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie (do 2008 roku Politechniki Szczecińskiej).

Prezentowana książka jest pozycją, w której przedstawiono w sposób kompleksowy i uporządkowany najnowsze wyniki badań i stosowane rozwiązania instalacji ciepłej wody i układów służących do jej przygotowywania oraz podano metody obliczeń

# Projektowanie instalacji ciepłej wody w budynkach mieszkalnych

Autor: prof. dr hab. inż. Władysław Szaflik

a także współczesne tendencje i kierunki rozwoju tej dziedziny techniki. Przy jej pisaniu starano się wykorzystać najnowszą wiedzę z tej dziedziny. W książce tej przedstawiono całokształt zagadnień związanych z ciepłą wodą, jej właściwościami, rozprawdzeniem oraz przygotowaniem.

Treść książki została podzielona na 13 rozdziałów, można wyróżnić w niej cztery podstawowe części.

Książka była recenzowana, jeden z recenzentów książki, profesor dr hab. inż. Janusz Jeżowiecki z Politechniki Wrocławskiej napisał o niej:

„Aktualność tematu monografii i potrzeba jej opublikowania nie budzą najmniejszych wątpliwości, bo m.in. w pełni prawdziwa jest zawarta w przedmowie informacja Autora, że dotyczące tej samej tematyki poprzednie krajowe dzieło zwarte zostało wydane w 1981 r., czyli przed 26 laty (Mańkowski S.: Projektowanie instalacji ciepłej wody użytkowej, Arkady, Warszawa 1981). Jeśli wraz z tym okresem uzmysłowi się odpowiadający mu ogromny postęp nauki, technologii i praktyki we wszystkich obszarach techniki, także w budownictwie do którego w szerokim rozumieniu należą instalacje ciepłej wody, to pojawienie się na polskim rynku wydawniczym opinionej pracy nabiera szczególnie dużego pozytywnego znaczenia”.

Drugi z recenzentów książki, profesor dr hab. inż. Halina Koczyk z Politechniki Poznańskiej w swojej opinii napisała na jej temat:

„Praca dotyczy ważnej problematyki związanej z zaopatrzeniem budynków w szczególności mieszkalnych, w ciepłą wodę. Jest to ważny składnik zużycia ciepła, którego względny udział w całkowitym zużyciu stale rośnie w stosunku do zapotrzebowania na cele ogrzewania w wyniku polepszenia izolacyjności cieplnej przegród budynku. Racjonalne projektowanie, wykonanie i właściwa eksploatacja układów do przygotowania i rozprawdzenia ciepłej wody jest problemem bardzo ważnym z punktu widzenia technicznego, ekonomicznego i ekologicznego. Pozwala ograniczyć nadmierne zużycie energii pierwotnej (np. poprzez wykorzystanie energii słonecznej, indywidualne rozliczanie zużycia ciepła przez użytkowników itp.) przyczynia się do mniejszego zanieczyszczenia środowiska produktami spalania oraz zmniejsza koszty eksploatacyjne.”

W oparciu o analizę pracy pt. "Projektowanie instalacji ciepłej wody w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych" stwierdzam, że przedstawia ona całokształt zagadnień związanych z ciepłą wodą, jej przygotowaniem, rozprawdzeniem i właściwościami, posiada znaczącą wartość merytoryczną, prezentuje nowoczesne rozwiązania układów instalacyjnych zgodnie z aktualnym stanem wiedzy techniki. Przedstawia zasady doboru elementów instalacji zgodnie z regulami sztuki inżynierskiej oraz w nawiązaniu do nowoczesnych rozwiązań.”

Cena 1 egz.: 60 zł + 5% VAT.

Zamówienia przyjmuje: Ośrodek Informacji "Technika instalacyjna w budownictwie"

02- 674 Warszawa, ul. Marynarska 14, tel./fax 22-843 77 71; e-mail: wydawnictwo@informacjainstal.com.pl

Organizator:

Politechnika  
Śląska

Patronat medialny:

INSTAL



technologia wody

zaprasza do udziału w II części:

**X OGÓLNOPOLSKIEJ KONFERENCJI NAUKOWO - TECHNICZNEJ**  
**Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody**  
**3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON SCIENCE AND TECHNOLOGY**  
**Current issues in water treatment and water distribution**

objętej patronatem naukowym Sekcji Inżynierii Sanitarnej Komitetu Inżynierii  
 Łądowej i Wodnej PAN, która odbędzie się w dniach 11- 12 października 2021 roku w Brennej.

Konferencja będzie okazją do kontynuowania dyskusji rozpoczętej podczas zdalnych, kwietniowych obrad  
 na temat:

**Przyszłości sektora i wyzwań wynikających z nowej Dyrektywy Rady i Parlamentu 2020/2184  
 z dnia 16.12.2020 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.**

Integralnym elementem Konferencji będą warsztaty dotyczące opracowywanie i wdrażania systemów  
 zarządzania ryzykiem zgodnie z wytycznymi WHO i normą Europejską PN-EN 15975-2:2013-12 –  
 „Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę do spożycia– Wytyczne dotyczące zarządzania kryzysowego i ryzyka  
 – Część 2: Zarządzanie ryzykiem”. Warsztaty wpisują się w nowe podejście do bezpieczeństwa wody, oparte  
 na zarządzaniu ryzykiem w zaopatrzeniu w wodę, nakładające odpowiedzialność i obowiązki zarówno na  
 organy rządowe, samorządowe i dostawców wody. Publikacje prac prezentowanych podczas obrad  
 konferencji, zakwalifikowane przez Komitet Naukowy będą publikowane w monografii wydawnictwa  
 Politechniki Śląskiej oraz w czasopiśmie Applied Water Science and Environment Science and Pollution  
 Research (lita MNISW 70 pkt).

Więcej informacji na:

<http://www.konferencje.polsl.pl/woda2020>

Organizator:

Politechnika  
Śląska

Już w październiku 2021 roku rozpoczyna się kolejna edycja studiów podyplomowych

**Systemy Bezpieczeństwa Zaopatrzenia w Wodę**

Czekamy na Ciebie - rekrutacja elektroniczna rozpoczęła się w czerwcu!

Studia odpowiadają na aktualne wyzwania wynikające z nowej DWD 2020/2184, polegające na  
 kompleksowym zarządzaniu ryzykiem w zaopatrzeniu w wodę, uwzględniającym aspekty  
 prawne, organizacyjne, środowiskowe, techniczno-technologiczne i zdrowotne. Program  
 studiów zgodnie z zaleceniami DWD, obejmuje wszystkie elementy Planów Bezpieczeństwa  
 Wody, według zaleceń Wytycznych WHO i normy europejskiej PN-EN 15975-2:2013-12 –  
 „Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę do spożycia – Wytyczne dotyczące zarządzania  
 kryzysowego i ryzyka – Część 2: Zarządzanie ryzykiem”.

Efekty kształcenia nabyte w toku studiów podyplomowych są szczególnie ważne, nie tylko dla  
 nowoczesnego zarządzania przedsiębiorstwem wodociągowym, nadzorowania przez gminy  
 jakości świadczonych usług, ale także dla zrównoważonego rozwoju społeczno-gospodarczego  
 kraju.

**Termin – październik 2021 r. – czerwiec 2022 r.** (2 semestry)**Koszt - 2200 zł za 1 semestr** (całość 4 400 zł)

Szczegółowe informacje na temat studiów dostępne są na stronie internetowej:

<http://ise.polsl.pl/system-bezpieczenstwa-zaopatrzenia-w-wode.html>

lub pod telefonem:

Sekretariat: Aleksandra Bernaczek – 32 237 26 98

Kierownik Studiów Podyplomowych: Izabela Zimoch – 606 62 41 96

**To studia właśnie dla Ciebie – zapraszamy!**Kierownik Studiów Podyplomowych  
Prof. dr hab. inż. Izabela Zimoch**RYZYKO**

Rekrutacja elektroniczna



# Druga edycja studiów podyplomowych – rekrutacja na rok akademicki 2021/2022 trwa Systemy Bezpieczeństwa Zaopatrzenia w Wodę To studia dla Ciebie

prof. dr hab. inż. Izabela Zimoch



Fot. 1.  
Obrona prac dyplomowych - zakończenie Studiów Podyplomowych – czerwiec 2019 r.

W czerwcu 2019 r. pierwsi absolwenci ukończyli roczne studia podyplomowe „**Systemy Bezpieczeństwa Zaopatrzenia w Wodę**”, poświęcone zarządzaniu ryzykiem w zaopatrzeniu w wodę. Studia te zostały zorganizowane przez Katedrę Inżynierii Wody i Ścieków na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach z myślą o przygotowaniu kadr do przeprowadzania ocen ryzyka i wprowadzania Planów Bezpieczeństwa Wody (PBW). Oczekiwane od wielu lat zakończenie prac legislacyjnych nad nową dyrektywą w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (DWD), miało miejsce 16 grudnia 2020 r., przyjęciem przez Komisję Europejską i Radę Europy Dyrektywy 2020/2184, która weszła w życie 12 stycznia bieżącego roku. Tak więc, systemy zarządzania ryzykiem oparte na Normie Europejskiej PN-EN 15975-2: 2013-12 *Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę do spożycia* z dniem 13 stycznia 2023 r. staną się powszechnie obowiązujące, co będzie wynikiem transpozycji do polskiego prawodawstwa zapisów dyrektywy.

Uczestnicy pierwszej edycji studiów (fot.1) mieli możliwość zdobycia interdyscyplinarnej wiedzy dotyczącej zarówno identyfikacji sytuacji i zdarzeń niebezpiecznych mogących mieć wpływ na wystąpienie zagrożeń zdrowotnych, jak i ryzyka jakie niosą one dla zdrowia publicznego. Zdobytą wiedzę, skutecznie wdrażając do codziennej praktyki funkcjonowania w swoich przedsiębiorstwach, a osiągniętymi sukcesami mieli okazję podzielić się podczas debaty Forum Wodociągowców, która odbyła się w dniu 22 kwietnia w Politechnice Śląskiej. W ramach tej debaty *p.n. Zarządzanie ryzykiem dostaw wody - problemy, wyzwania i oczekiwania*, poświęconej kluczowym zagadnieniom nowej dyrektywy 2020/2184, aktywny udział wzięli absolwenci pierwszej edycji tychże studiów: Pani Aleksandra Górka zastępca Kierownika Laboratorium, Koordynator ds. bezpieczeństwa wody, MPECWiK Sp. z o.o. w Środzie Wielkopolskiej, Pan Sylwester Myga, dyrektor Techniczny RPWiK w Zawierciu oraz Pani Karolina Tatar również z RPWiK w Zawierciu. Pani Aleksandra Górka w swoim wystąpieniu pt. *Doświadczenia przy wdrażaniu Planu bezpieczeństwa wody w Miejskim Przedsiębiorstwie Energetyki Ciepłej, Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. w Środzie Wielkopolskiej*, przedstawiła początki wdrażania Planu Bezpieczeństwa Wody w swojej Spółce i uzyskanymi już po dwóch latach korzyściami.

Opracowany program studiów, przez specjalistów i ekspertów, biorących udział w pracach nad opiniowaniem ze strony polskiej DWD 2020/2184, uwzględniła najnowszą wiedzę z zakresu uwarunkowań prawnych, środowiskowych, technicznych i technologicznych, organizacyjnych, zdrowotnych oraz zarządzania kryzysowego, niezbędną do skutecznego zarządzania ryzykiem, opartego na minimalizowaniu ryzyka związanego z potencjalnymi zdarzeniami niebezpiecznymi oraz wynikających z nich zagrożeń, jak i ewentualnych skutków

ich wystąpienia. Program przewiduje 187 godzin zajęć teoretycznych (wykłady, ćwiczenia, seminaria) odbywających się w trakcie sobotnio-niedzielnich zjazdów oraz w trybie online. Liczba zajęć stacjonarnych uzależniona będzie od aktualnej sytuacji epidemiologicznej. Będą one także nagrywane i udostępniane uczestnikom, którzy nie będą mogli brać aktywnego udziału w zajęciach. Jeśli z powodu przedłużającej się pandemii Covid-19 zajęcia stacjonarne nie będą mogły się odbywać, zajęcia zostaną przeprowadzone w formie webinarium. Oprócz zajęć teoretycznych, dla osób zainteresowanych planowana jest wizyta studyjna na wybranym obiekcie (studenci I edycji mieli okazję odwiedzić ujęcie powierzchniowe w Dobczycach, zaopatrujące w wodę znaczną część Krakowa). Zarówno zajęcia teoretyczne jak i wyjazdowe są także okazją do bliższego nawiązania kontaktów, wymiany doświadczeń oraz dyskusji o problemach związanych z realizacją zaopatrzenia w wodę, napotykanym w przedsiębiorstwach wodociągowych, stacjach sanitarno-epidemiologicznych, urzędach miast i gmin.

Politechnika Śląska, jako uczelnia kładąca szczególny nacisk na przygotowywanie kadr zgodnym z aktualnym zapotrzebowaniem regionu i kraju oraz ze względu na bardzo duże zainteresowanie zmianami wynikającymi z nowej DWD 2020/2184 (zarządzanie ryzykiem, nowe parametry wskaźnikowe, nowe podejście do nadzoru nad materiałami przeznaczonymi do kontaktu z wodą, poprawę dostępu do wody i poszerzony zakres informowania konsumentów), uruchamia w roku akademickim 2021/2022 kolejną edycję studiów podyplomowych „**Systemy bezpieczeństwa zaopatrzenia w wodę**”, na które elektroniczna rekrutacja rozpoczęła się w czerwcu br.

Gwarantujemy wysoką jakość, najnowsze metody kształcenia oraz praktyczne podejście do merytorycznego zakresu programu studiów.

<b>Rekrutacja na studia:</b>	od 1.06.2021 odbywa się przez system elektroniczny <a href="http://irk.polsl.pl">irk.polsl.pl</a>
<b>Termin:</b>	październik 2021 r. – czerwiec 2022 r. (2 semestry)
<b>Cena:</b>	2200 zł za 1 semestr (całość 4 400 zł)
<b>Szczegóły na stronie internetowej:</b>	<a href="http://ise.polsl.pl/system-bezpieczenstwa-zaopatrzenia-w-wode.html">http://ise.polsl.pl/system-bezpieczenstwa-zaopatrzenia-w-wode.html</a>
<b>lub pod telefonem</b>	Sekretariat: Aleksandra Bernaczek – 32 237 26 98 Kierownik Studiów Podyplomowych: Izabela Zimoch – 606 62 41 96

**To studia właśnie dla Ciebie – zapraszamy!**



# Propozycja metody diagnostycznej dla sieci wodociągowej

Proposal of diagnostic method for distribution network

DARIUSZ KOWALSKI, BEATA KOWALSKA, PAWEŁ SUCHORAB

DOI 10.36119/15.2021.7-8.8

W artykule zaprezentowano koncepcję oraz efekty 3-miesięcznego wdrożenia autorskiej metody detekcji stanów anormalnych w rzeczywistym wodociągu. Długość przewodów rozpatrywanego wodociągu wynosi ok. 260 km. Wydzielono w nim 24 strefy ciśnienia. Wodociąg zawiera jedno ujęcie, 7 zbiorników sieciowych oraz 15 pompowni strefowych. Istotą prezentowanej metody jest integracja modelu numerycznego (opracowanego w programie WaterGems) oraz funkcjonującego monitoringu wykorzystującego system SCADA. Dane pozyskane z monitoringu są na bieżąco porównywane z wynikami symulacji. W przypadku gdy różnice pomiarów i obliczeń symulacyjnych przekraczają założone wartości graniczne generowany jest alarm powiadamiający dyspozytora. Dzięki temu rozwiązaniu dyspozytor nie musi stale śledzić wskazań wszystkich zainstalowanych czujników monitoringu. Dodatkowo wdrożona metoda diagnostyczna pozwala na ocenę wielkości wycieków.

*Słowa kluczowe: wodociąg, model numeryczny, awarie, metoda diagnostyczna*

The aim of this paper is to present the detecting abnormal conditions system, including its concepts and effects after 3-month period operation. The analysed water supply system, of total pipe length equal to approx. 260 km, consists of 24 pressure zones, 7 water tanks and 15 water pumping stations. The essence of the system is the integration of numerical model (developed in Bentley WaterGems software) and SCADA monitoring system. The monitoring data are constantly compared to simulation results and when accepted compliance limits are exceeded the appropriate alerts are generated. Such solution cause that the WSS operator does not need to analyse SCADA system indications constantly. The additional application of the system enables the detection of water leakages.

*Keywords: water network, numerical model, failures, diagnostic method*

## Wstęp

Głównym celem funkcjonowania przedsiębiorstw wodociągowych jest zaopatrzenie w wodę odbiorców. Dostarczana do nich woda musi być podawana w odpowiedniej ilości i pod odpowiednim ciśnieniem. Musi być także bezpieczna pod względem zdrowotnym [1]. Z drugiej strony przedsiębiorstwa wodociągowe, aby sprawnie funkcjonować muszą być efektywne ekonomicznie. Oznacza to konieczność ograniczania kosztów energetycznych, zmniejszania strat wody, jak również podnoszenia niezawodności pracy systemów przesyłających wodę [2-5]. Wymagania powyższe wymuszają na przedsiębiorstwach wodociągowych stałą rozbudowę systemów monitoringu. Monitoring ten obejmuje między innymi warunki hydrauliczne pracy wodociągów, jakość przesyłanej przez nie wody, jak również pobór zużycia energii [6,7].

Związana z monitoringiem liczba zainstalowanych czujników, a tym samym

ilość zbieranych danych wciąż rośnie. W wielu przypadkach operatorzy systemów zaopatrzenia w wodę osiągnęli już granicę percepcji analizowania informacji. Przedsiębiorstwa wodociągowe zmuszone są więc wyposażać dyspozytorów w systemy wspomaganie decyzji [8]. Systemy te z czasem zaczęły przekształcać się w quasi inteligentne (*smart systems*). Mianem tym określane są systemy integrujące zestaw narzędzi i oprogramowania, które umożliwiają zakładom wodociągowym zdalne i ciągłe monitorowanie, diagnozowanie problemów, ustalanie priorytetów i zarządzanie problemami związanymi z utrzymaniem oraz wykorzystanie danych do optymalizacji wszystkich aspektów eksploatacji systemów dystrybucji wody [9]. Istnieje wiele innych definicji takich systemów [10]. We wszystkich jednak podkreśla się kluczową rolę diagnostyki pracy wodociągów i alarmowanie operatora o wystąpieniu stanów awaryjnych. Realizacja tych zadań wymaga integracji systemu monitoringu, analizy zbieranych

danych pomiarowych oraz systemu informatycznego rozpoznającego stany awaryjne [11,12]. Pierwsza grupa powyższych zadań realizowana jest już powszechnie przez systemy SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). Znacznie trudniej spotkać w przedsiębiorstwach wodociągowych wdrożone systemy informatyczne rozpoznające stany awaryjne. Brakuje zarówno standardów rozpoznawania tych stanów jak i niezbędnego oprogramowania. Systemy diagnostyczne najczęściej wdraża się etapami, zależnie od możliwości finansowych przedsiębiorstw wodociągowych. Jako pierwsze instalowane są najczęściej systemy detekcji wycieków. Jednak i tutaj wciąż poszukiwane są nowe metody ich wykrywania [13,14].

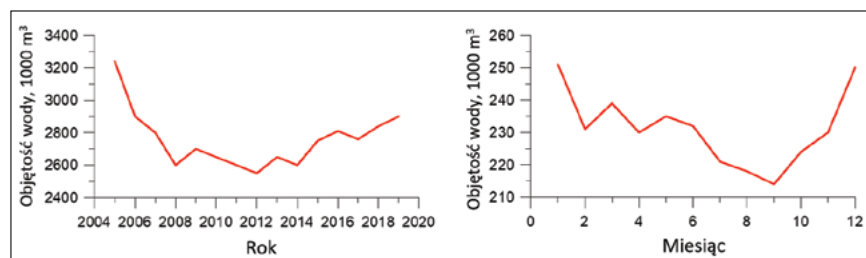
Celem artykułu jest prezentacja opracowanej przez Autorów metody diagnostycznej, wspomagającej proces podejmowania decyzji eksploatacyjnych przez operatora wodociągu. W chwili obecnej metoda obejmuje detekcję wycieków oraz ocenę wielko-

dr hab. inż. Dariusz Kowalski, <https://orcid.org/0000-0001-9929-1626>; prof. dr hab. inż. Beata Kowalska, <https://orcid.org/0000-0003-2489-1904>; mgr inż. Paweł Suchorab, <https://orcid.org/0000-0001-9275-4800> – Politechnika Lubelska, Wydział Inżynierii Środowiska, Lublin. Adres do korespondencji/ Corresponding author: [d.kowalski@pollub.pl](mailto:d.kowalski@pollub.pl).

ści strat wody. Wdrożono ją w istniejącej, wielostrefowej sieci wodociągowej. W artykule zaprezentowano efekty pilotażowego, obejmującego pierwsze 3 miesiące, funkcjonowania metody. Wskazano jej zalety, jak również zidentyfikowane niedoskonałości i wymagane korekty oraz kierunki dalszej rozbudowy.

## Opis systemu wodociągowego

Przedstawiona w artykule metoda diagnostyczna została wdrożona w istniejącym systemie wodociągowym miasta liczącego ok. 30 000 mieszkańców, zlokalizowanego na terenie górzystym. Poza historycznym centrum miasta gęstość zabudowy jest niewielka. Zdarzają się przez to sytuacje, w których wypływ wody na powierzchnię na skutek rozszczelnienia wodociągu pozostaje niezauważony przez kilka do kilkunastu dni. W ciągu doby do systemu tłoczone jest średnio 5320 m<sup>3</sup> wody, pochodzącej z pojedynczego ujęcia. Zmienność sezonowa tłoczenia wody jest stosunkowo niewielka – rys. 1.



Rys. 1. Objętość wody tłoczonej do systemu wodociągowego – po lewej roczna, po prawej średnia miesięczna w latach 2010-2019

Fig. 1. Volume of water pumped into the water supply system – yearly (left) and monthly (right) mean in 2010-2019

Różnica pomiędzy wartościami maksymalnymi i minimalnymi odniesiona do średniej arytmetycznej zgodnie ze wzorem:

$$n = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\text{over}}} \cdot 100\% \quad (1)$$

wyniosła 24% dla objętości rocznych oraz 17% dla miesięcznych.

Całkowita długość przewodów sieci wodociągowej bez przyłączy wynosi ok. 260 km. Ze względu na znaczne różnice wysokościowe poszczególnych rejonów miasta, przekraczające 150 m, sieć wodociągową podzielono na 24 strefy ciśnienia. Związane to było z koniecznością zainstalowania 7 zbiorników sieciowych oraz 15 pompowni strefowych. Wszystkie zbiorniki sieciowe zlokalizowane są na początku wydzielonych stref zaopatrzenia w wodę. Pomimo wdrożonego podziału na strefy, w niektórych miejscach sieci wysokość ciśnienia przekracza 120 mH<sub>2</sub>O.

Do budowy sieci wykorzystano rury wykonane z żeliwa szarego, stali, PVC, PEHD oraz azbesto-cementu. Najstarsze rurociągi, w wieku ponad 40 lat, stanowią ok. 33% długości sieci. Schemat struktury sieci wraz z lokalizacją pompowni i zbiorników sieciowych przedstawiono na rysunku 2.

Ze względu na niezadawalający stan techniczny najstarszych rurociągów oraz lokalnie wysokie ciśnienie, poziom strat wody w analizowanej sieci wodociągowej jest wysoki i wynosi około 38%. W chwili rozpoczęcia projektu lokalne przedsiębiorstwo wodociągowe nie miało pełnej świadomości rozkładu przestrzennego tych strat. Wynikało to z:

- funkcjonującego systemu odczytu wodomierzy (raz na 2 miesiące),
- funkcji tranzytowej, w stosunku do innych, 6 z 24 stref,
- funkcjonowania okresowo napełnianych zbiorników sieciowych,
- braku odpowiedniej liczby przepływomierzy i manometrów sieciowych.

Biorąc powyższe pod uwagę przedsiębiorstwo nie miało możliwości szybkiego

wykrywania dużych awarii, przez co musiało polegać na sygnałach od odbiorców sieci. Wszystkie powyższe czynniki skłoniły władze przedsiębiorstwa do podjęcia próby wdrożenia systemu, który pozwalałby na szybkie diagnozowanie stanów awaryjnych.

Rozwiązując powyższe problemy przedsiębiorstwo wodociągowe zdecydowało się na rozbudowę systemu monitoringu. W początkowej fazie projektu wdrożono system zdalnego odczytu wodomierzy. System ten umożliwia bezpośrednią transmisję danych z wodomierzy do centrum dyspozytorskiego, z wykorzystaniem sieci telefonii komórkowej GSM. Odczyty mogą być realizowane w programowalnych krokach czasowych (od 5 minut do 30 dni).

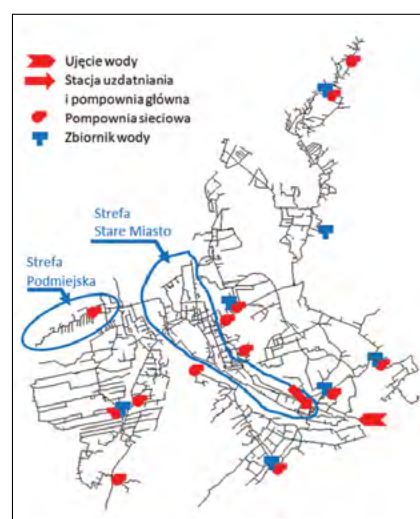
Dodatkowo zwiększono liczbę sieciowych czujników pomiarowych. Obecnie pomiary wysokości ciśnienia i natężenia przepływu realizowane są przez 58 manometrów oraz 41 przepływomierzy. Wszystkie zbiorniki sieciowe wyposażono w przepływomierze rejestrujące wodę dopływającą i odpływającą. Rozbudowany przez przedsiębiorstwo system monitoringu obejmuje także pomiar napełnienia wszystkich zbiorników wodociągowych. Wszystkie urządzenia pomiarowe zostały zintegrowane w systemie SCADA.

Kolejnym krokiem zrealizowanym przez przedsiębiorstwo była budowa bazy GIS obejmującej wszystkie obiekty i urządzenia analizowanego systemu wodociągowego. Dodatkowo baza zawiera odczyty wodomierzy oraz zapewnia elektroniczny obieg dokumentów przedsiębiorstwa. Powstała baza danych pracuje w standardzie zaproponowanym przez firmę ESRI.

Po uruchomieniu rozbudowanego systemu monitoringu pojawił się problem z interpretacją wskazań czujników sieciowych. Dyspozytorzy mieli trudności z szybkim rozpoznawaniem stanów awaryjnych pracy systemu wodociągowego, szczególnie w sytuacji ciągłego występowania znaczących strat wody. W związku z powyższym przedsiębiorstwo wodociągowe podjęło kroki w celu opracowania metody diagnostycznej, która bazowałaby na już wdrożonych rozwiązaniach i wspomagałaby pracę dyspozytorów.

## Opis systemu diagnostycznego

Opracowana przez autorów artykułu, przy współpracy z firmą MEGABIT z Warszawy, koncepcja metody diagnostycznej musiała uwzględniać ograniczone możliwości finansowe przedsiębiorstwa. Bazujący na tej metodzie system diagnostyczny musi być zatem traktowany jako znajdujący



Rys. 2. Schemat struktury geometrycznej sieci wodociągowej wraz z lokalizacją ujęcia, pompowni oraz zbiorników sieciowych

Fig. 2. Scheme of the geometrical structure of a water supply system with the location of the intake, pumping station and network tanks

cy się w trakcie tworzenia i możliwy do rozbudowy w przyszłości. Uruchomiono go na początku 2020 r. System wciąż znajduje się jeszcze w fazie testowania i strojenia. Za podstawę systemu autorzy przyjęli powstałą wcześniej bazę GIS, która pełni rolę integrującą funkcjonujący system SCADA i zdalny odczyt wodomierzy. W bazie tej utworzono dwie dodatkowe warstwy opisujące zmierzony pobór wody oraz status (zamknięta/otwarta) zasuw sieciowych. Dodatkowo z bazą powiązано model numeryczny rozpatrywanego wodociągu.

Schemat ideowy pracy tak powstałego narzędzia informatycznego przedstawiono na rysunku 3. W obecnej konfiguracji narzędzie ukierunkowano na realizację dwóch zadań: ocenę wielkości strat wody oraz detekcję i lokalizację dużych jej wycieków. Centrum integrującym wszystkie działania informatyczne jest baza danych GIS. Integrację uzyskano poprzez konsekwentne przypisywanie jednakowych adresów poszczególnych obiektów sieciowych, wodomierzy i czujników monitoringu, we wszystkich modułach powstałego narzędzia informatycznego. Dzięki temu poszczególne moduły w ułatwiony sposób udostępniają lub pobierają dane z bazy danych.

Pierwsze zadanie narzędzia – ocenę wielkości strat wody oparto o bilansowa-

ści rośnie w przypadku lokalizacji w danej strefie zbiornika sieciowego oraz w przypadku pełnienia przez strefę roli tranzytu wody do innych stref. W związku z powyższym ocenę wielkości strat wody oparto o następujące wzory: dla stref typu DMA,

$$Q_L = Q_{IN} - Q_T - Q_{WM} \quad (2)$$

dla stref tranzytowych

$$Q_L = Q_{IN} - Q_T - Q_{TRAN} - Q_{WM} \quad (3)$$

gdzie:

$Q_L$  – objętość wody traconej,

$Q_{IN}$  – objętość wody wtłoczonej,

$Q_T$  – objętość wody zużywanej na cele technologiczne,

$Q_{WM}$  – objętość wody zarejestrowana przez wodomierze odbiorców,

$Q_{TRAN}$  – objętość wody przesyłanej do innych stref.

Wyposażenie wszystkich zbiorników w przepływomierze rejestrujące dopływ i odpływ wody pozwoliło na znaczne uproszczenie obliczeń bilansowych. Napełnianie zbiornika liczone jest jako objętość wody przesyłanej do strefy, której początek stanowi zbiornik. Odpływ ze zbiornika stanowi jednocześnie objętość wody tłoczonej do tej strefy.

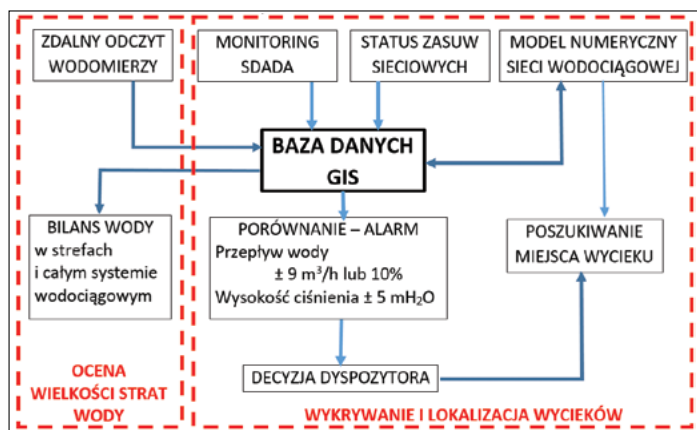
$Q_{IN-Zone}$  – objętość wody tłoczonej do danej strefy,

$Q_{L-Total}$  – objętość wody traconej w całym systemie wodociągowym.

Drugie zadanie narzędzia diagnostycznego oparto o realizowaną za pośrednictwem bazy GIS współpracę systemu SCADA i modelu numerycznego sieci wodociągowej. Kluczowym elementem jest tu ciągłe porównywanie wyników obliczeń symulacyjnych ze wskazaniami czujników monitorujących pracę systemu wodociągowego. Porównanie to obejmuje wszystkie zainstalowane czujniki jednocześnie. Jako dopuszczalną różnicę pomiędzy obliczeniami i pomiarami przyjęto  $\pm 5.0 \text{ mH}_2\text{O}$  wysokości ciśnienia oraz  $\pm 9,0 \text{ m}^3/\text{h}$  (25% wymaganej wydajności hydrantu pożarowego) lub  $\pm 10\%$  natężenia przepływu wody. Próg 10% przewidziano w miejscach, w których natężenie przepływu jest na tyle duże, że różnica  $9,0 \text{ m}^3/\text{h}$  jest bliska błędowi pomiarowemu zainstalowanych czujników monitoringu. W przypadku kiedy obliczona różnica pomiędzy wynikami obliczeń symulacyjnych a wskazaniami czujników pomiarowych przekracza powyższe progi narzędzie generuje alarm powiadamiający dyspozytora o potencjalnej sytuacji awaryjnej. W dalszej kolejności dyspozytor podejmuje decyzję o anulowaniu alarmu lub o wdrożeniu procedury poszukiwania wycieku z wykorzystaniem do tego celu specjalizowanego modułu modelu numerycznego sieci wodociągowej.

Pozostawienie dyspozytorowi obu powyższych decyzji wynikało z faktu wciąż nieuporządkowanego systemu eksploatacji, w tym przede wszystkim zmiennych godzin napełniania zbiorników sieciowych. W trakcie normalnej eksploatacji zdarzają się także sytuacje związane z prowadzeniem działań na sieci przez brygady remontowe, które wymagają zmian w ukierunkowaniu przepływu wody sieciowej i czasowego wyłączenia niektórych jej przewodów z użytkowania. Powstałe wówczas alarmy wynikałyby ze zmienionej, a nie nieprawidłowej, pracy sieci.

W trakcie budowy narzędzia diagnostycznego konieczne okazało się zastosowanie uśredniania zbieranych danych pomiarowych. Zainstalowany system monitoringu funkcjonuje z krokiem czasowym wynoszącym 10 sekund. Chwilowe wzrosty/spadki mierzonych parametrów nie powinny jednak generować alarmów. W związku z tym, w porozumieniu z przedsiębiorstwem wodociągowym, podjęto decyzję o uśrednieniu wyników pomiarów w okresach 20-minutowych. Okresy te skorelowano z krokiem czasowym modelu numerycznego.



Rys. 3. Schemat ideowy proponowanego narzędzia diagnostycznego Fig. 3. Schematic diagram of the proposed diagnostics system

nie wskazań przepływomierzy zasilających poszczególne strefy wodociągu, z odczytami wodomierzy odbiorców przypisanych do tej strefy. Krok czasowy bilansowania związany jest z zaprogramowaną częstością odczytów wodomierzy i może wynosić od 5 minut do 30 dni. Biorąc pod uwagę żywotność baterii zasilających zdecydowano o przyjęciu kroku czasowego odczytów równego jednej dobie. Strały wody oceniane są jako różnica objętości wody wtłoczonej i pobranej przez odbiorców danej strefy. Jest to zadanie łatwe w przypadku stref typu DMA (District Meter Area). Stopień jego trudno-

Zastosowany algorytm oceny wielkości strat wody umożliwia nie tylko określenie objętości traconej wody w poszczególnych strefach ale także ocenę wyrażoną w procentach w stosunku do objętości wody tłoczonej do danej strefy ( $\delta_{Zone}$ ) oraz do całego systemu ( $\delta_{Z/T}$ ):

$$\delta_{Zone} = \frac{Q_{L-Zone}}{Q_{IN-Zone}} \cdot 100\% \quad (4)$$

$$\delta_{Z/T} = \frac{Q_{L-Zone}}{Q_{L-Total}} \cdot 100\% \quad (5)$$

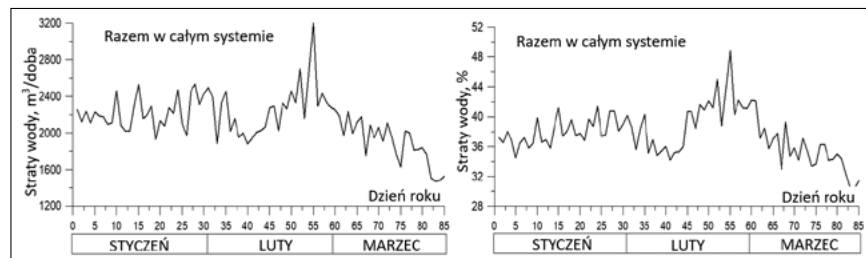
gdzie:

$Q_{L-Zone}$  – objętość strat wody w danej strefie,

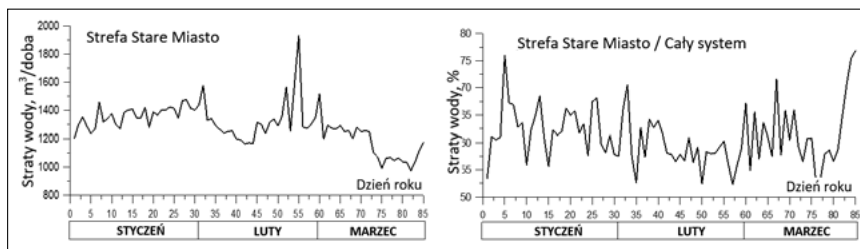
Jednym z ważniejszych elementów opisywanego narzędzia diagnostycznego jest model numeryczny. Do jego budowy wykorzystano oprogramowanie Water-Gems firmy Bentley [15], ze względu na kompatybilność z istniejącą bazą GIS, zautomatyzowaną procedurę kalibracyjną oraz wyposażenie w specjalizowany moduł umożliwiający poszukiwanie wycieków. Budowa modelu oparta została o automatyczną konwersję danych pochodzących z zasobów bazy GIS. Model obejmuje wszystkie przewody sieciowe oraz największe przyłącza. Przy budowie modelu niezbędne charakterystyki pompowni, nastawy zaworów redukcyjnych oraz charakterystyki zbiorników sieciowych przypisywano ręcznie. Tak powstała wersja modelu wymaga jednak okresowej aktualizacji związanej ze zmianami wielkości poboru wody (*base demand*) jak również ze zmianami statusu zasuw sieciowych. Zbudowane narzędzie informatyczne umożliwia przeprowadzenie tych aktualizacji w sposób częściowo zautomatyzowany, wymagający od operatora kilku odpowiednich komend. Przed wdrożeniem model został poddany dwukrotnie procesowi kalibracji, z uwzględnieniem pomiarów chropowatości zastępczej wybranych przewodów sieciowych oraz testów hydrantowych. Proces kalibracji przeprowadzono zgodnie ze standardami AWWA [16].

### Wyniki i dyskusja

Przedstawiona powyżej metoda i powstałe narzędzie diagnostyczne zostały testowo uruchomione na początku 2020 roku. Trzy-miesięczny okres obserwacji traktowano jako pilotaż, którego celem było sprawdzenie poprawności działania, jak również identyfikacja problemów związanych z tym funkcjonowaniem oraz zaplanowanie stosownej modyfikacji narzędzia. Wykazana przez niego wielkość strat wody była zmienna w ciągu analizowanego 3-miesięcznego okresu (rys. 4). Wystąpiło w tym czasie 12 znaczących awarii sieciowych. Największa



Rys. 4. Objętość wody traconej w całym analizowanym systemie wodociągowym w roku 2020 – po lewej m<sup>3</sup>, po prawej % produkcji wody  
Fig. 4. Volume of water lost in the entire water supply system in 2020 – in m<sup>3</sup> (left) in % of water production (right)

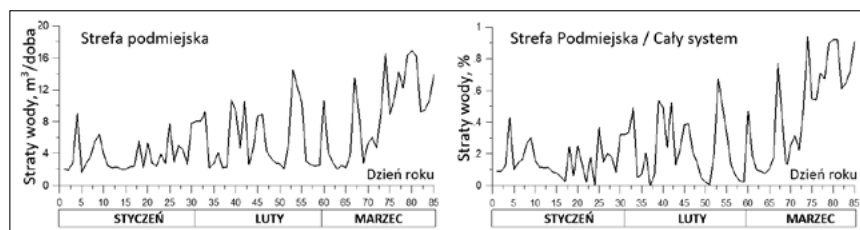


Rys. 5. Wielkość strat wody w strefie „Stare Miasto” – po lewej m<sup>3</sup>, po prawej udział procentowy ( $\delta_{z/r}$ ) w stosunku do strat całego systemu wodociągowego  
Fig. 5. Water losses in the “Stare Miasto” zone, in m<sup>3</sup> (left), as percentage ( $\delta_{z/r}$ ) in relation to the losses in the entire water supply system (right)

z nich miała miejsce 26-go marca.

Wdrożenie systemu diagnostycznego pozwoliło na identyfikację stref odpowiedzialnych za większość powstających strat wody. Przykładowo strefa centralna – „Stare Miasto” generowała do 75% strat całego systemu (rys. 5).

Strefy znajdujące się na obrzeżach miasta odpowiedzialne były za znacznie mniej traconej wody. Przykład wskazań systemu diagnostycznego dla jednej z takich stref przedstawiono na rys. 6. Strefa ta generowała mniej niż 1% strat określonych dla całego systemu.



Rys. 6. Wielkość strat wody w Strefie podmiejskiej – po lewej m<sup>3</sup>, po prawej udział procentowy ( $\delta_{z/r}$ ) tych strat w stratach całego systemu wodociągowego  
Fig. 6. Water losses in Suburb zone – in m<sup>3</sup> (left), as percentage ( $\delta_{z/r}$ ) in relation to the losses in the entire water supply system (right)

Identyfikacja		Stan		Stan aktualny		Dane techniczne	
Objekt	Pompownia główna	Tekst	Flow increase	Tekst	Wzrost przepływu	Alarm ID	Dane prawidłowe
Parametr	Średni przepływ 20	Dane pomiar	75.0	Pomiar	165.0	Objekt ID	76243
Czas	30/03/2020 02:03	Model	34.2	Model	179.8	Parametr ID	106457
Uwagi						Pomiar ID	30010100
						Pomiar ID	1170470984

Historia							
Czas zapisu	Czas pomiaru	Opis	Problem	Pomiar	Model	Różnica	Różnica %
30/03/2020 02:03	30/03/2020 01:59	Wzrost przepływu	12	75.0	34.2	40.8	119.3
30/03/2020 02:23	30/03/2020 02:19	Wzrost przepływu	12	75.0	15.9	59.1	371.1
30/03/2020 02:43	30/03/2020 02:39	Wzrost przepływu	12	63.0	13.1	49.9	380.9
30/03/2020 03:03	30/03/2020 02:59	Wzrost przepływu	12	72.0	15.9	56.1	352.8
30/03/2020 03:03	30/03/2020 03:19	Wzrost przepływu	12	72.0	14.4	57.6	400.0
30/03/2020 03:23	30/03/2020 03:39	Wzrost przepływu	12	60.0	10.6	449.4	433.0
...	...	...	...	...	...	...	...
30/03/2020 06:43	30/03/2020 06:39	Dane prawidłowe	12	165.0	179.8	-14.8	-8.2

Rys. 7. Wykaz alarmów z dnia 30.03.2020 – zrzut z ekranu  
Fig. 7. List of alarms from 30th March 2020 – screenshot

Po uruchomieniu omawianego systemu diagnostycznego dyspozytor uzyskał nowe narzędzie wspomagające jego decyzje. Na rysunkach 7 i 8 przedstawiono widoki ekranu panelu dyspozytora informujące o wystąpieniu alarmów.

W trakcie 3-miesięcznego okresu obserwacji znacząca większość (98%) alarmów podanych przez prezentowany system diagnostyczny wynikała z przekroczenia 10% progu różnic wskazań przepływomierzy i wyników obliczeń symula-

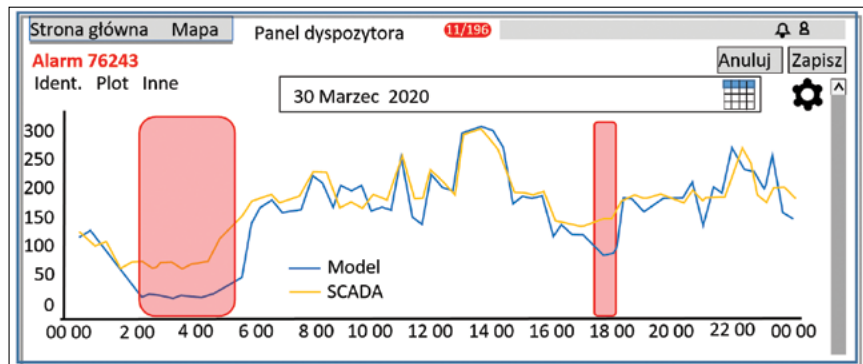
cyjnych. Rysunek 8 prezentuje jedną z przyczyn wywołania tych alarmów – znacznie większe przepływy nocne niż wyliczane przez model. Wywołanie alarmu w tym czasie wynika z błędnego zda-

spadki ciśnienia, że przekroczyły one wartość dopuszczalną. Brak alarmów może wynikać z faktu znacznego przewymiarowania przewodów sieci wodociągowej w stosunku do aktualnych potrzeb. Może

czasowy systemu diagnostycznego, dlatego nie wywołało alarmu. Krótki czas otwarcia wynikał z oszczędności wody. Wystarczył jednak by wypływ wody został zarejestrowany przez system monitoringu. Dzięki temu możliwe było testowe uruchomienie modułu poszukiwania wycieków, stanowiące ważny element proponowanego systemu diagnostycznego.

Moduł poszukiwania wycieków (*Water-Gems*) wskazał kilka prawdopodobnych lokalizacji – od najbardziej prawdopodobnego miejsca wycieku po wskazania drugo i trzeciorzędowe (rys. 10). W przypadku przykładowej strefy najbardziej prawdopodobne wskazanie odpowiadało węzłowi przyłącza hydrantowego.

Spośród 24 przeprowadzonych testów, po jednym otwarciu hydrantu w każdej strefie wodociągu, tylko w połowie przypadków udało się uzyskać tak dobre lub zbliżone efekty wskazań lokalizacji wycieków. Wynikało to przede wszystkim z faktu zbyt małej liczby manometrów i przepływomierzy sieciowych. Istniejący system pomiarowy (SCADA) nie rejestrował otwarć hydrantów. Konieczne jest zatem stopniowe zagęszczanie sieci pomiarowej monitoringu, w miarę możliwości finansowych przedsiębiorstwa.

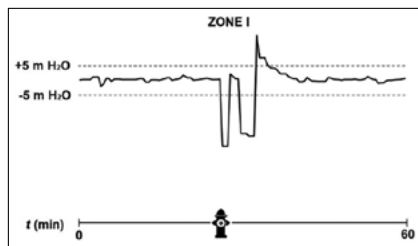


Rys. 8. Szczegóły przykładowego alarmu – zrzut z ekranu  
Fig. 8. Details of an exemplary alarm – screenshot

niem autorów artykułu sposobu przypisania wielkości strat wody do poszczególnych odbiorców. Nie znając wielkości tych strat w momencie uruchamiania systemu diagnostycznego zwiększono pobór wody każdego z odbiorców o jednakową wielkość strat wynikającą z podzielenia sumy strat w całym systemie przez liczbę odbiorców. Taki sposób przypisania ma dodatkową wadę – wielkość strat zmienia się zgodnie ze wzorcem zmian poboru wody przypisanym danemu odbiorcy. W nocy wartości tych wzorców są najmniejsze. Drugą prawdopodobną przyczyną wywołania licznych alarmów był brak przestrzegania przez pracowników przedsiębiorstwa zadeklarowanego reżimu napełniania zbiorników sieciowych. Pomimo istniejącego systemu automatycznego sterowania pracownicy okresowo stosują zwyczajowo regulację „ręczną”, nie zawsze informując o tym dyspozytora sieci.

Trzecią prawdopodobną przyczyną powstawania alarmów w godzinach innych niż nocne jest brak wdrożenia modułu predykcji zużycia wody w analizowanym systemie diagnostycznym. Brak ten wynikał ze świadomej decyzji przedsiębiorstwa o jego odłożeniu w czasie ze względów finansowych. Spowodowało to jednak konieczność minimum comiesięcznej aktualizacji zarówno wielkości poboru wody, przypisywanej wielkości jej strat, jak i wzorców zmian jej poboru.

Warto zwrócić uwagę na fakt bardzo rzadko wywołanych alarmów będących skutkiem przekroczenia  $\pm 5.0 \text{ mH}_2\text{O}$  różnicy wskazań manometrów sieciowych w stosunku do wartości z obliczeń symulacyjnych. W analizowanym okresie jedynie 12 awarii spowodowało na tyle znaczące



Rys. 9. Wykres zarejestrowanych zmian wysokości ciśnienia w trakcie testowego otwarcia hydrantu  
Fig. 9. Graph of the recorded pressure value changes during the test hydrant opening

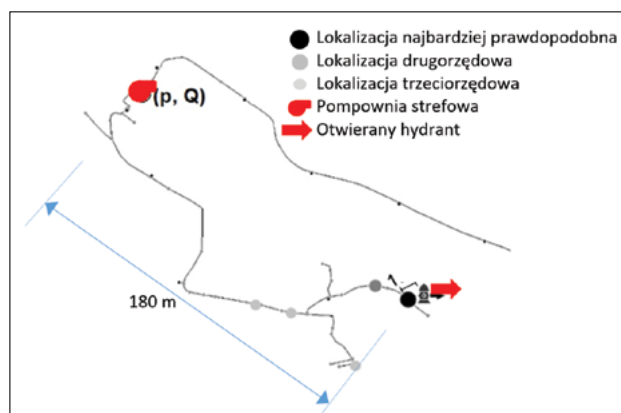
być także wynikiem błędnie założonego progu alarmowego. W prezentowanym okresie obserwacji autorzy artykułu dokonali jednak testowych prób otwierania hydrantów. Na rysunku 9 przedstawiono przykładowy wynik takiego testu zrealizowanego w wybranej niewielkiej strefie. Strefa zasilana była za pośrednictwem własnej pompowni, w której zainstalowano przepływomierz (*Q*) i manometr (*p*). Na terenie strefy nie było innych czujników pomiarowych. Otwarcie hydrantu było znacznie krótsze niż 20-minutowy krok

## Wnioski

Prezentowana w artykule metoda i opracowane narzędzie diagnostyczne zostały wdrożone w rzeczywistym systemie wodociągowym. Narzędzie znajduje się nadal w trakcie budowy. Może jednak stanowić przykład wdrożenia dla innych przedsiębiorstw wodociągowych. Jego funkcjonowanie w okresie 3 pierwszych miesięcy traktowane było jako pilotaż niezbędny do przeprowadzenia testów, wykrywania wad i niedoskonałości oraz właściwego określenia progów alarmowych.

Wdrożenie systemu oceny wielkości strat wody zarówno dla całego systemu wodociągowego jak i jego poszczególnych

Rys. 10. Wyniki wskazań najbardziej prawdopodobnej lokalizacji wycieku w analizowanej strefie  
Fig. 10. Indication of the most probable leakage location in the analysed zone



stref pozwoliło już w okresie pilotażowym wyraźnie zmniejszyć wielkość strat. Pozwoliło również na zaplanowanie najbardziej pilnych napraw i modernizacji.

Wdrożony system alarmowania o nadmiernych lub zbyt niskich przepływach i ciśnieniu znacząco ułatwia dyspozytorowi zarządzanie wodociągami. Nie wymaga już od dyspozytora stałego śledzenia wskazań czujników monitoringu i ciągłej interpretacji tych wyników. Wykorzystanie modułu poszukiwania wycieków ułatwia podejmowanie decyzji o wystaniu ekip naprawczych.

W pilotażowym okresie pracy powstałe narzędzia diagnostyczne stwierdziły konieczność dokonania w nim szeregu zmian. Należą do nich przede wszystkim zmiana sposobu przypisywania strat wody poszczególnym odbiorcom i wdrożenie w pełni automatycznego systemu zarządzania napełnianiem zbiorników sieciowych. Ze względu na brak wdrożonego systemu predykcji poboru wody konieczna jest okresowa (comiesięczna) aktualizacja modelu numerycznego sieci wodociągowej, uwzględnia-

jąca zarówno wielkość poboru, wielkości strat jak i wzorce zmian poboru wody.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. Official Journal L 330 , 05/12/1998 P. 0032 – 0054.
- [2] Lenzi C, Bragalli C, Bolognesi A, Artina S. From energy balance to energy efficiency indicators including water losses. Water Science & Technology: Water Supply, 2013, <https://doi.org/10.2166/ws.2013.103>
- [3] Shirzad A, Tabesh M. New indices for reliability assessment of water distribution networks. Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua, 2016, 65 (5), 384-395
- [4] Świętochowski K. Awaryjność sieci wodociągowej w województwach dolnośląskim i opolskim. Instal nr 10 2020 DOI: 10.36119/15.2020.10.7
- [5] Piechurski F., Mierzwa T. Ocena działań zmierzających do obniżenia awaryjności sieci wodociągowej na przykładzie miasta Z 2012-2017. Instal nr 11 2020 DOI: 10.36119/15.2020.11.6
- [6] Carriço N, Covas D, Alegre H, Almeida M. How to assess the effectiveness of energy management processes in water supply systems. Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA, 2014, <https://doi.org/10.2166/aqua.2014.094>
- [7] Stańczyk J, Burszta-Adamiak E The Analysis of Water Supply Operating Conditions Systems by Means of Empirical Exponents. Water, 2019, <https://doi.org/10.3390/w1122452>
- [8] Cobacho R, Arregui F, Soriano J, Cabrera E Including leakage in network models: an application to calibrate leak valves in EPANET. Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA, 2015, 64 (2), DOI:10.2166/aqua.2014.197
- [9] Zimoch I., Czopik Ł. Zarządzanie strategiczne jako element minimalizacji ryzyka eksploatacją infrastruktury wodociągowej Instal nr 1, 2020, DOI: 10.36119/15.2020.1.8
- [10] Savic D. Intelligent/Smart Water System, 2015, <https://www.slideshare.net/gidrasavic/intelligent-smart-water-systems> (dostęp 07.03. 2020)
- [11] Tao T, Li J, Xin K, Liu P, Xiong X. Division method for water distribution networks in hilly areas. Water Sci Tech Water Supply, 2016, 16 (3), <https://doi.org/10.2166/ws.2015.182>
- [12] Albino V, Berardi U, Dangelico R.M. Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. J Urban Technol, 2015, 22, 3-21.
- [13] Allen M, Preis A, Iqbal M, Whittle A.J. Case study: A smart water grid in Singapore. Water Pract. Technol., 2012, 7(4), 1-8.
- [14] El-Zahab S, Zayed T. Leak detection in water distribution networks: an introductory overview. Smart Water, 2019, 4, 5, <https://doi.org/10.1186/s40713-019-0017-x>
- [15] Bentley WaterGEMS CONNECT Edition Help, Bentley, 2018
- [16] AWWA Engineering Computer Applications Committee. Calibration Guidelines for water distribution system modeling. In Proceedings of the 1999 AWWA Information Management and Technology Conference, New Orleans, Louisiana 1999.

## O deszli od nas



Fot. Andrzej Świercz

Ziemowit Suligowski – Profesor Emeritus Politechniki Gdańskiej, urodził się 23 sierpnia 1947 r. w Łodzi. Studia wyższe ukończył w Instytucie Hydrotechniki Politechniki Gdańskiej w 1971 r., z dyplomem magistra inżyniera urządzeń sanitarnych. W tym samym roku rozpoczął pracę naukowo-dydaktyczną w Zakładzie Inżynierii Komunalnej. Stopień doktora nauk uzyskał w 1977 roku w Instytucie Hydrotechniki Politechniki Gdańskiej, a doktora habilitowanego w 1993 r. w Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej.

W roku 2007 został profesorem nauk technicznych. W latach 2009-2013 pełnił

## Profesor Ziemowit Suligowski (1947 – 2021)

funkcję Kierownika Katedry Inżynierii Sanitarnej Politechniki Gdańskiej. Był wybitnym specjalistą w dziedzinie systemów zaopatrzenia w wodę i odprowadzania ścieków. W pracy badawczej zajmował się głównie prognozowaniem zmian zachodzących w systemach zaopatrzenia w wodę i odprowadzania ścieków, analizą zjawisk dynamicznych i budową prognoz ilościowych na podstawie szeregów czasowych, funkcjonowaniem gospodarki komunalnej, alternatywnymi rozwiązaniami kanalizacji. Opublikował ponad 400 artykułów naukowych, technicznych oraz komunikatów, w tym na łamach Instal wiele artykułów zawierających zawsze wiele informacji praktycznych przydatnych inwestorom, projektantom i służbom eksploatacyjnym z sektora wod-kan. Był też recenzentem artykułów przysyłanych do opublikowania w Instal. Był autorem kilku skryptów, podręczników i monografii. Był promotorem czterech doktorów oraz recenzentem pięciu rozpraw habilitacyjnych i siedmiu prac doktorskich. Jako

nauczyciel akademicki Wydziału Inżynierii Łądowej i Środowiska wypromował ponad 250 prac inżynierskich i magisterskich. Prof. Ziemowit Suligowski był otwartym i życzliwym człowiekiem, bardzo lubianym dydaktykiem, odznaczonym Medalem Komisji Edukacji Narodowej i Srebrnym Krzyżem Zasługi.

Poza pracą naukową i dydaktyczną Profesor był również czynnym inżynierem i ekspertem. Posiadał uprawnienia zawodowe w zakresie projektowania i kierowania robotami budowlanymi. Był członkiem Pomorskiej Izby Inżynierów Budownictwa, rzeczoznawcą Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych oraz Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Wodnych i Melioracyjnych.

Lubił ludzi. Z wzajemnością. Człowiek z bardzo dużą wiedzą i bezgranicznie uczciwy.

Będzie nam bardzo Profesora brakować.

Janusz Wróblewski

# WYKAZ WYDAWNICTW - WAKACYJNA OBNIŻKA CEN

(ważna do 30.09.2021 r.)

## Wydawca i Redakcja

### Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”

02-674 Warszawa, ul. Marynarska 14  
tel./fax (22) 843 77 71

e-mail:  
redakcja@informacjainstal.com.pl  
wydawnictwo@informacjainstal.com.pl

Redaktor Naczelny **Janusz Wróblewski**  
(22) 843 77 71  
601 231 235

Redaktorzy Tematyczni **prof. dr hab. inż.  
Wojciech Dąbrowski**  
– **Politechnika Krakowska**

**prof. dr hab. inż.  
Władysław Szaflik**  
– **Zachodniopomorski  
Uniwersytet Technologiczny  
w Szczecinie**

Redaktor językowy **mgr Kamila Nawrot**

Korekta j. angielskiego **Jacek Sobolewski**

Redaktor Statystyczny **dr hab. inż. Anna  
Głowacka, prof. ZUT  
w Szczecinie**

Prenumerata **Jolanta Sobieraj**  
(22) 843 77 71  
603 975 098

Informacje dla autorów, lista recenzentów  
i zasady recenzji na naszej stronie internetowej  
Wersja pierwotna czasopisma - papierowa

Redakcja nie odpowiada za treść ogłoszeń  
i artykułów sponsorowanych

Czasopismo recenzowane  
**20 pkt.** w klasyfikacji MEiN dla autorów za publikację

Znajdujemy się w bazach czasopism:  
BazTech, IndexCopernicus, POLindex  
Artykuły naukowe opatrzone są Cyfrowym  
identyfikatorem dokumentu elektronicznego - DOI,  
który prosimy podawać w pozycjach literatury.

© Wszelkie prawa zastrzeżone  
Ośrodek Informacji "Technika instalacyjna w budownictwie"

Więcej informacji na stronie  
[www.informacjainstal.com.pl](http://www.informacjainstal.com.pl)

1	Poradnik wykonywania instalacji wodociągowych, ogrzewczych i gazowych z rur miedzianych (wyd. III, październik - 2000 r.)	30 zł	15 zł
2	Warunki techniczne projektowania, wykonania, odbioru i eksploatacji sieci ciepłowniczych z rur i elementów preizolowanych (wyd. I - 1996 r.)	22 zł	10 zł
3	Pompy ciepła. Poradnik (wyd. III- marzec 2006 r.)	40 zł	30 zł
4	Elektryczne akumulacyjne ogrzewanie pomieszczeń (wyd. I.- 1998 r.)	20 zł	10 zł
5	Książka obiektu budowlanego /Zgodna z rozporządzeniem MSWiA/	12 zł	
6	Termomodernizacja instalacji w budownictwie przemysłowym i użyteczności publicznej (wyd. I - wrzesień 1999 r.)	32 zł	10 zł
7	Obiegi wodne i parowe w kotłowniach. Poradnik projektanta. (wyd. I – styczeń 2000 r.)	35 zł	
8	Zalecenia dla projektantów instalacji zimnej i ciepłej wody wodociągowej oraz instalacji ogrzewania w zakresie wyboru i łączenia materiałów, uwzględniające agresywność korozyjną wód wodociągowych w 53 miastach w Polsce (wyd. I 2000 r.)	25 zł	
9	METROLOGIA mikroklimatu pomieszczenia i środowiskowych wielkości fizycznych. (wyd. I, 2003/2004 Opole)	40 zł	
10	TERMODYNAMIKA – Zagadnienia praktyczne w ogrzewnictwie i klimatyzacji (wyd. I 2005 r.)	35 zł	10 zł
11	WT COBRTI INSTAL Zeszyt 1. Komentarz do normy PN-92/B-01706/Azł:1999 „Zabezpieczenie wody przed wtórnym zanieczyszczeniem” (wyd. I, czerwiec 2001 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	30 zł	
12	WT COBRTI INSTAL Zeszyt 2. „Wytyczne projektowania instalacji centralnego ogrzewania” (wyd. I, sierpień 2001 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	40 zł	
13	Wymagania techniczne COBRTI INSTAL Zeszyt 3. „Warunki Techniczne wykonania i odbioru sieci wodociągowych” (wyd. I, wrzesień 2001 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	25 zł	
14	Wymagania techniczne COBRTI INSTAL Zeszyt 5. „Warunki Techniczne wykonania i odbioru instalacji wentylacyjnych” (wyd. I wrzesień 2002 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	30 zł	
15	Wymagania techniczne COBRTI INSTAL Zeszyt 6. „Warunki Techniczne wykonania i odbioru instalacji ogrzewczych” (wyd. I, maj 2003 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	40 zł	
16	Wymagania techniczne COBRTI INSTAL Zeszyt 7. „Warunki Techniczne wykonania i odbioru instalacji wodociągowych” (wyd. I, wrzesień 2003 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	35 zł	
17	Wymagania techniczne COBRTI INSTAL Zeszyt 8. „Warunki Techniczne wykonania i odbioru węzłów ciepłowniczych” (wyd. I, wrzesień 2003 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	30 zł	
18	Wymagania techniczne COBRTI INSTAL Zeszyt 9. „Warunki Techniczne wykonania i odbioru sieci kanalizacyjnych” (wyd. I, wrzesień 2003 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	30 zł	
19	Wymagania techniczne COBRTI INSTAL Zeszyt 10. „Wytyczne stosowania i projektowania instalacji z rur miedzianych” (wyd. I, styczeń 2004 r.)	40 zł	
20	WT COBRTI INSTAL Zeszyt 11. „Zalecenia do projektowania instalacji ciepłej wody, wentylacji i klimatyzacji minimalizujące namnażanie się bakterii Legionella” (wyd. I, 2005 r.)	30 zł	
21	Wymagania techniczne COBRTI INSTAL Zeszyt 12 „Warunki techniczne wykonania i odbioru instalacji kanalizacyjnych” (wyd. I, wrzesień 2006 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	30 zł	
22	Wymagania Techniczne. Zeszyt 1” Warunki techniczne wykonania i odbioru instalacji sprężonego powietrza” (wyd. I, grudzień 2012 r.)	40 zł	
23	Wymagania Techniczne. Zeszyt 2 „Warunki techniczne wykonania, odbioru i eksploatacji rurociągów preizolowanych w płaszczu osłonowym HDPE układanych bezpośrednio w gruncie” (wyd.I, 2013 r.)	48 zł	20 zł
24	BIOZ – bezpieczeństwo i ochrona zdrowia na budowie (wyd.I, wrzesień 2006 r.)	35 zł	10 zł
25	MECHANIKA PŁYNÓW – Wybrane zagadnienia w ujęciu komputerowym (wyd. I 2007 r.)	40 zł	10 zł
26	Rozliczanie kosztów zużycia ciepła i wody w budynkach. Poradnik Zarządcy Budynku (wyd. I 2008 r.)	36 zł	20 zł
27	LEGIONELLA w instalacjach budynków (wyd. I 2009 r.)	45 zł	15 zł
28	Jak korzystać z podzielników kosztów ogrzewania. Poradnik użytkownika lokalu (wyd. I, październik 2009 r.)	10 zł	
29	Charakterystyka energetyczna budynków + CD (wyd. I, luty 2010 r.)	65 zł	
30	Projektowanie instalacji ciepłej wody w budynkach mieszkalnych (wyd. 2011 r.)	60 zł	30 zł
31	WĘZŁY CIEPLNE w miejskich systemach ciepłowniczych (wyd. II, 2014 r.)	68 zł	30 zł
32	Racjonalizacja zużycia energii w budownictwie mieszkaniowym (wyd.I, 2016r.)	64 zł	30 zł
33	Ogrzewanie podłogowe. Poradnik (wyd. I, 2020 r.)	76 zł	70 zł

## Czasopisma:

Budownictwo i Prawo (kwartalnik) – prenumerata w 2021 r.	80 zł	
INSTAL (miesięcznik)	– prenumerata w 2021 r.:	
	– zwykła	320 zł
	– z CD na koniec roku	370 zł
	– ciągła (z CD na koniec roku)	290 zł
	– półroczna	170 zł
	– z całorocznym dostępem do archiwum	390 zł
	– dla studentów	160 zł
	– elektroniczna	230 zł

Do podanych cen doliczamy podatek VAT - dla książek 5%, a dla czasopism 8%. Przy realizacji zamówienia doliczamy koszty wysyłki płatne przez Zamawiającego (z wyjątkiem prenumeraty). Termin realizacji zamówienia do 14 dni.

**ZAMÓWIENIA NA WYDAWNICTWA NALEŻY SKŁADAĆ POD ADRESEM:**

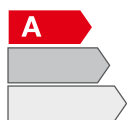
Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”  
02-674 Warszawa, ul. Marynarska 14, tel./fax (22) 843 77 71  
e-mail: [redakcja@informacjainstal.com.pl](mailto:redakcja@informacjainstal.com.pl), [wydawnictwo@informacjainstal.com.pl](mailto:wydawnictwo@informacjainstal.com.pl)



**i-FX** NOWY TYP AGREGATÓW W PEŁNI INWERTEROWYCH  
ZAPROJEKTOWANE ABY ZAPEWNIĆ  
NAJWYŻSZĄ SPRAWNOŚĆ.



DOSTĘPNE Z CZYNNIKAMI:



**BEZKOMPROMISOWA  
SPRAWNOŚĆ**

SEER  
do 5,45



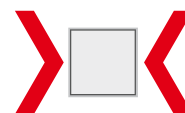
**ROZSZERZONY  
ZAKRES PRACY**

do +55°C  
temp. pow. zewn.



**KRÓTKI CZAS  
ZWROTU Z INWESTYCJI**

2,5  
roku



**ZMNIEJSZONE  
GABARYTY**

18% bardziej  
kompaktowe

i-FX to nowy typoszereg agregatów chłodniczych wysokiej sprawności, w których zastosowano sprężarki sterowane inwerterem i wentylatory o wysokiej wydajności.



Want to know more?

[melcohit.com](http://melcohit.com)

**MITSUBISHI ELECTRIC  
HYDRONICS & IT COOLING SYSTEMS**