

40 lat

INSTAL

(461)

4

2024

MIESIĘCZNIK

CENA 39 ZŁ + 8% VAT

ISSN 1640-8160

e-ISSN 2956-6738



Numerus Primus
inter Pares 2016



Cennik i druk
zamówienia
prenumeraty

Instal na 2024 rok

W NUMERZE:

WYBRANE ASPEKTY ANALIZY
ŚRODOWISKOWEJ POMP CIEPŁA

MODEL KSZTAŁTOWANIA CEN CIEPŁA
SYSTEMOWEGO W POLSCE

ZMIANY SKŁADU BIOAEROSZOLU
W POMIESZCZENIU W WYNIKU PROCESU
OZONOWANIA

OKREŚLANIE POJEMNOŚCI ZBIORNIKA
GROMADZĄCEGO WODĘ DESZCZOWĄ

RUBRYKI STAŁE:

TAM BYLIŚMY

WIADOMOŚCI

PRZEGLĄD PRAWNY

Autorzy z tytułu publikacji w Instal-u
otrzymują 70 pkt.

wg wykazu czasopism i recenzowanych
materiałów z konferencji międzynarodowych
Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego
(załącznik do komunikatu MNiSzW z dnia 5 stycznia 2024 r., poz. 29929).



Connecting District Energy

RURY GIĘTKIE

zgodne z PN-EN 15632
pojedyncze oraz podwójne
z rurą przewodową PEX-a, Cu i stalową

RURY STALOWE Z PŁASZCZEM PEHD

z barierą dyfuzyjną Al lub EVOH
zgodne z PN-EN 253 i PN-EN 15698
pojedyncze oraz podwójne

PROJEKTUJEMY, DORADZAMY
SZKOLIMY, DOSTARCZAMY

KOMPLETNE SYSTEMY RUROWE

dla każdej technologii oferujemy również
zespoły złączy, kształtki, armaturę i akcesoria

POSIADAMY
CERTYFIKAT



KONTAKT

biuro@isoplus.pl
+ 48 32 259 04 10
ul. Żeliwna 43, 40-599 Katowice

SPEŁNIAMY NORMY

PN-EN 253, PN-EN 448, PN-EN 488,
PN-EN 489, PN-EN 13491, PN-EN 14419

CIĘPŁOWNICTWO DISTRICT HEATING

- 3** *Christer Frennfelt, Igor Durcansky*
Właściwy dobór płytowych lutowanych wymienników ciepła
Right-sizing brazed plate heat exchangers
- 7** *Kornel Paradowski*
Trendy w armaturze ciepłowniczej
Trends in heating fittings
- 11** *Małgorzata Niestępska*
Model kształtowania cen ciepła systemowego w Polsce w ocenie branży i regulatora
A model for system heat pricing in Poland from the perspective of district heating companies and the regulator

ŹRÓDŁA CIEPŁA I ENERGII ELEKTRYCZNEJ SOURCES OF HEAT AND ELECTRICITY

- 18** *Wojciech Tuchowski, Diana Pietryga*
Wybrane aspekty analizy środowiskowej pomp ciepła
Selected aspects of heat pumps environmental analysis

WENTYLACJA, KLIMATYZACJA, CHŁODZENIE VENTILATION, AIR CONDITIONING, REFRIGERATION

- 25** *Walter Mucha, Ewa Zabłocka-Godlewska, Aleksandra Mierzejowska, Alex Borkowski, Aleksandra Bieniek, Kinga Biskup, Kamil Foit, Karolina Hulboj, Kamil Krawczyk*
Changes in the composition of the indoor bioaerosol as a result of the ozonation process carried out under different ventilation air flow rate
Zmiany składu bioaerozolu w pomieszczeniu w wyniku procesu ozonowania prowadzonego przy różnych wartościach strumienia wentylacji

SIECI I INSTALACJE WÓD OPADOWYCH RAINWATER NETWORKS AND INSTALLATION

- 32** *Paulina Napieraj, Ewa Burszta-Adamiak, Piotr Czarnocki, Paweł Licznar*
Dobór optymalnej objętości zbiornika retencyjnego przy użyciu cyfrowego kalkulatora wykorzystania wód opadowych in situ
The optimal volume of a retention tank estimation using rainwater harvesting digital calculator
- 40** *Agnieszka Ludwińska, Edyta Dudkiewicz*
Efekty wynikające ze zwiększania pojemności zbiornika gromadzącego wodę deszczową na obszarze Polski o średniej wysokości opadów
Effects of increasing the volume of a rainwater storage tank on the territory of Poland with average rainfall

RUBRYKI STAŁE / REGULAR SECTIONS

- 2, 6, 48, 50** **Wiadomości / The news**
- 10** **Tam byliśmy / We were there**
III Konferencja Ciepła Systemowego
- 52** **Przegląd prawny / Review of the law**



Kwartalnik „Budownictwo i Prawo” ukazuje się piętnasty rok i ma już ustaloną 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 20 pkt w klasyfikacji MNiSzW. 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 2024 r. w wysokości 152 zł+8% VAT zł przyjmujemy:

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

ISBN 83-88695-03-7

CENTRALNY OŚRODEK BADAWCZO – ROZWOJOWY TECHNIKI INSTALACYJNEJ „INSTAL”

ZALECENIA DLA PROJEKTANTÓW INSTALACJI ZIMNEJ I CIEPŁEJ WODY WODOCIĄGOWEJ ORAZ WODNYCH INSTALACJI OGRZEWCZYCH W ZAKRESIE WYBORU I ŁĄCZENIA MATERIAŁÓW, UZWGLĘDNIAJĄCE AGRESYWNOSĆ KOROZYJNĄ WÓD WODOCIĄGOWYCH

W 52 MIASTACH W POLSCE

Wydanie I 2001 r.

Zalecenia są materiałem pomocniczym dla inwestorów, projektantów, wykonawców i służb eksploatacyjnych instalacji zimnej i ciepłej wody oraz ogrzewania wodnego. W Zaleceniach znajdziemy między innymi kryteria doboru i dobór materiałów do wykonania tych instalacji z uwzględnieniem jakości wody. Aktualne dane dotyczące jakości wody wodociągowej zobowiązane są przedstawić zainteresowanym podmiotom Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji funkcjonujące na danym terenie.

Wydawca i dystrybutor: Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”, ul. Marynarska 14, 02 – 674 Warszawa
Zamówienia przyjmuje i realizuje: wydawnictwo@informacjainstal.com.pl; tel. 603 975 098.

Nowy program Ministerstwa Klimatu i Środowiska „OZE – źródło ciepła dla ciepłownictwa”

O szczegółach nowego wsparcia finansowego dla przedsiębiorstw ciepłowniczych poinformowały w trakcie konferencji prasowej 9.04.2024 r. minister klimatu i środowiska Paulina Hennig-Kloska i wiceministra Urszula Zielińska.

Od 16 kwietnia br. w NFOŚiGW zostanie uruchomiony nowy program dla potrzeb ciepła systemowego z pulą 2 miliardów złotych na inwestycje związane z budową i przebudową źródeł o łącznej mocy zainstalowanej co najmniej 2 megawatów mocy cieplnej – MWt, w których do produkcji ciepła wykorzystywane będą pompy ciepła, kolektory słoneczne i geotermia (bez kogeneracji). Elementem inwestycji mogą być ponadto przyłącza do sieci ciepłowniczej należącej do beneficjenta (wytwórcy energii) lub magazyny energii (magazyny ciepła), ale i inne technologie OZE. *Mamy w kraju 5,8 mln gospodarstw domowych przyłączonych do sieci ciepłowniczych i są jeszcze obszary w miastach o gęstej zabudowie nie korzystające z ciepła systemowego* – powiedziała minister Paulina Hennig-Kloska.

Program będzie finansowany z Funduszu Modernizacyjnego w formie bezzwrotnych dotacji (1,43 mld zł.) oraz pożyczek (0,57 mld zł.), wnioski mogą być składane wyłącznie na dotację lub pożyczkę oraz system mieszany dotacja/pożyczka.

To pierwszy w pełni zielony program, który pokazuje jasny kierunek transformacji ciepłownictwa – od ciepłownictwa węglowego do ciepłownictwa w pełni zielonego – powiedziała wiceministra Urszula Zielińska.

Do dofinansowania kwalifikują się instalacje, z których co najmniej 70% ciepła użytkowego wytworzonego w jednostce OZE w roku kalendarzowym zostanie wprowadzone do publicznej sieci ciepłowniczej.

Wsparcie obejmie koszty kwalifikowane poniesione do 31.12.2030 r. z zastrzeżeniem, że zostały poniesione po dacie złożenia wniosku o dofinansowanie.

Wniosek może być złożony maksymalnie do kwoty 300 mln zł. na wykorzystanie do 70% kosztów kwalifikowanych w ciągu 15 lat.

Podczas prowadzonej dyskusji, usłyszeliśmy również, że MKiŚ:

- pracuje nad strategią rozwoju ciepłownictwa i planuje, żeby ukazała się w tym roku,
- są otwarci na stały dialog z branżą ciepłowniczą i nad udoskonalaniem programów dla rozwoju ciepłownictwa systemowego,
- obecnie przedsiębiorstwa ciepłownicze mają do dyspozycji ok. 19 mld zł. i przygotowywane są następne programy wsparcia.

Janusz Wróblewski



XII Ogólnopolski Szczyt Energetyczny OSE GDAŃSK 2024

Data: 17-18 czerwca 2024

Miejsce: Gdańsk, Muzeum II Wojny Światowej

Temat przewodni Szczytu:
„Bezpieczeństwo energetyczne
Europy – rewizja europejskiej
polityki energetycznej”.

Organizator: Europejskie Centrum Biznesu

Już po raz dwunasty pragniemy zaprosić czołowych przedstawicieli świata polityki, gospodarki, nauki i biznesu na Szczyt Energetyczny do Gdańska. Podczas najbliższej edycji wśród poruszanych zagadnień odniesiemy się do reorganizacji polityki energetycznej UE oraz Polityki Energetycznej Polski PEP2040. Tegoroczna dyskusja będzie koncentrowała się wokół zaostrożenia europejskiej polityki klimatycznej, nowych źródeł dostaw surowców dla Europy oraz kontynuacji odejścia od tradycyjnych źródeł wytwórczych na rzecz OZE. W palecie zagadnień nie zabraknie tematów związanych z inwestycjami w energetykę jądrową, produkcję zielonego wodoru, dalszym rozwojem offshore, transformację sektora ciepłowniczego i infrastrukturę krytyczną. OSE Gdańsk to nie tylko możliwość wymiany doświadczeń, ale także poznanie nowych trendów w przemyśle energetycznym, paliwowym i gazowym, innowacyjnych technologii wykorzystywanych w sektorze oraz rozwiązań służących zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego.

Podczas Szczytu ponownie zostaną wręczone statuetki „Bursztyn Polskiej Energetyki” wyróżnienia, którą otrzymują osoby, firmy, instytucje lub samorządy za działania, które w sposób szczególnie przyczyniły się w ostatnim czasie do rozwoju polskiej energetyki.

Aktualne informacje: www.osegdansk.pl
Program: <http://osegdansk.pl/program/>

W sprawie akredytacji prosimy o kontakt z biurem Europejskiego Centrum Biznesu:

p. Jakub Gnypek,
Kierownik Biura Zarządu
tel. 81 747 65 10, 600 093 005,
mail: info@ecb.biz.pl



W dniach 3-4 października 2024 r. w Augustowie Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych z siedzibą w Warszawie Oddział w Białymstoku organizuje Jubileuszową X Podlaską Konferencję Ciepłowniczą.

Konferencja odbędzie się pod hasłem „Wskaźniki czy wskazówki – czyli jak uniknąć ślepej uliczki dekarbonizacji ciepłownictwa”. Podczas konferencji poruszymy tematy, odnośnie podejmowania decyzji związanych z rozwojem i przekształcaniem systemów ciepłowniczych w kierunku neutralności klimatycznej.

Misją Polskiego Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych jest praca na rzecz społeczeństwa poprzez rozwój inżynierii sanitarnej i inżynierii środowiska służących ochronie zdrowia i środowiska przyrodniczego. Celem konferencji jest ustawienie dodatkowych drogowskazów na krętej ścieżce dekarbonizacji ciepłownictwa.

Więcej informacji na stronie:

<https://pzits.bialystok.pl/x-podlaska-konferencja-cieplownicza/>

Właściwy dobór płytowych lutowanych wymienników ciepła

Right-sizing brazed plate heat exchangers

CHRISTER FRENNFELT, IGOR DURCANSKY

Niniejszy artykuł dotyczy czynników mających wpływ na wybór płytowych lutowanych wymienników ciepła (BPHE) w celu zapewnienia optymalnego ekonomicznie rozwiązania dla różnych zastosowań.

Zastosowanie płytowych lutowanych wymienników ciepła (BPHE) opracowywano na przestrzeni ostatnich 40 lat. W wielu przypadkach zastąpiły one pozycję zajmowaną niegdyś przez wymienniki płaszczowo-rurowe i są często używane zamiast wcześniejszych uszczelkowych (demontowalnych) płytowych wymienników ciepła (PHE). Zazwyczaj w systemach budowlanych są one wykorzystywane do wymiany ciepła między pierwotnymi i wtórnymi systemami wodnymi (lub glikolowymi). Są one dostępne w różnych rozmiarach, umożliwiając przesyłanie od zaledwie kilku kilowatów do kilku megawatów, a dzięki swoim stosunkowo niewielkim rozmiarom umożliwiły rozwój produktów i ich zastosowań, które do tej pory byłyby mniej praktyczne lub wręcz niemożliwe. Płytkowe lutowane wymienniki ciepła są zwykle wytwarzane z prasowanych płyt wykonanych ze stali nierdzewnej, połączonych ze sobą za pomocą lutowania twardego, tworząc kompaktowe urządzenie do wymiany ciepła.

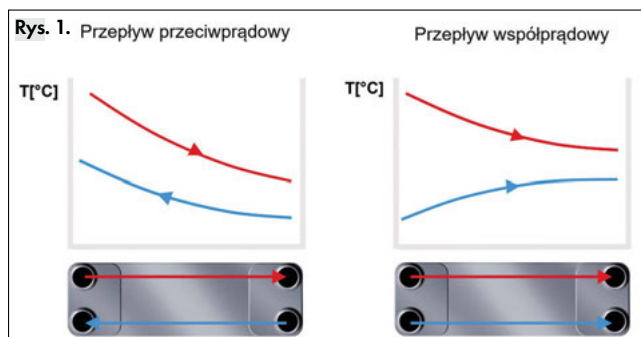
Zasada działania BPHE opiera się na zwykłej wymianie ciepła z nośnika cieplejszego do chłodniejszego. Układ przepływu może być zarówno przeciwnieprądowy jak i współprądowy (Rys. 1). Preferowany jest przepływ przeciwnieprądowy, gdyż umożliwia on uży-

wać mieć znaczący wpływ na dobór BPHE. Całkowicie odczuwalny (jednofazowy) przepływ ciepła w kW może być również określony na podstawie $m \cdot C_p \cdot \Delta T$, gdzie m jest masowym natężeniem przepływu ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$) jednego z przepływów (najbardziej przydatny jest przepływ wtórny), C_p jest właściwą pojemnością cieplną ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) przepływającej cieczy, a ΔT jest różnicą między temperaturą wlotową i wylotową dla tego przepływu (K). Współczynnik przenikania ciepła, U , jest funkcją oporu cieplnego materiału płyty, współczynnika wymiany ciepła powierzchni po obydwu stronach płyty oraz uwzględnienia „zanieczyszczenia”.

Powierzchniowa wymiana ciepła uzależniona jest od charakterystyki płynu i przepływu, a zatem ustawiana jest w zależności od zastosowania. Turbulencje powodują zwiększoną wymianę ciepła i zmniejszają grubość warstwy granicznej, ale przy wyższym spadku ciśnienia, a więc przy wyższych kosztach pompowania.

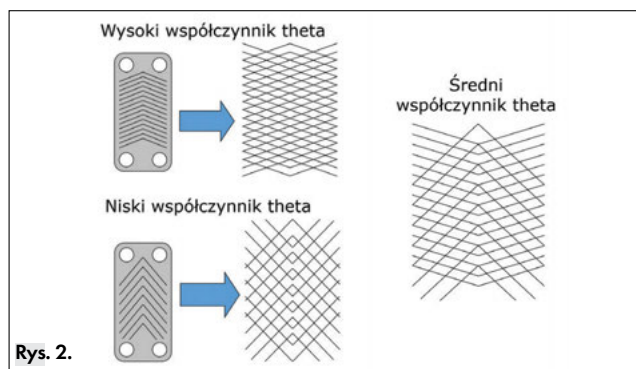
Podstawowa wydajność wymiennika ciepła jest określona przez wzory na płytach i rozmiary kanałów w BPHE. Charakteryzuje się to tak zwanym „wskaźnikiem theta” płyt, która jest używana przez producentów do reprezentowania „liczby jednostek transferu” (NTU) podanej (dla określonego przepływu) przez $U A / m C_p$. Metoda NTU jest używana do przewidywania temperatur wylotowych wymienników ciepła przy użyciu prostych obliczeń i nie wymaga znajomości średniej logarytmicznej różnicy temperatur (gdyż niekoniecznie jest ona znana). Zastosowanie płyt o wysokim współczynniku theta zapewni „wysoką długość termiczną”, oferując tym samym bardzo skuteczne wymienniki ciepła. Długość termiczna danego kanału przepływowego jest funkcją średnicy hydraulicznej kanału, długości płyty i kąta pofałdowania, a także właściwości fizycznych przepływających płynów. Zwiększona turbulencja zmniejszy również zanieczyszczenie.

Wybór i konfiguracja płyt pozwoli BPHE zapewnić wymaganą charakterystykę wymiany ciepła, a tym samym zapewnić pożądaną temperaturę wylotu wtórnego. Przykłady pokazane na Rys. 2 przedstawiają schemat wymiany z trzech układów o tej samej



skanie bliższej temperatury zbliżenia (jest to różnica temperatur między wlotem przepływu pierwotnego i wylotem przepływu wtórnego), a także większą całkowitą wymianę ciepła. Podobnie jak w przypadku każdego wymiennika ciepła, wymianę ciepła z jednego przepływu do drugiego przez BPHE można określić na podstawie $U A \Delta T_{LM}$, gdzie U jest średnim współczynnikiem przenikania ciepła z jednego przepływu do drugiego ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$), A jest całkowitym transferem ciepła.

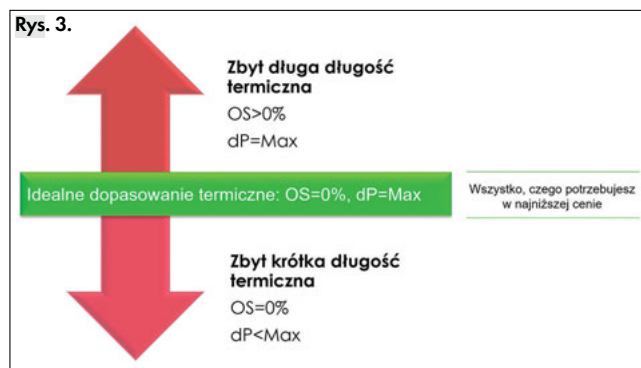
Niewielka zmiana temperatury przepływu pierwotnego lub wtórnego może mieć znaczący wpływ na ΔT_{LM} , a tym samym



Christer Frennfelt, Business Development Manager, Consultant & Utility, Igor Durcansky, Regional Sales manager – SWEP

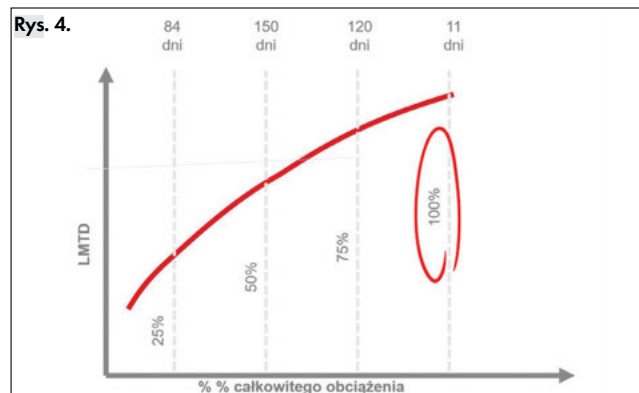
pierwotnej i wtórnej temperaturze wejściowej. Płyty o wysokim współczynniku theta mają zwykle wzór szewronu o dużym kącie, podczas gdy płyty o niskim współczynniku theta mają zwykle mniej ostre kąty. Połączenie różnych wzorów stosowane jest, gdy wymagana jest pośrednia efektywność termiczna. Producenci opracowali nowatorskie rozwiązania, takie jak asymetryczna konstrukcja, która zapewnia lepszą wymianę ciepła, zwiększając w ten sposób wydajność cieplną systemu. Charakteryzuje się również niższą stratą ciśnienia, zmniejszając pracę pompy i poprawiając wytrzymałość mechaniczną, co tworzy mocniejszą fizycznie jednostkę.

Dla każdego konkretnego zastosowania geometria kanału powinna być zaprojektowana tak, aby zapewnić wymaganą długość termiczną dla każdego z płynów dla najbardziej ekonomicznego BPHE, jak opisano na Rys. 3. Jeżeli kanał jest nadmierne rozbudowany termicznie (zbyt duża długość termiczna), spadek ciśnienia może być dopuszczalny, lecz istnieje ryzyko wystąpienia nadmiernej powierzchni, co prowadzi do pogorszenia wydajności. W przypadku krótkotrwałych termicznie urządzeń, często istnieje dobre dopasowanie pod względem po-

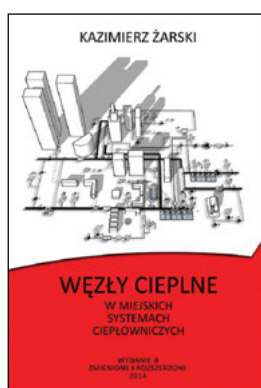


wierzchni przenoszącej ciepło, ale może ono nie wykorzystywać maksymalnego dopuszczalnego spadku ciśnienia, co z kolei może prowadzić do niższej wydajności.

Aby uzyskać odpowiedni dobór i uniknąć zbyt dużej powierzchni wymiany ciepła, należy dokonać oceny rocznego profilu wymagań dotyczących obciążenia. Jako przykład – i w przypadku braku danych specyficznych dla projektu – można zastosować wskaźniki masy i profile temperatur stosowane zgod-



nie z Europejskim wskaźnikiem sezonowej efektywności energetycznej (ESEER), jak przedstawiono na Rys. 4, w celu wskazania profilu rocznej pracy BPHE zasilającego system grzewczy. Jak widać na Rys. 4, 100% obciążenie jest wymagane (w tym przypadku) tylko przez około 11 dni w roku (3% w skali rocznej). Tak więc, przy ustalaniu odpowiedniego rozmiaru BPHE, korzystne może okazać się uwzględnienie niewielkiego wzrostu temperatury zasilania pierwotnego w okresach szczytowego obciążenia, jak pokazano we wcześniejszym przykładzie ustalania ΔT_{LM} .



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,

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

Użyłartarnym 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

„Węzły ciepłe w miejskich systemach ciepłowniczych”

Autor: Kazimierz Żarski

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



Najszerszy zakres lutowanych płytowych wymienników ciepła



SWEP oferuje największe lutowane płytowe wymienniki ciepła o mocy do 10 MW. Nasze bezuszczelkowe wymienniki ciepła charakteryzują się niskimi kosztami konserwacji i optymalnym kosztem cyklu życia (LCC). Dzięki znacznie niższej wadze i kompaktowej konstrukcji, wymagają one około 50% mniej miejsca niż tradycyjne rozwiązania. Jednostki można łatwo transportować przez standardowe drzwi. A jeśli potrzebujesz większej wydajności, po prostu dodaj więcej jednostek.



**Bezpieczeństwo energetyczne
w dobie transformacji.
Przyszłość paliw gazowych
w nowej gospodarce energetycznej.**

12-15 MAJA 2024, MIĘDZYDROJE
HOTEL VIENNA HOUSE AMBER BALTIC

PARTNER GŁÓWNY KONFERENCJI



PARTNER KONFERENCJI



PARTNER BRANŻOWY KONFERENCJI



PATRON MEDIALNY KONFERENCJI

INSTAL

ORGANIZATOR KONFERENCJI

studio | 4u

www.gazterm.pl

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

**“Wieczne chemikalia”, substancje wywołujące
m. in. nowotwory i choroby tarczycy
są coraz częściej wykrywane w wodach
– ostrzega Państwowy Instytut Geologiczny
– Państwowy Instytut Badawczy.**

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB) zwrócił uwagę w komentarzu dla PAP, że zmiany w klasyfikacji jakości wód podziemnych, powierzchniowych i pitnych (red. przeznaczonych do spożycia przez ludzi) w ostatnich latach, wskazują, że podczas badań większy nacisk kładziony jest na wykrywanie syntetycznych zanieczyszczeń antropogenicznych, takich jak farmaceutyki, związki per – i polyfluoroalkilowe (PFAS). PFAS to powszechnie stosowane substancje chemiczne, które kumulują się w organizmie człowieka oraz w środowisku. Są określane mianem “wiecznych chemikaliów”. Mogą wywoływać m.in. nowotwory, choroby tarczycy, problemy z płodnością – PAP.

Instytut zaznaczył, że farmaceutyki, związki per – i polyfluoroalkilowe są “coraz częściej” wykrywane w wodach. “Uwzględnienie nowych związków w ocenie wód może odmienić aktualny pogląd o stanie wód” – stwierdził PIG – PIB.

Eksperti PIG wskazali, że w Polsce woda pitna (red. przeznaczona do spożycia przez ludzi) dystrybuowana wodociągami według danych GUS w ok. 73 % pochodzi z wód podziemnych. Udokumentowane dla kraju zasoby dyspozycyjne wód podziemnych, wynoszą ok. 34 mln m sześć./dobę” – dodali.

Instytut poinformował, że ocenę stanu wód podziemnych przeprowadza się na podstawie wyników monitoringu stanu chemicznego i jest to wykonywane cyklicznie, co 3 lub 6 lat. “Ostatnia ocena stanu wód podziemnych wykonana została w roku 2023 i wykazała, że stan wód podziemnych jest dobry na obszarze 95 % powierzchni kraju. Tylko na terytorium 5 % powierzchni kraju jakość wód jest antropogenicznie zmieniona i jej wykorzystanie na cele komunalne może być ograniczone” – wskazał.

PIG-PIB zastrzegł jednak, że nie zawsze woda podziemna niezmieniona antropogenicznie jest nadająca do picia w sposób bezpośredni. Wyjaśnił, że “często” woda podziemna jest naturalnie wzbogacona w związki mineralne, np. żelazo, mangan, jon amonowy, związki organiczne, które w sposób naturalny występują w stężeniach przewyższających normy wód pitnych (red. przeznaczonych do spożycia przez ludzi). Taka woda, choć czysta i dobrej jakości, musi być specjalnie uzdatniana przed włączeniem do sieci wodociągowej” – zaznaczył instytut. Jakość wody jest w dużej mierze oceną opartą na ograniczonej liście wskaźników indykatorywnych. Dobór wskaźników jest kluczowy w ocenie jakości wód.

Eksperti instytutu zwrócili uwagę, że wody podziemne stanowią największy zasób dostępnych wód słodkich na Ziemi. “Łącznie zasoby wodne na Ziemi szacuje się na ok. 1 386 mld km sześć., z czego 97 % jest zgromadzone w oceanach i morzach (wody słone). Z pozostałych 3 % zasobów wodnych naszej planety 68,3 % jest uwięzione w lodowcach i pokrywie lodowej, 31,4 % stanowią wody podziemne, zaś wody powierzchniowe 0,3 %.

Zgodnie z ustawą „Prawo geologiczne i górnicze” PIG-PIB wypełnia zadania państwowej służby geologicznej. Zadania służby określa m.in. ustawa “Prawo wodne”. Nadzór nad instytutem pełni Minister Klimatu i Środowiska. Jednym z filarów działalności PIG – PIB jest “środowisko”. Obejmuje on działania wspierające zrównoważony rozwój. Prowadzone przez instytut w tym zakresie badania dotyczą ocenę stanu środowiska, rozpoznawania i monitorowania zagrożeń geologicznych i antropogenicznych, wspierania adaptacji do zmian klimatu, a także zapewniania bezpieczeństwa realizacji inwestycji strategicznych. (PAP)

Anna Bytniewska
www.naukawpolsce.pap.pl

Trendy w armaturze ciepłowniczej

Trends in heating fittings

KORNEL PARADOWSKI

Przemysł, zwłaszcza przemysł energetyczny, chemiczny oraz petrochemiczny od dawna szuka nowatorskich rozwiązań mających poprawić efektywność energetyczną, zapewnić oszczędności energii i zmniejszyć koszty ogółem funkcjonowania przedsiębiorstw. Jednym z kluczowych elementów tego procesu jest kontrola przepływu cieczy i gazów.

W artykule skupię się na dwóch nowych trendach w armaturze przemysłowej, głównie ciepłowniczej, które już się pojawiły w bardziej rozwiniętych ekonomicznie gospodarkach i z pewnością niedługo zawitają do Polski.

Zacznę od tradycyjnie stosowanych przepustnic, głównie tych w sieciach ciepłowniczych oraz źródłach wytwarzających energię, które choć spełniają swojej zadanie, nie zawsze są efektywne i opłacalne w długoterminowej perspektywie. W związku z tym, coraz więcej przedsiębiorstw przestawia się na stosowanie zaworów kulowych ze szczególnym naciskiem na zawory kulowe w wersji z kulą jarzmioną, dla armatury otwórz/zamknij, zabraniając montażu u siebie przepustnic. Jednak jako rozwiązanie regulacyjne lub równoważące sieć obecnie trudno znaleźć lepsze rozwiązanie, niż przepustnice metal/metal.

W dalszej części artykułu omówię oszczędności, które można uzyskać stosując, wydawałoby się droższe rozwiązania w postaci armatury kulowej jarzmionej.

W celu dokładnego zaprezentowania kosztów eksploatacji poszczególnych rozwiązań należy zamknąć cykl „życia” armatury w pewnych ramach czasowych. Zagadnienie trwałości armatury jest złożone i zależne od wielu czynników, między innymi, takich jak: parametry robocze, czystość płynącego medium, warunki środowiskowe, doświadczenie i przeszkolenie pracowników eksploatacji w przedsiębiorstwie i wielu innych. Przyjęło się jednak, bazując na doświadczeniach największych klientów głównie Przedsiębiorstw Energetyki Ciepłej oraz doświadczeniach różnych producentów, że względna trwałość poszczególnych typów armatury kształtuje się średnio następująco:

- przepustnice 3 mimosrodowe metal/metal: 15-20 lat,
- zawory kulowe z kulami pływającymi: 20-25 lat,
- zawory kulowe z kulami jarzmionymi: 30-35 lat.

W cyklu eksploatacji armatury najdłuższy czas niezawodnej pracy zaworu z kulą jarzmioną wynika z tego, że moment obrotowy kuli jest około 4 – krotnie mniejszy, niż w zaworze z kulą pływającą i nie ma możliwości uszkodzenia siedliska przez zabrudzenia płynące w rurociągu, jak to ma miejsce w przypadku przepustnic. Mniejszy moment wynika z tego, iż kula w zaworze jarzmionym jest ułożyskowana oraz podparta i „nie pływa” pomiędzy siedliskami jak to ma miejsce w standardowym zaworze. Jarzma przenoszą olbrzymią siłę naporu ciśnienia i w związku z tym, siła tarcia nie jest przenoszona bezpośrednio na styk kula/siedlisko.

W celu określenia przyczyny pojawienia się trendu odchodzenia od przepustnic i podążania w kierunku stosowania zaworów kulowych, należy spojrzeć na poniższą analizę kosztową stosowania obu typów armatury. Do oszacowania kosztów analizowanych typów armatury przyjąłem 3 najbardziej istotne czynniki, takie jak:

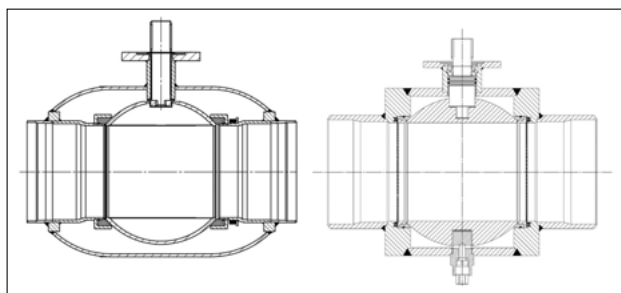


Rysunek 3. Eksploatacyjne zarysowania kuli w zaworze z kulą pływającą spowodowane przez tarcie na styku siedlisko kuli/kula

koszt zakupu, wzrost kosztów pompowania czynnika spowodowany przez opory miejscowe oraz cykl wymiany armatury.

- 1) Koszt zakupu armatury do wspawania DN800:
 - przepustnica 3-mimosrodowa metal/metal, cena: 68 200,00 PLN;
 - zawór kulowy pełnoprzelotowy z kulą jarzmioną, cena: 312 000,00 PLN.
- 2) Straty miejscowe na armaturze spowodowane przez opór przepływu uwzględniając średnie przepływy w ciepłowniczych sieciach magistralnych:

Rysunek 1. Konstrukcja zaworu z kulą pływającą i kulą jarzmioną



DN (pełny przelot)	Zawór z kulą pływającą	Zawór z kulą jarzmioną
150	900 Nm	250 Nm
200	1220 Nm	420 Nm
250	3240 Nm	710 Nm
300	6650 Nm	1060 Nm
400	12410 Nm	3350 Nm

Rysunek 2. Porównanie wielkości momentów przesterowania zaworów pełnoprzelotowych z kulą pływającą i jarzmioną

- przepustnica 3-mimosrodowa metal/metal, $\Delta p = 2850$ Pa;
- zawór kulowy pełnoprzelotowy z kulą jarzmioną, $\Delta p = 90$ Pa.

Należy również zwrócić uwagę, iż jednym z głównych trendów w ciepłownictwie Europy Zachodniej jest obniżanie temperatury zasilania. Aby zachować taki sam przepływ ciepła dla wciąż rozwijających się systemów ciepłowniczych, będziemy zmuszeni, zwiększać prędkości w rurociągach przesyłowych lub co zdecydowanie

bardziej kosztochłonne zwiększać ich średnice.

3) Cykliczne wymiany armatury i jej trwałość:

- przepustnice 3 mimosirowe metal/metal, 15 lat;
- zawory kulowe z kulami jarzmionymi, 30 lat.

Zawory kulowe jarzmione charakteryzują się większą niezawodnością i trwałością w porównaniu do przepustnic. Ich konstrukcja opiera się na jednym ruchomym elemencie – kuli, którą bardzo trudno uszkodzić zanieczyszczeniami stałymi płynącymi w rurociągu, takimi jak resztki elektrod spa-



Rysunek 6.

Trwała deformacja materiału pod naciskiem 15 MPa, przez okres 100h w temp. 23 st. C, pomiar po 24 h od usunięcia obciążenia [źródło: <https://multimedia.3m.com/mws/media/2269360/dy-nontm-ftfntm-ptfe-brochure.pdf>]

Parametry techniczne zaworów		Ballomax	Przepustnica
Średnica wewnętrzna rurociągu DN800	$d=D-2s$	0,7954 m	0,7954 m
Powierzchnia przekroju rurociągu	$A=d^2 \cdot \pi/4$	0,4966 m ²	0,4966 m ²
Prędkość medium	v	2,5 m/s	2,5 m/s
Natężenie przepływu $Q=A \cdot v$ [m ³ /h]	$Q=A \cdot v$	1,2415 m ³ /s	1,2415 m ³ /s
Współczynnik przepływu KV	Kv	180956 m ³ /h	31771 m ³ /h
Miejskowy spadek ciśnienia	$\Delta p=(Q/Kv)^2$	0,00061 bar	0,01979 bar
		61 Pa	1979 Pa
Współczynnik sprawności pompy	η	0,75	0,75
Zapotrzebowanie na moc elektryczną	$P=Q \cdot \Delta p / \eta$	101 W	3276 W
		0,101kW	3,276 kW

Rysunek 4.

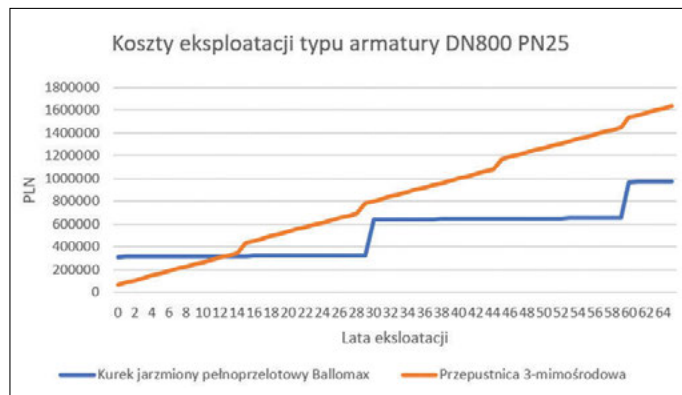
Kalkulacje oporów miejscowych oraz rocznych kosztów z tym związanych

walniczych, inne frakcje stałe. Natomiast przepustnice wszelkiego typu, w wyniku swojej konstrukcji, są bardziej podatne na uszkodzenia. Tak więc zawory kulowe w porównaniu do przepustnic wymagają mniej zabiegów konserwacyjnych i związanych z tym przestojów, co z kolei przekłada się na oszczędność czasu i kosztów napraw.

Roczna oszczędność energii elektrycznej przy zastosowaniu zaworu pełnoprzelotowego jarzmionego Ballomax wynosi 19 360,36 PLN/rok.

wych. Redukcja zużycia energii elektrycznej przekłada się na mniejszą emisję gazów cieplarnianych, a w obliczu rosnącej świadomości ekologicznej to ważny argument przemawiający za stosowaniem tych innowacyjnych rozwiązań. Kolejną korzyścią jest „oszczędność nerwów” i „spokojna głowa” w przypadku zastosowania pewnego odcięcia za pomocą zaworu kulowego jarzmionego.

Drugim trendem w armaturze przemysłowej, który pojawił się ostatnio w USA



Rysunek 5.

Koszty eksploatacji armatury w długim okresie

Na rysunku 5 można zauważyć, że już po 12 latach eksploatacji, wydawałoby się droższe rozwiązanie jak zawory kulowe jarzmione, zaczynają przynosić oszczędności dla użytkownika.

Oszczędności uzyskiwane w wyniku stosowania zaworów kulowych jarzmionych nie dotyczą tylko kwestii finanso-

o i Europie Zachodniej jest stosowanie innych typów uszczelnienia, głównie TFM.

W Polsce w dalszym ciągu przeważają uszczelnienia z teflonu, czyli PTFE, lub uszczelnienia z Teflonu wypełnione grafitem PTFE + C.

TFM, czyli Tetrafluoroetylene, jest droższym materiałem w stosunku do PTFE

i PTFE+C, ponieważ został w 100% zmodyfikowany chemicznie, w związku z tym charakteryzuje się znakomitymi właściwościami mechanicznymi i chemicznymi, takimi jak:

- 1) Polepszona stabilność wymiarowa:** TFM charakteryzuje się mniejszą deformacją pod naciskiem niż PTFE+C, a co za tym idzie wpływa znacząco na stabilność wymiarową szczeliwa w trakcie eksploatacji i wydłuża poprawną pracę, czyli zachowanie szczelności w zaworach.
- 2) Duża odporność na podwyższone temperatury:** TFM ma większą odporność na odkształcenia występujące od temperatury w stosunku do PTFE, co jest istotne głównie w zastosowaniach ciepłowniczych i energetycznych.
- 3) Doskonała odporność chemiczna:** odporność na wiele różnych substancji chemicznych.
- 4) Podwyższona odporność na przepuszczalność gazów:** TFM wykazuje dobrą odporność na przenikanie gazów, co czyni go odpowiednim materiałem również na media gazowe.

Podsumowując:

W związku z koniecznością transformacji energetycznej i dużym naciskiem kładzionym na efektywność energetyczną oraz coraz większą świadomością ludzi odpowiedzialnych za majątek i przyszłość przedsiębiorstw energetycznych, chemicznych oraz przemysłowych, widać, że bardziej innowacyjne rozwiązania z konieczności droższe, niedługo zawitają również do Polski. Ich stosowanie ma uzasadnienie, przede wszystkim ekonomiczne, generując znaczne oszczędności w trakcie eksploatacji oraz poprawiając efektywność i niezawodność armatury a przez to całych systemów.

ZAWORY KULOWE NOWEJ GENERACJI

NEW

BĘDIEMY OBECNI NA:

XXVI Seminarium Szkoleniowym
PZITS w Grudziądzu
19-20.04.2024

XXXI Sympozjum Wiosenne
Spotkanie Ciepłowników
w Zakopanem
23-25.04.2024

Sympozjum Branży
Ciepłowniczej, Gazowej
i Wodociągowo-kanalizacyjnej
w Augustowie
16-17.05.2024

Seminariach MILLENNIUM
INSTALACJE SANITARNE w:
Gdańsku 21.05.2024,
Bydgoszczy 22.05.2024,
Łodzi 23.05.2024,
Szczecinie 11.06.2024,
Poznaniu 12.06.2024



BROEN
BALLOMAX® *Designed to last*

BROEN BALLOMAX® DN15-65 ze zredukowanym przełotem i DN15-50 z pełnym przełotem to nowoczesne i bezpieczne zawory odcinające dla ciepłownictwa.

- Zoptymalizowana i kompaktowa konstrukcja zaworu,
- Identyfikowalność – indywidualna identyfikacja zaworu,
- Opatentowany duński design – made in EU.

DN15-65 | PN25 | do spawania, gwintowane

XIII Konferencja Ciepła Systemowego

W dniach 27 – 29.02.2024 r. w Lublinie odbyła się XIII Konferencja Rynek Ciepła Systemowego organizowana przez Izbę Gospodarczą Ciepłownictwo Polskie przy współpracy Lubelskiego Przedsiębiorstwa Energetyki Ciepłej oraz OPEC Puławy. W Konferencji uczestniczyło około 130 osób, głównie z Przedsiębiorstw Energetyki Ciepłej. Na uwagę zasługuje fakt uczestnictwa przedstawicieli Urzędu Regulacji Energetyki: Anny Mielcarek – Dyrektor Departamentu Rynków Energii Elektrycznej i Ciepła URE (fot.1), Dyrektorów wszystkich Oddziałów Terenowych URE oraz pracowników OT URE w Lublinie, którzy uczestniczyli w warsztatach na temat obecnych modeli kształtowania cen ciepła przeprowadzonych w ramach II sesji Konferencji.

W I Sesji Konferencji moderowanej przez Jacka Szymczaka – Prezesa Zarządu IGCP (fot.1), Marek Goluch – Prezes Zarządu oraz Teresa Sępniak – Romanek, Kierownik Działu Strategii i Marketingu LPEC S.A. (fot.2) przedstawili referat związany z jubileuszem 60-lecia firmy, w którym przedstawiono „skromne” początki od roku 1964, od lokalnych kotłowni opalanych węglem (22), z których ciepło przesyłano siecią ciepłowniczą o długości zaledwie 17 km, aż do uzyskania statusu efektywnego systemu ciepłowniczego (udział ciepła użytkowego w kogeneracji – 82,67 %, wskaźnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej – 0,36, udział procentowy ciepła wytworzonego z odnawialnych źródeł energii – ciepła z instalacji termicznego przekształcania odpadów oraz ciepła odpadowego z instalacji przemysłowych – 8,36%). Obecną siecią ciepłowniczą LPEC dostarcza ciepło do prawie 75% gospodarstw domowych w Lublinie, ogrzewając blisko 250 tysięcy jego mieszkańców, a jej długość wynosi 469 km z czego aż 82% to sieci preizolowane. Ciepło produkowane jest w procesie kogeneracji z zastosowaniem najwyższych norm środowiskowych w dwóch elektrociepłowniach: PGE Energia Ciepła S.A. Oddział Elektrociepłownia w Lublinie Wrotków oraz w Elektrociepłowni MEGATEM EC-Lublin Sp. z o.o.

- Agnieszka Ościłowska, Manager Marki Ciepło Systemowe, IGCP zaprezentowała narzędzia Programu Promocji Ciepła Systemowego służące do budowania wizerunku nowoczesnego przedsiębiorstwa ciepłowniczego:
 - Nowoczesne ciepłownictwo i transformacja w parze z marketingiem i komunikacją,
 - Praca u podstaw opłaca się – pakiet podstawowy PPCS,
 - Zwinny marketing – racjonalny sposób na reklamę i public relations.
- Kaja Kamińska, Koordynator projektu „Lekcje ciepła w mieście” z Elektrociepłowni Ciechanów omówiła realizację tego projektu.
- Sławomir Lorek, Prezes Zarządu oraz Jacek Słanina, Dyrektor Projektów i Marketingu

MPEC Konin przedstawili w formie video referat pt. „Raport Czyste Ciepło i jego wykorzystanie w kształtowaniu wizerunku nowoczesnego przedsiębiorstwa ciepłowniczego – MPEC Konin”.

- Aleksandra Jeż, Specjalista ds. marketingu, MEC Koszalin zaprezentowała kampanię dla budowania wizerunku przedsiębiorstwa ciepłowniczego w trakcie transformacji technologicznej.
- Kornel Paradowski, BROEN POLAND Dzierżoniów (fot.3) zaprezentował „Nowe rozwiązania w zavorach w Europie Zachodniej, czyli jak dzięki zaworom jarmio-nym zaoszczędzić na sieciach ciepłowniczych” – referat w formie artykułu publikujemy w tym numerze Instal na str 7-8.
- Prezentację „Mobilne odsiarczenie spalin” przedstawił Tomasz Bień, Dyrektor Techniczny, BIKO-SERWIS Nowiny.

W II Sesji Konferencji moderowanej przez Bogusława Reguńskiego – Wiceprezesa Zarządu IGCP odbyły się warsztaty oraz zostały przedstawione prezentacje:

- Warsztaty nt. „Obecne modele kształtowania cen ciepła w kontekście bieżącej sytuacji finansowej przedsiębiorstw oraz konieczności transformacji sektora Ciepłownictwa Systemowego” przeprowadziła dr inż. Małgorzata Niestępska, Prezes Zarządu Elektrociepłowni Ciechanów (fot.4). Uczestnicy konferencji zostali podzieleni na 13 grup. Każda grupa otrzymała do rozpracowania jedno studium przypadku. Na koniec warsztatów liderzy poszczególnych grup roboczych przedstawili rezultaty prac swoich zespołów.
- Prezentację nt. „Aby czymś zarządzać, trzeba to mierzyć – efektywne wykorzystanie Zintegrowanego Systemu Informatycznego w zarządzaniu nowoczesnym przedsiębiorstwem ciepłowniczym” przedstawił Wojciech Gębski, Project Manager, UNISOFT Sp. z o.o.
- Referat pt. „Sterowanie prognozowe jako narzędzie w zakresie obniżenia zużycia energii na poziomie systemu ciepłowniczego, podstacji ciepłych oraz budynków” wygłosił dr hab. inż. Tomasz Cholewa, prof. Politechniki Lubelskiej. Przedstawiono w nim system sterowania prognozowego, który jest łatwy w zastosowaniu w istniejących obiektach sterowania (czas instalacji około 2h) i może współpracować z istniejącą automatyką. Zastosowanie sterowania prognozowego pozwala zaktualizować istniejący system sterowania pogodowego (system nadążny) i reagować z odpowiednim wyprzedzeniem na zmieniające się warunki pogodowe oraz preferencje użytkowników. Takie podejście pozwala na odpowiednie dopasowanie dostawy ciepła przy uwzględnieniu bezwładności cieplnej obiektu sterowania.



- Prezentację nt. „Optymalizacja sieci ciepłowniczych korzystających z buforów i pomp ciepła” przedstawił Karol Jasiński, Gradyent B.V. Rotterdam.

W III Sesji Konferencji moderowanej przez Bogusława Reguńskiego – Wiceprezesa Zarządu IGCP zostały przedstawione:

- Referat nt. „Praktyczne aspekty rozliczania rekompensat i wyrównań dla ciepła na podstawie Ustawy z dnia 7.12.2023 r. zmieniającej ustawę o szczególnych rozwiązaniach w zakresie niektórych źródeł ciepła w związku z sytuacją na rynku paliw” przedstawił dr hab. Marcin Wierzbński, prof. Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Prezes Zarządu Enerpoint Wrocław.
- Dr inż. Małgorzata Niestępska, Prezes Zarządu Elektrociepłowni Ciechanów podsumowała prace zespołów wykonane w sesji warsztatowej. Artykuł na ten temat publikujemy w tym numerze Instal na str 11-17. Na zakończenie tej sesji odbyła się dyskusja z udziałem uczestników Konferencji.

Zdjęcia wykonał: Zbigniew Gołębiowski
Przedstawiciel Regionalnego Oddziału Północno-Wschodniego IGCP
Relacja: Janusz Wróblewski
Redaktor Naczelny miesięcznika Instal,
patrona medialnego Konferencji

Model kształtowania cen ciepła systemowego w Polsce w ocenie branży i regulatora

A model for system heat pricing in Poland from the perspective of district heating companies and the regulator

MAŁGORZATA NIESTĘPSKA

DOI 10.36119/15.2024.4.1

Aktualizacja założeń pakietu „Fit for 55” wprowadzona nowelą dyrektyw ETS, EE, OZE i IED w 2023 r. stawia przed sektorem energetycznym, a w szczególności ciepłownictwem ogromne wyzwania w zakresie dekarbonizacji. Nowa odsłona „Zielonego Ładu” oraz koncepcji „REPowerEU” stawia na radykalną poprawę efektywności energetycznej, a w szczególności poprawienie charakterystyki energetycznej budynków, co oznacza sukcesywne kurczenie się rynku ciepła. Mniejsza sprzedaż oznacza mniejsze przychody dla przedsiębiorstw ciepłowniczych. Dostawcy ciepła muszą zmierzyć się z wyzwaniem zachowania konkurencyjnej ceny przy niższym wolumenie sprzedaży, a jednocześnie realizować kapitałochłonne inwestycje w zazielenienie i efektywność systemów ciepłowniczych. Nowela dyrektywy w sprawie efektywności energetycznej ustanowiła nową definicję „efektywnych systemów ciepłowniczych i chłodniczych” wyznaczając termin zdekarbonizowania systemów ciepłowniczych do 2050 roku. Zaledwie 20 % polskich systemów ciepłowniczych spełnia aktualną definicję, a więc nadal w znakomitej większości polskie systemy ciepłownicze nie są efektywne. Jednocześnie analiza sytuacji ekonomicznej przedsiębiorstw wykazuje, że nie dysponują one wystarczającymi środkami na inwestycje. Ceny ciepła w Polsce w przypadku przedsiębiorstw koncesjonowanych są w pełni regulowane. Sytuacja ekonomiczna sektora od kilku lat ulega pogorszeniu. W szczególności problemy z rentownością i płynnością finansową wykazują przedsiębiorstwa wytwarzające ciepło w kogeneracji, czyli najbardziej preferowane w efektywnym systemie ciepłowniczym. Co jest przyczyną niezadowalającej dynamiki transformacji sektora ciepła systemowego? Jak można naprawić tę sytuację? Czy kluczowa jest rewizja zasad regulacji cen ciepła czy wystarczy intensyfikacja wsparcia finansowego? Czy model regulacji cen ciepła w Polsce powinien ulec liberalizacji wzorem Niemiec czy pozostać tylko nieznacznie skorygowany? Na te pytania odpowiadali uczestnicy warsztatów zorganizowanych przez Izbę Gospodarczą Ciepłownictwo Polskie podczas XIII Konferencji Rynku Ciepła Systemowego w dniach 27-29 lutego 2024 r. w Lublinie.

Słowa kluczowe: ciepłownictwo, ceny ciepła, polityka klimatyczna, REPower, Zielony Ład, energia

The update of the 'Fit for 55' package introduced by the amendment of the ETS, EE, RES and IED directives in 2023 poses enormous challenges for the energy sector and in particular the heating sector in terms of decarbonisation. The new iteration of the "Green Deal" and the "REPowerEU" concept puts the focus on a radical improvement of energy efficiency which means a successive shrinking of the heat market. With declining revenues, district heating companies are challenged on the one hand to maintain a competitive price in relation to the substitute offer of electricity heating, and on the other hand they have to make capital-intensive investments in greening and efficiency. The amendment to the Energy Efficiency Directive established a new definition of 'efficient heating and cooling systems' setting a deadline of 2050 for decarbonising district heating systems. Only 20% of Polish district heating systems meet the current definition, so the vast majority of Polish district heating systems are still not efficient. At the same time, an analysis of the economic situation of companies shows that they do not have sufficient funds for investment. Heat prices in Poland for licensed companies are fully regulated. The economic situation of the sector has been deteriorating for several years. In particular, companies producing heat in cogeneration, i.e. the most preferred in an efficient district heating system, are showing problems with profitability and liquidity. What is the reason for the unsatisfactory transformation dynamics of the district heating sector? How can this situation be rectified? Is a revision of heat price regulation principles crucial or is intensification of financial support sufficient? Should the heat price regulation model in Poland be liberalised following the German model or remain only slightly adjusted? These questions were answered by participants in a workshop organised by the Polish Heating Industry Chamber of Commerce during the 13th System Heat Market Conference on 27-29 February 2024 in Lublin.

Keywords: district heating, heat prices, climate policy, REPower, Green Deal, energy

Przed sektorem ciepłownictwa oraz odbiorcami ciepła Unia Europejska stawia na kolejne lata ogromne wyzwania w zakresie transformacji w całym łańcuchu ży-

cia ciepła i energii jako zasobu o określonej użyteczności. W kontekście ostatniej aktualizacji polityk „Zielonego Ładu” oraz koncepcji „REPowerEU” nowego znacze-

nia nabiera stwierdzenie: „najtańsza energia to energia nie zużyta”. W klasycznym podejściu początkiem cyklu życia energii zawartej w paliwach kopalnych jest ich

wydobycie oraz przetworzenie w instalacjach do postaci energii elektrycznej, ciepła, chłodu, lub energii kinetycznej. W nowej perspektywie, początkiem łańcucha życia energii jako zasobu niezbędnego dla funkcjonowania dzisiejszego świata jest końcowe zapotrzebowanie odbiorcy danej formy energii. Dlatego kluczowym podejściem polityki „Zielonego Ładu” jest ograniczenie zużycia energii na końcu jej cyklu życia, aby poprzez zmniejszanie zapotrzebowania na moc w poszczególnych etapach jej przekształcania ostatecznie wrócić do początku cyklu i zminimalizować zapotrzebowanie na energię pierwotną.

Pakiet „Fit for 55” wytycza między innymi kierunek przebudowy, modernizacji oraz dekarbonizacji sektora ciepłowniczego i chłodniczego. Zmieniona w końcu 2023 r. dyrektywa w sprawie efektywności energetycznej zmienia definicję „efektywnych systemów ciepłowniczych i chłodniczych” wyznaczając ścieżkę do całkowicie zdekarbonizowanych systemów ciepłowniczych do 2050 roku. Definicja określa harmonogram wdrażania kamieni milowych dla wymiany mocy w systemach ciepłowniczych na odnawialne źródła ciepła oraz ciepło odpadowe docelowo do 100% w 2050 roku. Alternatywnie, realizacja pakietu wymaga sukcesywnej redukcji emisji gazów cieplarnianych na jednostkę ciepła: do 200 g/kWh do końca 2025 r., 150 g/kWh od 2026 r., 100 g/kWh od 2035 r., 50 g/kWh od 2045 r. oraz osiągnięcie całkowitej neutralności klimatycznej do 2050 r. Według nowej definicji efektywnego systemu ciepłowniczego obowiązki w poszczególnych latach do 2050 r. zostały sformułowane szczegółowo w Art. 26 ust. 1 i 2 Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1791 z dnia 13 września 2023 r. w sprawie efektywności energetycznej oraz zmienione rozporządzeniem (UE) 2023/955 (wersja przekształcona) i brzmią następująco:

„a) do dnia 31 grudnia 2027 r. – system, w którym wykorzystuje się w co najmniej 50 % energię ze źródeł odnawialnych lub w co najmniej 50 % ciepło odpadowe, lub w co najmniej 75 % ciepło pochodzące z kogeneracji, lub w co najmniej 50 % połączenie takiej energii i ciepła;

b) od dnia 1 stycznia 2028 r. – system, w którym wykorzystuje się w co najmniej 50 % energię ze źródeł odnawialnych lub w co najmniej 50 % ciepło odpadowe, w co najmniej 50 % energię ze źródeł odnawialnych i ciepło odpadowe, w co najmniej 80 % ciepło pochodzące z wysokosprawnej kogeneracji, lub co najmniej połączenie takiej energii cieplnej wprowadzanej do sieci, w którym udział energii ze

źródeł odnawialnych wynosi co najmniej 5 %, a całkowity udział energii ze źródeł odnawialnych, ciepła odpadowego lub ciepła pochodzącego z wysokosprawnej kogeneracji wynosi co najmniej 50 %;

c) od dnia 1 stycznia 2035 r. – system, w którym wykorzystuje się w co najmniej 50 % energię ze źródeł odnawialnych, w co najmniej 50 % ciepło odpadowe lub w co najmniej 50 % energię ze źródeł odnawialnych i ciepło odpadowe, lub system, w którym całkowity udział energii ze źródeł odnawialnych, ciepła odpadowego lub ciepła pochodzącego z wysokosprawnej kogeneracji wynosi co najmniej 80 % i ponadto całkowity udział energii ze źródeł odnawialnych lub ciepła odpadowego wynosi co najmniej 35 %;

d) od dnia 1 stycznia 2040 r. – system, w którym wykorzystuje się w co najmniej 75 % energię ze źródeł odnawialnych, w co najmniej 75 % ciepło odpadowe lub w co najmniej 75 % energię ze źródeł odnawialnych i ciepło odpadowe, lub system, w którym wykorzystuje się w co najmniej 95 % energię ze źródeł odnawialnych, ciepło odpadowe i ciepło pochodzące z wysokosprawnej kogeneracji i ponadto całkowity udział energii ze źródeł odnawialnych lub ciepła odpadowego wynosi co najmniej 35 %;

e) od dnia 1 stycznia 2045 r. – system, w którym wykorzystuje się w co najmniej 75 % energię ze źródeł odnawialnych, w co najmniej 75 % ciepło odpadowe lub w co najmniej 75 % energię ze źródeł odnawialnych i ciepło odpadowe;

f) od dnia 1 stycznia 2050 r. – system, w którym wykorzystuje się wyłącznie energię ze źródeł odnawialnych, wyłącznie ciepło odpadowe lub wyłącznie połączenie energii ze źródeł odnawialnych i ciepła odpadowego.

2. Jako alternatywę dla kryteriów określonych w ust. 1 niniejszego artykułu państwa członkowskie mogą również wybrać kryteria w zakresie zrównoważonego rozwoju oparte na wielkości emisji gazów cieplarnianych z systemu ciepłowniczego i chłodniczego na jednostkę ciepła lub chłodu dostarczoną odbiorcom, z uwzględnieniem środków wdrożonych w celu wypełnienia obowiązku na podstawie art. 24 ust. 4 dyrektywy (UE) 2018/2001. W przypadku wyboru tych kryteriów efektywny system ciepłowniczy i chłodniczy to system, który ma następujące maksymalne wielkości emisji gazów cieplarnianych na jednostkę ciepła lub chłodu dostarczoną odbiorcom:

a) do dnia 31 grudnia 2025 r.: 200 g/kWh;

b) od dnia 1 stycznia 2026 r.: 150 g/kWh;

c) od dnia 1 stycznia 2035 r.: 100 g/kWh;

d) od dnia 1 stycznia 2045 r.: 50 g/kWh; e) od dnia 1 stycznia 2050 r.: 0 g/kWh.¹

Jest to scenariusz, który przy dzisiejszej strukturze rynku ciepła systemowego i progresji zmian w Polsce wydaje się dość utopijny. Tymczasem twórcy pakietu „Fit for 55” przyjęli również, że instrumentem mającym kluczowe znaczenie w osiąganiu opisanych wyżej kamieni milowych przekształcania systemów ciepłowniczych i chłodniczych na efektywne, będzie obowiązkowe tworzenie lokalnych planów ogrzewania i chłodzenia dla gmin powyżej 45 000 mieszkańców. Domknięciem realizacji tych bardzo ambitnych celów jest rewizja dyrektywy ustanawiającej system handlu przydziałami emisji gazów cieplarnianych (ETS)². Najważniejsze zmiany dotyczą zasady przydziału bezpłatnych uprawnień na lata 2026-2030, wprowadzenia obowiązku sporządzenia planów neutralności klimatycznej oraz zmiany zasady sumowania mocy, z której wyłącza się jednostki o mocy nominalnej niższej niż 3 MW. Plan neutralności klimatycznej jest bowiem silnie skorelowany z założeniami osiągnięcia całkowitej neutralności klimatycznej systemów ciepłowniczych po 2050 r. Jak podają autorzy publikacji pt. „Fit for 2050. Uwolnienie potencjału efektywnych systemów ciepłowniczych i chłodniczych w celu dekarbonizacji Europy” przygotowanej przez Euroheat & Power szacuje się, że aby zrealizować założenia REPower trzeba zainwestować w sieci ciepłownicze w UE ok. 144 mld euro tylko do 2030 roku³. I to właśnie aspekt finansowy jest słabą stroną tego planu i istotną barierą realizacji kamieni milowych. Istotny problem może stanowić finansowanie – przy zapewnieniu zadowalającego zwrotu z inwestycji – nawet dla przedsiębiorstw użyteczności publicznej. Według raportu przygotowanego przez Polskie Towarzystwo Elektrociepłowni Zawodowych pt. „Dekarbonizacja ciepłownictwa systemowego w Polsce w świetle pakietu „Fit for 55” z kwietnia 2022 r. „dostosowanie polskiego sektora ciepłownictwa systemowego do wymogów zaproponowanych w projekcie regulacji pakietu „Fit for 55” będzie kosztowało:

1 Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1791 z dnia 13 września 2023 r. w sprawie efektywności energetycznej oraz zmieniająca rozporządzenie.

2 Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/959 z dnia 10 maja 2023 r. zmieniająca dyrektywę 2003/87/WE ustanawiającą system handlu przydziałami emisji gazów cieplarnianych w Unii oraz decyzję (UE) 2015/1814 w sprawie ustanowienia i funkcjonowania rezerwy stabilności rynkowej dla unijnego systemu handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych.

3 Heat Matters: the missing link in the REPower EU, Aalborg University 2023.

– od 95 mld zł do 170 mld zł – nakłady inwestycyjne na infrastrukturę wytwórczą,
– od 76 mld zł do 100 mld zł – nakłady inwestycyjne na infrastrukturę przesyłową i dystrybucyjną,
– od 106 mld zł do 140 mld zł – nakłady inwestycyjne na modernizację instalacji odbiorczych.

Sumarycznie oznacza to co najmniej 277 mld zł do 410 mld zł nakładów inwestycyjnych do poniesienia w perspektywie do 2045 roku na transformację sektora ciepłownictwa systemowego, przy czym znaczna część nakładów inwestycyjnych jest konieczna do wydatkowania już do roku 2026 – nakłady inwestycyjne na poziomie od 145 do 250 mld zł.⁴

Czy sektor ciepła jest na to gotowy? Jak wygląda sytuacja finansowa ciepłownictwa w Polsce i czy może stanowić barierę dla transformacji w tempie wskazanym w wymienionych wyżej, znowelizowanych dyrektywach.

Otóż ostatni raport Prezesa URE „Energetyka ciepła w liczbach – 2022” pokazuje brak przygotowania w zakresie wymaganych środków pieniężnych i kapitału polskich przedsiębiorstw koncesjonowanych objętych pełną regulacją cen ciepła, usług przesyłu, dystrybucji oraz opłat za przyłączenie. Nakłady na inwestycje w roku 2022, jak podaje URE były rekordowe i wyniosły 4,73 mld zł do średnio ok. 3 mld w latach poprzednich. Co jest wynikiem imponującym, mając na uwadze prezentowane poniżej wyniki finansowe

Tabela 1 Wskaźniki ekonomiczne przedsiębiorstw ciepłowniczych w latach 2002, 2021-2022
Table 2 Economic indicators of district heating companies 2002, 2021-2022

Wskaźniki	2022	2021	2002	2022/2021	2022/2002
Całkowite zadłużenie	0,59	0,52	0,37	1,13	1,59
Płynność ¹	0,55	0,62	0,71	0,89	0,77
Stopień pokrycia inwestycji przez środki własne	76,18%	62,32%	78,70%	1,22	0,97

¹Płynność jako iloraz należności bieżących do zobowiązań krótkoterminowych

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych URE

Z ekonomicznego punktu widzenia przedsiębiorstwa ciepłownicze, w szczególności produkujące ciepło z priorytetowej w definicji efektywnego systemu ciepłowniczego kogeneracji, nie tylko nie zapewniają zadowalającego zwrotu z inwestycji, ale od czterech lat generują stratę.

W powyższym zestawieniu istotnych wskaźników ekonomicznych zwraca uwagę spadającą płynność oraz wzrastające zadłużenie przedsiębiorstw. Natomiast dość wysoki stopień pokrycia inwestycji środkami własnymi tj. wkładem własnym, zyskiem netto, amortyzacją oraz wpływami ze sprzedaży aktywów może świadczyć o problemie z dostępem do kapitału obcego w formie kredytów lub dotacji. Należy przy tym zauważyć, że zgodnie z zapisami art. 46 ust. 7 rozporządzenia GBER⁶ w kolejnych latach poziom pomocy publicznej nie może przekraczać 30 %. Wyjątkiem jest przypadek pomocy publicznej udzielanej w ramach wykazanej luki w finansowaniu, a więc na przykład inwestycji czysto odtworzeniowych. W takich przypadkach intensywność pomocy publicznej może wynieść nawet 100 % luki finansowej.

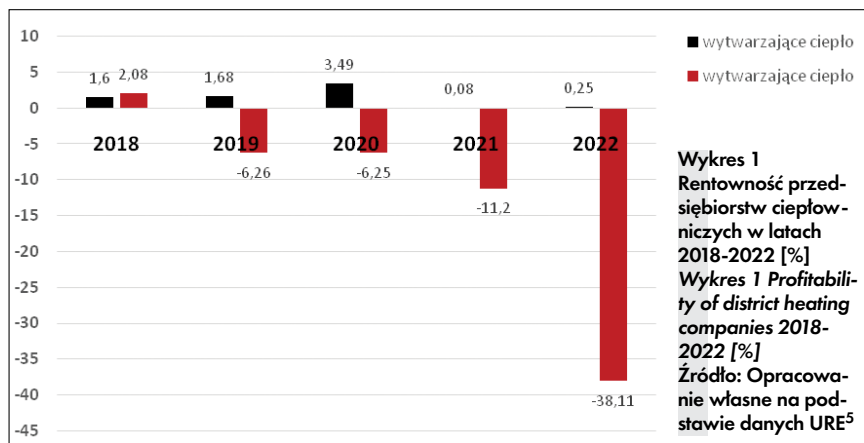
Rozporządzenie przewiduje również możliwości zwiększenia intensywności pomocy publicznej dla małych i średnich przedsiębiorstw. W przypadku dużych przedsiębiorstw, elektrociepłowni opartych na węglu sytuacja nie wygląda dobrze z perspektywy ekonomicznej zdolności do realizacji kamieni milowych pakietu „Fit for 55” w tym „REPowerEU”.

Obecną kondycję finansową przedsiębiorstw należy zderzyć z prognozą istotnego spadku sprzedaży ciepła w perspektywie realizacji pakietu. Spadek mocy zamówionej oraz sprzedaży ciepła będzie wynikiem z realizacji działań w zakresie renowacji, termomodernizacji, nowych wymagań efektywności budynków oraz zmian pogody w naszej strefie klimatycznej i systematycznego ocieplania się klimatu.

Branża ciepłownicza nie może więc liczyć na rentę od rozwoju, nowych przyłączy i wzrostu sprzedaży. W dużych aglomeracjach być może wolumen sprzedaży ciepła będzie stabilny, ale w większości średnich i małych miejscowości wolumen sprzedaży będzie spadał. Będzie to wymuszało efektywność kosztową w obszarze ograniczania kosztów stałych w pozycjach innych niż rosnąca w efekcie realizowanych inwestycji amortyzacja. Co stanowi kolejne wyzwanie dla przedsiębiorstw dostarczających ciepło systemowe.

Opisana wyżej bardzo trudna sytuacja polskiego sektora ciepła systemowego wymaga działań naprawczych, jeśli ma podołać przyjętym kamieniom milowym w zakresie dekarbonizacji. Ciepło bowiem jest usługą powszechną, a zapewnienie jego dostaw zadaniem państwa realizowanym na szczeblu gminy.

Logiczne podejście do ochrony ograniczonych zasobów oraz cel minimalizacji kosztów zaspokojenia potrzeb energetycznych tylko pozornie kłóci się z dążeniem do rozwoju rynku sektora energetycznego i celu maksymalizacji zysku przez przedsiębiorstwa sektora energetycznego. Jest to jednak tylko kwestia perspektywy. Tradycyjne ciepłownictwo jest postrzegane przez pryzmat lokalnych przedsiębiorstw i lokalnych sieci jako lokalny rynek. Pomimo konkurencji substytucyjnej nadal traktowane jest jako monopol naturalny co ma uzasadniać regulację cen



przedsiębiorstw. W szczególności o słabej kondycji ekonomicznej sektora świadczą: wskaźniki rentowności i całkowitego zadłużenia, płynności czy stopnia pokrycia inwestycji przez środki własne. Tymczasem z wymienionego wyżej raportu PTEZ wynika, że skala nakładów inwestycyjnych powinna być czterokrotnie zwiększona.

⁴ <https://ptez.pl/raporty/dekarbonizacja-cieplownictwa-systemowego-w-polsce-w-swietle-pakietu-fit-for-55/>; [data dostępu: 06.03.2024r.]

⁵ Energetyka ciepła w liczbach – 2022, [red.] Departament Rynków Energii Elektrycznej i Ciepła URE/Oddziały Terenowe URE/ szczegółowe dane opracował Robert Kościelowski; Urząd Regulacji Energetyki, 2023

⁶ Rozporządzenie Komisji (UE) 2023/1315 z dnia 23 czerwca 2023 r. zmieniające rozporządzenie (UE) nr 651/2014 uznające niektóre rodzaje pomocy za zgodne z rynkiem wewnętrznym w zastosowaniu art. 107 i 108 Traktatu oraz rozporządzenie (UE) 2022/2473 uznające niektóre kategorie pomocy udzielanej przedsiębiorstwom prowadzącym działalność w zakresie produkcji, przetwórstwa i wprowadzania do obrotu produktów rybołówstwa i akwakultury za zgodne z rynkiem wewnętrznym w zastosowaniu art. 107 i 108 Traktatu.

w celu ochrony odbiorców ciepła przed praktykami monopolistycznymi. Mało kto zauważa, że ten paradygmat jest już w dobie powszechnego dostępu do informacji o cenach ciepła, energii, paliw w dowolnym miejscu kraju i poza jego granicami, po prostu nieaktualny. Co prawda zapisy prawa dają chwilową przewagę rynkową efektywnym systemom ciepłowniczym jako rozwiązanie pierwszego wyboru zaopatrzenia w ciepło, jednak dynamika zmian rozwiązań technologicznych na rynku oraz redefiniowanie pojęcia efektywnego systemu ciepłowniczego zniwelują i tą pozorną przewagę. Czas więc przyjrzeć się dzisiejszemu modelowi kształtowania cen ciepła w kontekście potrzeb generowania środków na inwestycje w dekarbonizację sektora ciepła oraz efektów zmian rynku ciepła wyrażonych ceną usługi dla odbiorcy.

Obecnie funkcjonujący w Polsce model kształtowania cen ciepła systemowego pochodzącego z sieci ciepłowniczej jest regulowany przez Urząd Regulacji Energetyki na podstawie zapisów ustawy Prawo energetyczne⁷ oraz rozporządzenia o szczegółowych zasadach kształtowania i kalkulacji taryf oraz rozliczeń z tytułu zaopatrzenia w ciepło.⁸ Zatwierdzone są zarówno ceny dystrybucji i przesyłu energii dla wszystkich odbiorców jak i ceny ciepła kupowanego do sieci ciepłowniczej. Wyłączone z tych regulacji są jedynie źródła lokalne lub mikrosystemy ciepłownicze o mocy mniejszej niż 5 MW termicznych. W przypadku rynków gazu oraz energii elektrycznej ceny regulowane energii i paliwa obejmują tylko odbiorców w gospodarstwach domowych o ile nie zdecydują się na umowę komercyjną oraz regulowane są taryfą ceny usług sieciowych dystrybucji i przesyłu. Gaz oraz energia elektryczna sprzedawane są na Towarowej Giełdzie Energii (TGE), czyli rynku nieograniczonej konkurencji. Należy przy tym wspomnieć, że w roku 2023 ograniczono niestety efekt konkurencyjnego, transparentnego mechanizmu kreowania cen energii elektrycznej w ramach równowagi popytu i sprzedaży na rynku, znosząc obbligo giełdowe dla sprzedaży. Na szczęście punktem odniesienia pozostał rynek bilansujący.

Wracając jednak do zasad ustalania cen ciepła jest to ostatni rynek w pełni regulowany w Polsce i Unii. Ceny ciepła ze źródeł konwencjonalnych regulowane są

taryfą kosztową, która jest oparta o kalkulację progno rentowności z opcją ściśle określonej sztywnym modelem wartości zwrotu z kapitału. Źródła kogeneracyjne niezależnie od stosowanego paliwa i stosunku mocy cieplnej do elektrycznej regulowane są na zasadzie taryfy uproszczonej, bazującej na benchmarku taryf kosztowych dla danego paliwa uzupełnionych o współczynnik ustalany i publikowany wraz z benchmarkami przez Prezesa URE do końca miesiąca marca każdego roku. Benchmarki stanowiące bazę kalkulacji taryfy uproszczonej odzwierciedlają poziom cen taryf źródeł konwencjonalnych sprzed ponad 12 miesięcy. Oba modele taryfowe bazują na danych *ex post*. Tymczasem dynamika zmian otoczenia rynkowego przedsiębiorstw wzrasta, a wolumeny sprzedaży ciepła maleją z roku na rok, co przy pierwotnym założeniu kalkulacji na progno rentowności taryf kosztowych, a więc i benchmarku taryf uproszczonych zwiększa ryzyko braku pokrycia kosztów całkowitych, a nawet długoterminowo kosztów przeciętnych. Efekty tej dysfunkcyjnej statycznej regulacji *ex post* były bardzo dotkliwe i odbiły się na i tak słabej kondycji przedsiębiorstw ciepłowniczych w latach 2021-2023. Niezależnie od stosowanej w nich technologii wytwarzania ciepła.

W Unii Europejskiej rynki ciepłownicze funkcjonują w różnych wariantach regulacyjnych zaczynając od całkowitej liberalizacji w Niemczech po regulację cen na rynku duńskim, estońskim czy czeskim. Zasady regulacji cen ciepła różnią się istotnie w poszczególnych krajach w zakresie poziomu ingerencji Regulatora w kalkulację i obowiązku zatwierdzenia. W Niemczech ceny ciepła systemowego są kształtowane na zasadach rynkowych, aczkolwiek ich struktura jest analogiczna jak w Polsce co do podziału na poszczególne komponenty odpowiednio zawarte w opłacie stałej i zmiennej. Model kalkulacji cen przedsiębiorca udostępnia odbiorcom ciepła. Niemieckie przedsiębiorstwa ciepłownicze mogą skorygować ceny, adekwatnie do zmian na europejskich rynkach paliw. Cenniki przedsiębiorstw podlegają kontroli *ex post on request* przez Federalny Urząd Antymonopolowy, który może wszczynać kontrole w przypadku uzasadnionego podejrzenia naruszania praw konsumentów. Federalny Urząd Antymonopolowy posiada kompetencje do weryfikacji stosowanych taryf, współczynników przyjętych do obliczeń oraz przyjętej metodyki obliczeniowej. Czeski sektor ciepłowniczy podlega regulacji realizowanej poprzez regulatora ERU (*ang. Energy Regulatory Office*). Producenci lub dystrybutorzy ciepła w za-

twierdzanej taryfie mogą uwzględnić: ekonomicznie uzasadnione koszty działalności, rozsądny/godziwy zysk, podatek VAT. Wolumen jest szacowany na podstawie średnich ilości wyprodukowanego i dostarczonego do odbiorców ciepła z okresu od minimum 3 do maksimum 5 poprzednich lat kalendarzowych. Regulator corocznie publikuje ceny graniczne, poniżej których przedsiębiorstwa ciepłownicze nie podlegają regulacji w zakresie zatwierdzania taryf. Przedsiębiorstwa ciepłownicze kalkulują wstępne (na podstawie wartości oczekiwanych) i końcowe taryfy na ciepło (na podstawie rzeczywistych danych) dla lokalnych systemów ciepłowniczych, przedstawiają je urzędowi regulacji i mają prawo do bilansowania ewentualnych różnic. Urząd Regulacji co do zasady nie zatwierdza taryf i nie weryfikuje wszystkich wykonanych kalkulacji dostarczonych przez przedsiębiorstwa ciepłownicze. Może jednak, w uzasadnionych przypadkach, kontrolować poprawność wyznaczenia cen ciepła.

Na tle tych przykładów Polska wyróżnia się wysokim stopniem ingerencji Regulatora w cenę ciepła systemowego, a tym samym jego odpowiedzialnością za stan finansów sektora objętego tą regulacją. W obliczu rosnących wyzwań, wynikających z wdrażania w życie polityki pakietu „Fit for 55” zapisami w unijnym prawie, należy rozważyć czy nie przyszedł czas na rewizję dotychczasowego modelu kształtowania cen ciepła systemowego w Polsce. Dotychczasowa skala inwestycji w transformację sektora ciepłownictwa, zgodna z założeniami „Zielonego Ładu” oraz „RE-PowerEU” oraz aktualny udział systemów ciepłowniczych spełniających dziś obowiązującą definicję systemu efektywnego jest bardzo daleka od celu wyznaczonego na rok 2030, nie wspominając o pełnej neutralności klimatycznej do 2050 roku.

Mając na względzie opisane wyżej problemy środowiska ciepłowników Izba Gospodarcza Ciepłownictwo Polskie podjęła się wykonania badania mającego na celu poznanie stanowiska przedstawicieli sektora ciepłownictwa oraz przedstawicieli Regulatora co do diagnozy sytuacji oraz kierunku ewentualnych zmian modelu kształtowania ceny ciepła systemowego. Badania takie zostały przeprowadzone w trakcie warsztatów realizowanych podczas XIII Konferencji Rynku Ciepła Systemowego w dniach 27-29 lutego 2024 r. w Lublinie.

Celem warsztatów było zdiagnozowanie przez przedstawicieli przedsiębiorstw oraz dyrektorów oddziałów URE przyczyn słabej kondycji ekonomicznej

7 Ustawa Prawo energetyczne. (Dz.U.2024.266 t.j. z dnia 2024.02.28)

8 Ustawa o szczegółowych zasadach kształtowania i kalkulacji taryf oraz rozliczeń z tytułu zaopatrzenia w ciepło. (Dz.U.2020.718 z dnia 2020.04.23)

przedsiębiorstw koncesjonowanych w sektorze ciepłownictwa oraz wskazanie preferowanych kierunków zmian, w tym zmian modelu kształtowania cen ciepła. Uczestnicy warsztatów wspólnie, w trzynastu dziesięcioosobowych grupach, analizowali 8 studiów przypadku reprezentujących dwie kategorie zagadnień:

- problem słabej kondycji finansowej przedsiębiorstwa i deficyt środków na inwestycje niezbędne z punktu widzenia przepisów prawa oraz możliwości kontynuowania działalności przy realizacji polityki „Zielonego Ładu”;
- problem współpracy przedsiębiorstw ciepłowniczych z przemysłem w zakresie sprzedaży i dostaw ciepła technologicznego oraz odbioru ciepła odpadowego.

Każda z dziesięcioosobowych grup otrzymała pakiet złożony ze studium przypadku i z zestawu 16 propozycji diagnozy przyczyn opisanych w danym studium problemów oraz z zestawu 19 propozycji kierunku zmian na rynku ciepła oraz zmian modelu kształtowania cen ciepła. Grupy miały za zadanie wypracować w ramach dyskusji ranking pięciu najlepszych propozycji określających diagnozę przyczyn problemów sektora oraz ranking pięciu kierunków zmian modelu kształtowania cen ciepła systemowego.

Wyniki warsztatów przedstawia zestawienie w Tabeli 3 uwzględniające ilość głosów na daną propozycję we wszystkich grupach oraz wagi nadane w rankingu każdej z pięciu wybranych pozycji w obu obszarach badania.

W pierwszym etapie grupa wybierała propozycje diagnozy przyczyn słabej kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw i niedostatecznego zaawansowania inwestycji w transformację przedsiębiorstw z 16 propozycji, wśród których wskazane były zarówno przyczyny wewnętrzne w przedsiębiorstwie związane z niewłaściwym zarządzaniem jak i przyczyny zewnętrzne związane z regulacją w zakresie prawa, modelu i praktyki kształtowania cen ciepła. Dominujący udział odpowiedzi wybranych przez poszczególne grupy koncentrował się na przyczynach zewnętrznych związanych z zatwierdzaniem taryf. Na pierwszym miejscu wskazano problem braku pokrycia kosztów całkowitych i mechanizmu kompensaty strat z tego wynikających. Wskazano także problem braku motywacji do poprawy efektywności z uwagi na konstrukcję kalkulacji taryfy, która konsumuje finansowy efekt oszczędności dla inwestora. Oszczędności są w 100 % konsumowane spadkiem ceny w kolejnej taryfie zatwierdzanej po realizacji inwestycji generu-

Tabela 3 Wyniki wyboru pięciu grup (grupy nr 1,4,5,6,7) odnośnie do diagnozy przyczyn słabej kondycji ekonomicznej przedsiębiorstw i niedostatecznego zaawansowania inwestycji w transformację przedsiębiorstw

Table 3 Results of the selection of the five groups nr 1,4,5,6,7, regarding the proposal to diagnose the causes of the weak economic condition of enterprises and the under-investment in business transformation

Kategoria przypadków: problemy ekonomiczne przedsiębiorstw utrudniające lub uniemożliwiające transformację, dochowanie standardów, statusu systemu efektywnego		
Co jest przyczyną problemów przedsiębiorstwa?	waga	udział w wybieranych
	jako suma nadanych wag od 1=5= max do 5=1=min	max 9 grup
4. Brak uwzględnienia kosztów finansowych w taryfie.	23	67%
5. Praktyka w zakresie czasu zatwierdzenia taryf, który średnio mieści się między 3 do 6 m-c. W sytuacji wzrostu kosztów działalności (np. cen paliw, wzrostu inflacji, uprawnień CO ₂) powoduje brak pokrycia kosztów podstawowej działalności. Szczególnie jest to niebezpieczne dla płynności przedsiębiorstwa jeśli trwa w sezonie grzewczym. Braku bowiem w systemie taryf mechanizmu kompensaty utraconych w trakcie procedowania taryfy przychodów w kolejnym okresie.	22	78%
14. Przyczyną sytuacji jest brak motywacji do podjęcia ryzyka inwestowania, systemowe konsumowanie efektów oszczędności wynikających z każdej inwestycji przez taryfę co uniemożliwia obronę ekonomicznej zasadności inwestycji w modernizację źródła na poziomie rynkowym. W przypadku bezzwrotnego wsparcia dotacją z uwzględnieniem obecnego modelu taryfowego, w tym zasad zwrotu z kapitału z zaniżonymi w stosunku do rynkowych współczynnikami NPV wychodzi luka finansowa nie pokryta w okresie użytkowania instalacji (20-25 lat). Aktualnie wzór na "I" dodatkowo zaniża premię za inwestowanie w miarę zwiększania się efektu oszczędności.	16	56%
8. Aktualny model taryfowy promuje wysokie koszty wytwarzania w źródle konwencjonalnym, jako koszt uzasadniony w przedsiębiorstwach nie podejmujących ryzyka inwestowania w wymianę i modernizację źródeł w tym poprawę efektywności co powoduje wzrost cen dla odbiorcy, a jednocześnie brak motywacji do inwestycji zwiększając ryzyko strat w konsekwencji realizacji polityki klimatycznej lub wzrostu cen paliw.	15	67%
12. Dotacje, w tym formie przydziału bezpłatnych uprawnień do emisji CO ₂ , w intencji prawodawstwa UE miały umożliwić generowanie środków pieniężnych na inwestycje przy utrzymaniu akceptowalnej rentowności energii i . Jednak w aktualnej praktyce taryfowej są w pełni konsumowane przez taryfę generując niższą cenę dla odbiorcy i brak środków pieniężnych dla przedsiębiorstwa. Aktualne przepisy i praktyka kalkulacji i zatwierdzania taryfy na ciepło nie przewiduje możliwości wygenerowania wolnych środków pieniężnych na inwestycje pomimo przyjętego w UE przydziału 30 % bezpłatnych uprawnień ciepłownictwu z przeznaczeniem na inwestycje w transformację od 2026r. co niweczy szansę na przeprowadzenie transformacji i modernizacji przedsiębiorstw ciepłowniczych w Polsce.	14	56%
Studium 1,4,5,6,7		

Źródło: opracowanie własne, na podstawie materiałów XIII Konferencji Rynku Ciepła Systemowego.

jących oszczędność. Niezależnie od ceny średniej na rynku ciepła. Wskazano również na bardzo aktualny problem uwzględnienia przydziału darmowych uprawnień do emisji w cenie ciepła w celu wygenerowania środków na inwestycje. W obecnym modelu kształtowania cen ciepła bezpłatne alokacje uprawnień do emisji CO₂ są odejmowane od kosztu obowiązku zakupu uprawnień do emisji niezbędnych do pokrycia generowanych emisji. Nie są też ujmowane w modelu zwrotu z kapitału. Interesujące jest, że pomimo wyboru przez większość uczestników warsztatów jako istotnego problemu braku pokrycia kosztów operacyjnych przychodami wynikającymi z poziomu zatwierdzanych cen ciepła środowisko nie oczekuje liberalizacji zasad kształtowania cen ciepła, wzorem rynku czeskiego czy niemieckiego lub litewskiego. Tymczasem ten ciągniony efekt niedoszacowanych w taryfach przychodów wy-

nika z konstrukcji opartej na modelu prognozy rentowności.

Aby rozwiązać problemy rynku ciepła systemowego uczestnicy warsztatów w ramach prac w grupach zaproponowali rozwiązania dalekie od radykalnych zmian, na przykład w kierunku modelu czeskiego czy całkowicie liberalnego – niemieckiego. Sugestie takich zmian były również wymienione wśród 19 propozycji kierunków zmian. Ciepłownicy jednak nie wskazywali na potrzebę takiej zmiany lecz wybrali rozwiązania korygujące dzisiejszy model regulacji cen. Nie uznali za pożądany kierunek liberalizacji cen ciepła poza przypadkiem współpracy B2B. Przedstawiciele sektora wskazali natomiast na potrzebę modyfikacji obecnego modelu w zakresie kalkulacji i zatwierdzania poziomu zwrotu z kapitału, uwzględnienia kosztów odsetek wprost w kosztach finansowych (poza uwzględnieniem ich w modelu zwrotu

z kapitału). Postulowano również wdrożenie rozwiązań uwzględniających przydział bezpłatnych uprawnień do emisji CO₂ w koszty pozostałe lub zwrot z kapitału. Jeśli bowiem alokację uprawnień nie znajdą odbicia jako składnik ceny ciepła to nie spełnią funkcji mechanizmu generowania środków pieniężnych na realizację inwestycji w transformację ciepłownictwa. Będą natomiast służyły jako mechanizm istotnego obniżenia cen ciepła przy zachowaniu dzisiejszych możliwości inwestycyjnych przedsiębiorstw. A takie podejście nie jest zgodne z intencją wdrożenia przez UE mechanizmu wsparcia ciepłownictwa w drodze do dekarbonizacji. Podczas warsztatów podniesiono także problem odtworzenia majątku, który obecnie powstaje przy istotnym udziale dotacji, a tym samym koszt odtworzenia nie jest ujęty w amortyzacji środków trwałych. Może to być problemem dla wygenerowania dostatecznych środków pieniężnych na odtworzenie majątku sieciowego i wytwórczego w przyszłości.

Dwie grupy analizowały studium przypadku warunków współpracy B2B i ograniczeń w tym zakresie, które uniemożliwiają wykorzystanie wolnych mocy ciepłowniczych na potrzeby przemysłu lub zakup ciepła odpadowego w ramach elastycznej współpracy nie generującej dodatkowych ryzyk dla obu stron. Wybór grup wskazuje na brak elastyczności obecnego modelu i praktyk Prezesa URE w zakresie wprowadzenia elastycznych zasad współpracy B2B w szczególności przy sprzedaży ciepła bezpośrednio ze źródła na cele technologiczne. Mechanizm powinien umożliwić maksymalizację wykorzystania mocy zainstalowanej, a nie wykorzystywanej na potrzeby sieci ciepłowniczej. W rozwiązaniach prawnych i taryfowych brakuje również elastycznych zasad współpracy B2B, które zachęcałyby do zakupu ciepła odpadowego.

Przedstawiciele sektora i Regulatora w przypadku zmian modelu regulacji w zakresie rozwoju współpracy B2B dopuścili całkowitą liberalizację kształtowania ceny ciepła poprzez uwolnienie od taryfowania lub regulację benchmarkową. Wskazuje to na kierunek liberalizacji regulacji rynku ciepła w obszarze odbiorców przemysłowych i podmiotów gospodarczych, ale pod warunkiem, że nie są to odbiorcy podłączeni do sieci ciepłowniczej. Byłby to jednak pierwszy krok w kierunku liberalizacji modelu kształtowania cen ciepła w Polsce.

Warsztaty stały się okazją do zasygnalizowania oczekiwanych przez środowisko kierunków zmian oraz uświadomieniu

Tabela 4 Wyniki wyboru pięciu grup (grupy nr 1,4,5,6,7) odnośnie do propozycji zmian w modelu kształtowania cen ciepła

Table 4 Results of the selection of the five groups nr 1,2,5,,6,7, regarding the proposed changes to the heat pricing model

Kategoria przypadków: problemy ekonomiczne przedsiębiorstw utrudniających lub uniemożliwiających transformację, dochowanie standardów, statusu systemu efektywnego		
Jakie są rozwiązania w zakresie kształtowania cen ciepła?	waga	udział w wybieranych
	jako suma nadanych wag od 1=5= max do 5=1=min	max 9 grup
12. Uwzględnienie bezpłatnie przyznanych uprawnień w modelu zwrotu kapitału jako wartości kapitału obcego (WNIP +WRA) pod warunkiem potwierdzenia wydatkowania środków odpowiadających ich wartości w nakładach inwestycyjnych na transformację lub remonty kogeneracji.	25	89%
1. Modyfikacja aktualnego modelu kalkulacji poprzez ujęcie kosztów finansowych (odsetek) od kapitału obcego bez względu na jego charakter w pozycji „koszty finansowe” a nie w zwrocie z kapitału (z pominięciem kosztów finansowych związanych z działalnością operacyjną).	25	78%
3. Modyfikacja aktualnego modelu kalkulacji poprzez zmianę wskaźników w zwrocie z kapitału i poprawa wzoru na „I”, aby premia za efektywność powodowała wzrost zwrotu z kapitału.	12	33%
5. Modyfikacja aktualnego modelu kalkulacji poprzez gwarantowany zwrot z kapitału uwzględniający bezpłatnie przyznane CO ₂ jako „nakłady” i aktualizację taryfy do warunków otoczenia rynkowego raz w roku na podstawie wskaźników rynkowych publikowanych co 6 m-c lub co kwartał przez URE.	9	33%
18. Wprowadzenie gwarantowanego zwrotu z zaangażowanego kapitału na poziomie obligacji 10 letnich indeksowanych inflacją w formule “koszt plus”.	8	44%
Studium 1,4,5,6,7		

Źródło: opracowanie własne, na podstawie materiałów XIII Konferencji Rynku Ciepła Systemowego.

Tabela 5 Wyniki wyboru dwóch grup (grupy nr 2,3) odnośnie do propozycji diagnozy przyczyn barier współpracy ciepłownictwa w obszarze B2B

Table 5 Results of the selection of the two groups nr 2,3 regarding choice the proposed diagnosis of the causes of barriers to B2B district heating cooperation

Kategoria przypadków: problemy współpracy z odbiorcami przemysłowymi lub dostawcami przemysłowymi ciepła odpadowego na zasadach B2B		
Co jest przyczyną problemów przedsiębiorstwa?	waga	udział w wybieranych
	jako suma nadanych wag od 1=5= max do 5=1=min	max 9 grup
11. Brak rozwiązań taryfy dla B2B, gdzie mamy zupełnie inne wolumeny i często źródła technologiczne parowe, które są dyspozycji ciepłowni jako źródła szczytowe lub alternatywne, których moc nie jest wykorzystana w pełni całorocznie.	8	100%
6. Brak wykorzystania przez PURE możliwości zwolnienia z taryfowania relacji B2B, w przypadku gry odbiorca ma własne alternatywne do oferowanego przez przedsiębiorstwo ciepłownicze źródło ciepła, pomimo delegacji do takiego zwolnienia przy stwierdzeniu konkurencyjnego runku w rozporządzeniu. Brak bowiem doprecyzowanie definicji “konkurencyjnego” rynku ciepła, która uwzględniała by jego specyfikę i konkurencję substytucyjną.	10	100%
3. Szybyne zasady taryfowania w zakresie mocy zamówionej i wolumenu rocznego dostosowane dla odbiorców sieciowych a nie dla odbiorcy przemysłowego kupującego ciepło technologiczne bezpośrednie ze źródła.	8	100%
15. Przyczyną jest brak w obecnym modelu taryfowym narzędzi promujących wykorzystanie mocy dyspozycyjnej zainstalowanej w systemie ciepłowniczym na warunkach ograniczonej konkurencji (duopol) w sytuacji sprzedaży ciepła do odbiorcy bezpośredniego lub sieciowego w ramach krótkoterminowej, niezobowiązującej stron do zapewnienia mocy w relacji B2B.	6	100%
14. Przyczyną sytuacji jest brak motywacji do podjęcia ryzyka inwestowania, systemowe konsumowanie efektów oszczędności wynikających z każdej inwestycji przez taryfę co uniemożliwia obronę ekonomicznej zasadności inwestycji w modernizację źródła na poziomie rynkowym. W przypadku bezzwrotnego wsparcia dotacją z uwzględnieniem obecnego modelu taryfowego, w tym zasad zwrotu z kapitału z zaniżonymi w stosunku do rynkowych współczynnikami NPV wychodzi luka finansowa nie pokryta w okresie użytkowania instalacji (20-25 lat). Aktualnie wzór na „I” dodatkowo zaniża premię za inwestowanie w miarę zwiększania się efektu oszczędności.	1	50%
Studium 2,3		

Źródło: opracowanie własne, na podstawie materiałów XIII Konferencji Rynku Ciepła Systemowego.

Tabela 6 Wyniki wyboru dwóch grup ((grupy nr 2,3) odnośnie do propozycji poprawy warunków i możliwości współpracy B2B przedsiębiorstw ciepłowniczych z przemysłem
Table 6 Results of the selection of two groups (nr 2,3) regarding the proposals to improve the conditions and opportunities for B2B cooperation between district heating companies and industry

Kategoria przypadków: problemy współpracy z odbiorcami przemysłowymi lub dostawcami przemysłowymi ciepła odpadowego na zasadach B2B		
Jakie są rozwiązania w zakresie kształtowania cen ciepła?	waga	udział w wybieranych
	jako suma nadanych wag od 1=5= max do 5=1=min	max 9 grup
15. Uwolnienie z taryfy relacji B2B dla zakupu bezpośrednio ze źródła, o ile odbiorca ma własne alternatywne źródło pokrywające jego potrzeby w 100 %.	9	100%
6. Uwolnienie z taryfowania realizacji sprzedaży ciepła zarówno bezpośrednio ze źródła w każdym przypadku oraz w każdym przypadku sprzedaży i dostaw w relacjach B2B.	9	100%
11. Wprowadzenie benchmarków w formie cen minimalnych i maksymalnych dla danych paliw i technologii lub średniej ceny ciepła ogółem i wprowadzenie zwolnienia z zatwierdzenia taryf w przypadku, jeśli mieszczą się w granicach tolerancji między ceną maksymalną i minimalną. (konieczna publikacja założeń do benchmarku i metody kalkulacji co 6 m-c przez URE)	3	50%
7. Wyłączenie z taryfowania odbiorców bezpośrednich kupujących ciepło bezpośrednio ze źródła oraz ograniczenie taryfowania ciepła do odbiorców sieciowych wrażliwych, w szczególności gospodarstw domowych i instytucji użytku publicznego (objętych teraz rekompensatą). Wyłączenie z taryfowania na ciepło odbiorców biznesowych. Taryfa na przesył i dystrybucję ciepła pozostaje bez zmian dla wszystkich.	3	50%
13. Rezygnacja z taryfowania na rzecz zliberalizowanego rynku, w tym konkurencji substytucyjnej. W zamian rezygnacja z obowiązku przyłączenia się do sieci ciepłowniczej. Ceny ciepła systemowego kształtowana na zasadach rynkowych złożone z opłaty stałej i zmiennej lub w formie zaliczki ryczałtowej do wyboru odbiorcy.	2	50%
Studium 2,3		

Źródło: opracowanie własne, na podstawie materiałów XIII Konferencji Rynku Ciepła Systemowego.

przedstawicielom branży, Regulatorowi oraz ministerstwu dysfunkcji procesu modelowania cen ciepła. Stanowiskiem uzupełniającym głos przedstawicieli sektora ciepłowniczego wyrażonym podczas warsztatów jest opinia Ministerstwa Klimatu i Środowiska zawarta w publikacji, która pojawiła się chwilę po nich – 6 marca 2024 r. Publikacja MKiŚ odnosi się do założeń pakietu „Fit for 55”. W nowelizacji Krajowego Planu w dziedzinie Energii i Klimatu do 2030 r. założono, że do 2030 r. polskie systemy ciepłownicze i chłodnicze bez problemu powinny osiągnąć udział OZE na poziomie 32,1% (10,3 Mtoe)” przy udziale OZE w 2020 r. odnotowanym na poziomie 22,1%. W tym celu podejmowane mają być działania ukierunkowane na popularyzację wykorzystania biomasy w instalacjach kogeneracyjnych, ciepła odpadowego, kotłów elektrodowych zasilanych energią elektryczną z OZE, geotermii, wielkoskalowych pomp ciepła, a także instalacji termicznego przekształcania odpadów (również z wychwytem CO₂). Zauważono potrzebę zmiany w przepisach określających zasady kształtowania taryf dla ciepła oraz stworzenie warunków umożliwiających wykorzystanie środków finansowych wygenerowanych wskutek przydziału bezpłatnych uprawnień na finansowanie inwestycji prowadzących do neutralności klimatycznej. Dokument nie przewiduje innych istotnych zmian modelowania i taryfowania cen ciepła.

Wnioski

Sektor ciepłownictwa jest jednym z najważniejszych elementów infrastruktury zapewniającej bezpieczeństwo energetyczne oraz zdrowie i życie obywateli. Taryfowy model kształtowania cen ciepła w Polsce jest oparty o parytet tanioci dla odbiorcy. Lata 2021-2022 istotnie pogorszyły kondycję ekonomiczną przedsiębiorstw dostarczających ciepło systemowe. Kondycja ta zawsze była daleka od sytuacji ekonomicznej przedsiębiorstw energetycznych funkcjonujących na rynku konkurencyjnym. Jednocześnie ciepłownictwo jest sektorem gospodarki będącym pod silną presją polityki pakietu „Fit for 55”, który wymaga od przedsiębiorstw inwestycji, na ogromną skalę, w transformację technologiczną i organizacyjną we wszystkich obszarach ich działalności. Dodatkowo system handlu uprawnieniami do emisji CO₂ skutecznie drenuje skromne środki na inwestycje.

Badania zrealizowane podczas warsztatów zorganizowanych przez IGCP podczas konferencji w Lublinie w lutym 2024 r. miały na celu zdiagnozowanie przyczyn problemów z realizacją dekarbonizacji i inwestycji w modernizację sieci ciepłowniczych zgodnie z polityką „Zielonego Ładu”, w tym pakietu „Fit for 55”, oraz wskazanie kierunku zmian modelu taryfowego, jak też decyzji zarządczych w przedsiębiorstwach. Wyniki badania reprezentatywnej próbki przedstawicieli sek-

tora pozwoliły wyłonić podstawowe bariery realizacji transformacji związane z obecnym obowiązującym modelem kształtowania cen ciepła. Sektor nie jest jednak gotowy na radykalne zmiany w obszarze taryfowania wzorem liberalnego modelu rynku niemieckiego czy taryfowania w stylu czeskim. Liberalizacja rynku i przyjęcie odpowiedzialności za autonomiczne kreowanie poziomu cen przez przedsiębiorstwa sektora jest w ich ocenie nadal zbyt ryzykownym krokiem. Pomimo świadomości dysfunkcji obecnego modelu w dynamicznie zmieniającym się otoczeniu.

Jedyną przestrzenią do pełnej liberalizacji, według wyników badania realizowanego podczas warsztatów jest sprzedaż ciepła bezpośrednio ze źródła w przypadku współpracy B2B oraz zagospodarowanie ciepła odpadowego. W szczególności istotne jest zniesienie barier i wprowadzenie mechanizmu zachęty do wykorzystania w systemach ciepłowniczych ciepła odpadowego. Jest to bardzo ważny aspekt w realizacji celów pakietu „Fit for 55” w sektorze ciepłownictwa i spełnienia przez systemy krajowego warunków zawartych w definicji efektywnego systemu ciepłowniczego.

BIBLIOGRAFIA:

- [1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1791 z dnia 13 września 2023 r. w sprawie efektywności energetycznej oraz zmieniająca rozporządzenie.
- [2] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/959 z dnia 10 maja 2023 r. zmieniająca dyrektywę 2003/87/WE ustanawiającą system handlu przydziałami emisji gazów cieplarnianych w Unii oraz decyzję (UE) 2015/1814 w sprawie ustanowienia i funkcjonowania rezerwy stabilności rynkowej dla unijnego systemu handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych.
- [3] Energetyka ciepła w liczbach – 2022, [red.] Departament Rynków Energii Elektrycznej i Ciepła URE/Oddziały Terenowe URE/ szczególnie dane opracował Robert Kościelowski; Urząd Regulacji Energetyki, 2023
- [4] Heat Matters: the missing link in the REPower EU, Aalborg University 2023.
- [5] <https://ptez.pl/raporty/dekarbonizacja-cieplownictwa-systemowego-w-polsce-w-swietle-pakietu-fit-for-55/> [data dostępu: 06.03.2024r.].
- [6] Rozporządzenie Komisji (UE) 2023/1315 z dnia 23 czerwca 2023 r. zmieniające rozporządzenie (UE) nr 651/2014 uznające niektóre rodzaje pomocy za zgodne z rynkiem wewnętrznym w zastosowaniu art. 107 i 108 Traktatu oraz rozporządzenie (UE) 2022/2473 uznające niektóre kategorie pomocy udzielanej przedsiębiorstwom prowadzącym działalność w zakresie produkcji, przetwórstwa i wprowadzania do obrotu produktów rybołówstwa i akwakultury za zgodne z rynkiem wewnętrznym w zastosowaniu art. 107 i 108 Traktatu.
- [7] Ustawa prawo energetyczne (Dz.U.2024.266 t.j. z dnia 2024.02.28).
- [8] Ustawa o szczegółowych zasadach kształtowania i kalkulacji taryf oraz rozliczeń z tytułu zaopatrzenia w ciepło. (Dz.U.2020.718 z dnia 2020.04.23).

Wybrane aspekty analizy środowiskowej pomp ciepła

Selected aspects of heat pumps environmental analysis

WOJCIECH TUCHOWSKI, DIANA PIETRYGA

DOI 10.36119/15.2024.4.2

W dobie transformacji energetycznej coraz częściej analizie poddaje się zasadność wymiany źródeł ciepła wykorzystujących paliwa kopalne na odnawialne źródła ciepła. W niniejszym artykule przedstawiono analizę energetyczną oraz środowiskową pomp ciepła. Określono również warunki pracy pompy ciepła, w których będzie się ona cechowała wysokim współczynnikiem efektywności energetycznej COP. Poddano analizie cykl przemian termodynamicznych zachodzących w klasycznym obiegu Lindego uwzględniając przegrzanie par oraz dochłodzenie cieczy czynnika chłodniczego. Określono główne czynniki wpływające na kształtowanie się wartości COP pompy ciepła pracującej w trybie grzania. Przeprowadzono analizę środowiskową dwóch urządzeń, w których zastosowano różne czynniki chłodnicze, R 410A oraz R 32. Określono składowe wskaźniki TEWI oraz ich wagę na wartość całkowitą. Jak wynika z obliczeń, substytucja czynnika chłodniczego ma niewielki wpływ na całkowitą emisję dwutlenku węgla do atmosfery przez pompę ciepła. Jak wynika z analizy, pompa ciepła z R 32 cechuje się jedynie 9,5% niższą wartością wskaźnika TEWI. Natomiast różnica co do wskaźnika GWP obu czynników ok. 70% na korzyść R 32. *Słowa kluczowe: pompa ciepła, dolne źródło ciepła, współczynnik efektywności energetycznej, odnawialne źródła energii, wydajność grzewcza*

In the era of energy transformation, the feasibility of replacing heat sources using fossil fuels with renewable heat sources is being increasingly analyzed. This article presents an energy and environmental analysis of heat pumps. The operating conditions of the heat pump were also determined, in which it will be characterized by a high energy efficiency coefficient COP. The cycle of thermodynamic transformations taking place in the classic Linde cycle was analyzed, taking into account the superheating of vapors and subcooling of the refrigerant liquid. The main factors influencing the COP values of a heat pump operating in the heating mode were determined. An environmental analysis was conducted on two units that used different refrigerants, R 410A and R 32. The components of the TEWI index and their weight for the total value were determined. As the calculations show, the substitution of the refrigerant has little impact on the total emission of carbon dioxide into the atmosphere by the heat pump. According to the analysis, a heat pump with R 32 has only a 9.5% lower TEWI value. However, the difference in the GWP of both factors is approximately 70% in favor of R 32.

Keywords: heat pump, lower heat source, coefficient of energy performance, renewable energy sources, heating capacity

Wstęp

W obecnych czasach pompy ciepła stanowią dobrą alternatywę w stosunku do tradycyjnych rozwiązań grzewczych opartych na spalaniu paliw kopalnych. W dobie kryzysu energetycznego oraz pogarszającej się sytuacji geopolitycznej zauważa się duże zapotrzebowanie na te urządzenia. Jak wskazuje PORT PC (Polska Organizacja Rozwoju Technologii Pomp Ciepła) w swoim raporcie z roku 2023 [1], cały rynek pomp ciepła w 2022 roku wzrósł o 120% w stosunku do roku 2021. Na uwagę zasługuje również fakt, że ogólny przyrost tych urządzeń w ogrzewaniu budynków wzrósł aż

o 130%. Podobnie sytuacja ma się na rynku europejskim. W Niemczech nastąpił wzrost sprzedaży o ok. 53%, w Norwegii o ok. 25%, w Szwajcarii o ok. 23%, we Francji o ok. 30%. Na Słowacji, podobnie jak w Polsce sprzedaż pomp ciepła uległa podwojeniu [1].

W całej Europie największy udział w rynku posiadają pompy ciepła powietrze/powietrze oraz powietrze/woda. [2]. Przy czym należy zaznaczyć, że pompy ciepła powietrze/powietrze w większości to popularne klimatyzatory typu split. Biorąc pod uwagę inne dostępne źródła ciepła, powietrze jest najtańszym czynnikiem. Wymaga ono zastosowania najmniej skomplikowane-

go układu do odzysku ciepła, łatwo również zastosować technologię rewersyjną, dzięki czemu możliwa jest produkcja chłodu. Nie bez znaczenia jest również cena tych urządzeń. Są to najtańsze pompy ciepła ze względu na źródło. Niestety największą wadą tych urządzeń jest duża niekoherentność temperatury źródła i wymaganej wydajności grzewczej. Spadek temperatury powietrza znacząco wpływa na pogorszenie charakterystyk energetycznych, zarówno wydajności jak i efektywności energetycznej.

Innymi źródłami ciepła mogą być grunt lub woda. W przypadku tego pierwszego, możliwe jest uzyskiwanie wyższych wydajności i efektywności, ale wymaga to dużego

nakładu inwestycyjnego na budowę źródła. W celu pozyskania ciepła z gruntu konieczne jest zastosowanie wymienników poziomych lub pionowych. Koszty posiadawców wymiennika w gruncie zależą głównie od technologii oraz głębokości odwiertów bądź robót ziemnych. Dodatkowo w przypadku wymienników pionowych potrzebne jest uzyskanie odpowiednich zgód. Wykonanie takiej instalacji podlega m.in. pod Ustawę z dnia 20 lipca 2017r. – Prawo wodne (Dz.U. 2017 poz. 1566), Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. 2011 nr 163 poz. 981), Prawo ochrony środowiska (Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627), Prawo budowlane (Dz.U. 2023 poz. 682). Natomiast w przypadku wymienników poziomych należy dysponować dużą powierzchnią działki. Powierzchnia wymiennika zależy od rodzaju gruntu oraz wymaganej wydajności dolnego źródła ciepła. Obecnie prowadzonych jest wiele badań oraz analiz porównawczych dotyczących kosztów eksploatacyjnych różnych źródeł ciepła. Przykładowo w pracy [21] autorzy przeanalizowali aspekt wpływu zmienności parametrów pracy pompy ciepła na jej efektywność energetyczną oraz koszty eksploatacji. Analiza obejmowała pracę gruntowej pompy ciepła oraz powietrznej pompy ciepła w szerokim spektrum temperatur skraplania. Wyniki analizy wskazują, że grunt jest stabilnym źródłem ciepła, zwłaszcza w okresie zimy, w którym zachodzi duża niekoherentność między potrzebami cieplnymi obiektu, a wydajnością dolnego źródła ciepła.

Największą zaletą wody, jako źródła ciepła jest jej wysokie ciepło właściwe. W temperaturze 4 °C, przy największej gęstości, wynosi ono 4206 J/kgK i jest najwyższe w kontekście innych źródeł ciepła. Niestety wodne pompy ciepła w Polsce stanowią jedynie niewielki procent wszystkich sprzedawanych urządzeń. Wpływ na taki stan rzeczy ma m.in. niekorzystane ustawodawstwo, które uwzględnia ceny za energetyczne wykorzystanie wód [3]. W przypadku wykorzystywania wód gruntowych, dochodzą dodatkowo wysokie koszty wykonania studni czerpalnej i chłonnej. W przypadku wód powierzchniowych, konieczne jest uzyskanie pozwolenia organów państwowych zgodnie z obowiązującym Prawem wodnym [3].

Dużym problemem wynikającym z chęci wykorzystania wód powierzchniowych jest ich podatność na temperatury powietrza zewnętrznego. Gdy temperatura powietrza spada poniżej 0°C i utrzymuje się przez dłuższy czas, powierzchnia zbiornika wodnego zamarza. W takiej sytuacji istnieje duże niebezpieczeństwo zamarznięcia parownika. Sytuacja jest tożsama dla wszystkich wariantów wodnych pomp ciepła, pracujących z bezpośrednim odparowaniem,

wykorzystując obiegi pośrednie lub instalacje, w których woda jest przepompowywana przez wymienniki ciepła.

Obecnie na świecie istnieje już rozwiązanie technologiczne, które ograniczają wpływ tego zjawiska na pracę instalacji. Opierają się one głównie na skomplikowanych konstrukcjach wymiennika ciepła. Istnieją również rozwiązania, które w pewnym obszarze wykorzystują fakt zamarzania parownika do celów efektywności energetycznej. Konstrukcja taka powstała na Wydziale Techniki Morskiej i Transportu Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Jej poglądowy opis został zamieszczony w patencie nr 209839 z dnia 4 maja 2009 roku – Wodna pompa ciepła i sposób optymalizacji pracy wodnej pompy ciepła [14].

Badania prowadzone są również w zakresie poszukiwania nowych czynników chłodniczych, które wykazują niski wpływ na środowisko naturalne, a właściwości termodynamiczne predysponują je do zastosowań zwłaszcza w pompach ciepła. W tym celu komponowane są nowe mieszaniny zeotropowe, które wykazują relatywnie do czynników jednorodnych, niskie wskaźniki GWP. Czynniki te posiadają duże poślizgi temperaturowe co może przynosić duże korzyści energetyczne zwłaszcza w skraplaczach, w których woda ogrzewana jest w przeciwnym kierunku [20].

Analiza cyklu pracy pompy ciepła

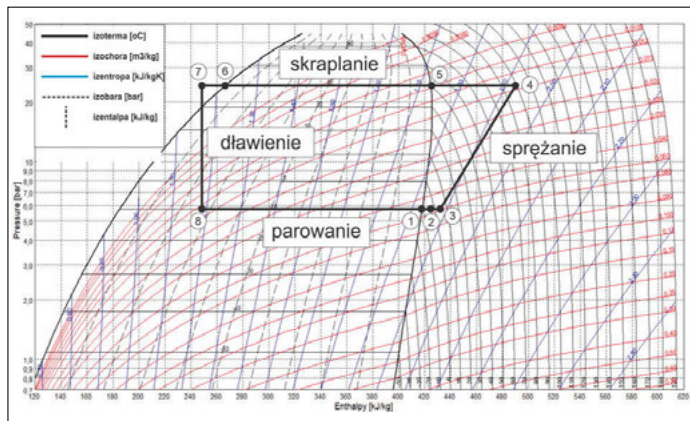
Pompy ciepła klasyfikowane są przez UE jako urządzenia korzystające z odnawialnych źródeł energii. Podstawowe źródła tej energii to powietrze, woda i grunt. Wszystkie oddają ciepło zmagazynowane wcześniej, dzięki promieniowaniu słonecznemu. Udział energii odnawialnej w ogólnym bilansie energetycznym pompy ciepła zależy od jej efektywności. Obecnie eksploatowane pompy ciepła pracujące w trybie grzania, charakteryzują się współczynnikiem efektywności energetycznej (COP – Coefficient of performance) równym 3÷4. Współczynnik ten określa stosunek mocy grzewczej (ilości ciepła uzyskanej w skraplaczu) do ilości mocy jaką urządzenie zużyje do produkcji tego ciepła. W przypadku COP = 3÷4, pompy ciepła korzystają z energii odnawialnej w granicach 66 – 75%. Pozostałe 25 – 33% stanowi energia elektryczna potrzebna do realizacji procesów zachodzących w instalacji (sprężarka, wentylatory, pompy, zawory, sterowanie), a która w głównej mierze w Polsce produkowana jest w oparciu o spalanie węgla kamiennego i brunatnego.

Wzrost zastosowania pomp ciepła na świecie jest jedną z głównych przyczyn ob-

serwowanego w ostatnich latach postępu technologicznego i technicznego, jaki dokonał się w tej dziedzinie. Stosowane obecnie systemy pomp ciepła charakteryzują się wysokim współczynnikiem efektywności energetycznej COP, który jak pokazują analizy literatury oraz dane pozyskane od wiodących producentów [4-10], jest blisko o ok. 35% wyższy niż w przypadku analogicznych rozwiązań sprzed 20 lat. Obecnie, na świecie istnieje wiele ośrodków badawczych, które pracują nad nowymi rozwiązaniami technologii pomp ciepła skupiając się głównie na zwiększeniu ich efektywności. Jedne z głównych kierunków prac w tym aspekcie związane są z modyfikacjami obiegu termodynamicznego pompy ciepła.

Na rysunku 1 przedstawiono obieg pompy ciepła na wykresie ciśnienie – entalpia właściwa. Obieg ten jest obiegiem Lindego, porównawczym sprężarkowej pompy ciepła. Do celów analizy dokonano szeregu uproszczeń związanych z rzeczywistym charakterem przemian termodynamicznych. Nie uwzględniono sprawności wewnętrznej sprężarki oraz oporów hydraulicznych na drodze przepływu czynnika chłodniczego. Uwzględniono przegrzanie czynnika w parowniku, w rurociągu ssawnym oraz dochłodzenie cieczy w skraplaczu. Realizowane są tutaj następujące przemiany termodynamiczne:

- Izotropowe sprężanie czynnika chłodniczego zachodzi w sprężarce, następuje podniesienie ciśnienia i temperatury czynnika chłodniczego – przemiana 3 – 4 na rys. 1,
- Izobaryczne oddawanie ciepła w rurociągu tłocznym (o ile nie jest zaizolowany, a temperatura tłoczenia czynnika chłodniczego jest znacznie wyższa od temperatury otoczenia). W praktyce zjawisko to istotne jest z punktu widzenia urządzeń chłodniczych, w pompach ciepła z kolei, proces schładzania par zachodzi w pierwszych sekcjach skraplacza a następnie po uzyskaniu stanu z krzywej granicznej pary nasyconej suchej (punkt 5' na rys. 2), następuje skraplanie właściwe ze zmianą fazy – przemiana 5-6 na rys. 1,
- Izobaryczno – izotermiczne oddawanie ciepła w skraplaczu (w przypadku czynników jednorodnych), następuje przekazanie ciepła do czynnika ogrzewanego, wody lub powietrza – przemiana 5-6 na rys. 1,
- Izobaryczne dochłodzenie skroplonego czynnika chłodniczego (może zachodzić w skraplaczu właściwym lub w zewnętrznym wymienniku ciepła), następuje obniżenie temperatury cieczy czynnika – przemiana 6-7 na rys. 1,



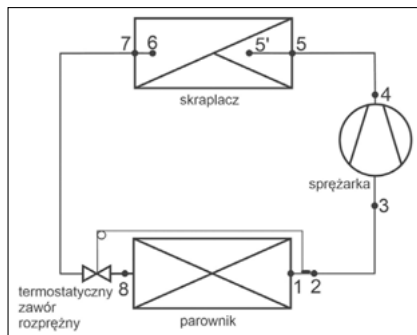
Rys. 1
Termodynamiczne przemiany czynnika chłodniczego w obiegu pompy ciepła przedstawione na diagramie chłodniczym dla czynnika R 410a
Fig. 1. Thermodynamic transformations of the refrigerant in the heat pump circuit presented in the refrigeration diagram for R 410a

- e. Izentalpowe dławienie czynnika chłodniczego – zachodzi w elemencie rozprężnym (w przypadku pomp ciepła zazwyczaj w termostaticznym zaworze rozprężnym lub elektronicznym zaworze rozprężnym), następuje obniżenie ciśnienia i temperatury czynnika chłodniczego od ciśnienia skraplania do ciśnienia parowania – przemiana 7 – 8 na rys. 1,
- f. Izobaryczne – izotermiczne pobieranie ciepła z dolnego źródła ciepła (w przypadku pomp ciepła może to być powietrze, woda, grunt lub ciepło odpadowe), następuje odparowanie czynnika chłodniczego kosztem obniżenia temperatury źródła – przemiana 8-1 na rys. 1,
- g. Izobaryczne przegrzanie czynnika chłodniczego w parowniku poprzedzone wrzeniem w warunkach nasycenia – przegrzew par czynnika korzystny jest z punktu widzenia pracy sprężarki (możliwy w przypadku termostaticznego zaworu rozprężnego oraz elektronicznego zaworu rozprężnego), przyczynia się natomiast do spadku wydajności wymiennika ciepła – przemiana 1-2 na rys. 1,
- h. Przegrzanie par czynnika na trasach ssawnych sprężarki (występuje głównie w przypadku niez izolowanego przewodu ssawnego oraz dużej różnicy temperatur między rurociągiem a otoczeniem). W praktyce proces ten istotny jest z punktu widzenia urządzenia chłodniczego, w pompach ciepła, zwłaszcza powietrze/woda jest pomijany w trakcie analizy strat ciepła – przemiana 2-3 na rys. 1.

Przemiany te przedstawione zostały na rysunku 1, a punkty charakterystyczne naniesione na schemat ideowy sprężarkowej pompy ciepła przedstawiony na rysunku 2.

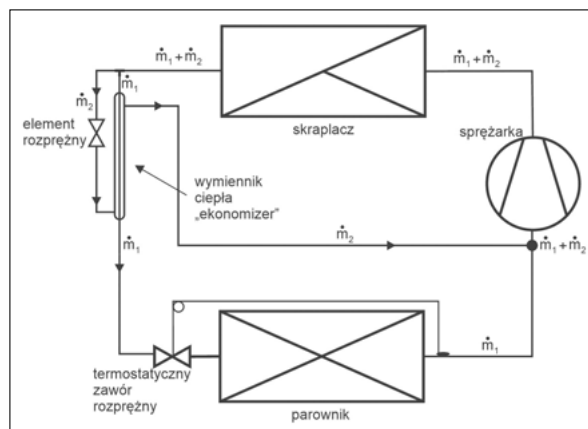
Obecnie, w przypadku pomp ciepła o wydajności grzewczej do 30 kW, najczęściej spotyka się pompy ciepła realizujące obiegi chłodnicze określane jako:

- obieg przegrzany z dochłodzeniem,
- obieg z regeneracją ciepła,



Rys. 2.
Schemat ideowy pompy ciepła wraz z punktami węzłowymi zgodnymi z rys. 1
Fig. 2. Schematic diagram of the heat pump with nodal points consistent with Fig. 1

Rys. 3.
Schemat ideowy pompy ciepła wykorzystującej dodatkowy wymiennik ciepła oraz dodatkowy element rozprężny
Fig. 3. Schematic diagram of a heat pump using an additional heat exchanger and an additional expansion element



Analiza energetyczna pomp ciepła

Praca pomp ciepła w warunkach niskich temperatur zewnętrznych musi zabezpieczać zapotrzebowanie na ciepło. W związku z tym stosowane są różne rozwiązania w celu zabezpieczenia potrzeb cieplnych i uzyskania założonej efektywności urządzenia. Zależnie od wykorzystywanego w dolnym źródle nośnika ciepła (powietrze, woda, grunt) występują określone klimatem zmiany temperatur tych nośników. Warunki obliczeniowe temperatury powietrza zewnętrznego podaje m.in. norma [11], która określa wymagania dla obliczeń cieplnych obiektów. Temperatury nośników ciepła, takich jak

– obieg jednostopniowy z dodatkowym wtryskiem par czynnika.

Modyfikacje te mają różne formy zależnie od producenta urządzeń.

W pompach ciepła, dzięki zastosowaniu zaworów rozprężnych (termoregulacyjnych) uzyskujemy płynną regulację ilości czynnika wprowadzanego do parownika. Jest ona zależna od chwilowego obciążenia źródła ciepła. Kolejną zaletą stosowania termostaticznych zaworów rozprężnych, jest uzyskiwanie przegrzania par czynnika zasysanego przez sprężarkę. Odbywa się to kosztem zmniejszenia wykorzystania powierzchni parownika. Dlatego też, aby zwiększyć wydajność chłodniczą układu stosuje się dochłodzenie ciekłego czyni-

woda i grunt określają wyniki wieloletnich obserwacji.

Rozpatrując np.: powietrze, jako nośnik ciepła, dla Świnoujścia parametry obliczeniowe w okresie zimowym to $t_p = -16^\circ\text{C}$, wilgotność względna $\phi = 100\%$. W tych warunkach muszą być zabezpieczone potrzeby cieplne obiektu. Ponieważ praca urządzenia w takich warunkach cechuje się niską efektywnością (COP ~ 2), często stosowane są rozwiązania, w których wykorzystuje się dodatkowe źródło ciepła – rozwiązanie biwalentne. W większości takich przypadków ogranicza się pracę pompy ciepła wartością temperatury powietrza zewnętrznego, do której pompa ciepła pokrywa całkowite zapotrzebowanie na ciepło. Poniżej tej umówionej wartości uruchamiane jest dodatkowe źródło grzewcze.

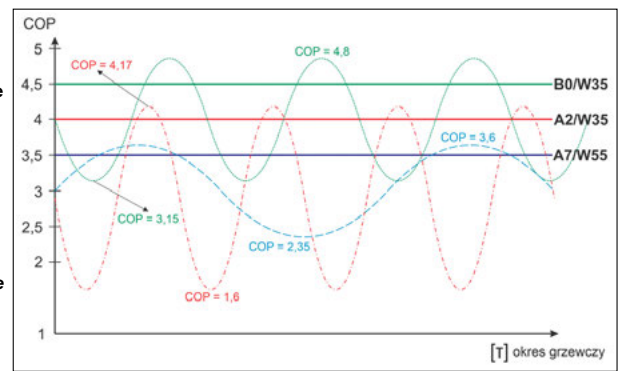
Drugim ważnym aspektem niniejszej analizy jest wysokość temperatury skraplania i wymaganej temperatury nośnika ciepła górnego źródła. W normach [12], [13] określono warunki znamionowe badań, dla których wyznacza się dane charakterystyczne pomp ciepła (m.in. wydajność grzejną czy wskaźnik efektywności energetycznej COP) oraz warunki znamionowe zastosowania.

W przypadku pomp ciepła, gdzie nośnikiem ciepła w górnym źródle jest woda, norma podaje wartości temperatury nośnika na wejściu i wyjściu z wymiennika. Natomiast w przypadku powietrza w normie określona jest jedynie wartość jego temperatury na wlocie do wymiennika. Takie postawienie sprawy, daje dużo swobody przy doborze temperatury skraplania dla systemu powietrznego. Zgodnie z wytycznymi normy [12], dla systemu ogrzewania wodnego niskotemperaturowego (podłogowego lub podobnego zastosowania) temperatura nośnika ciepła powinna wynosić odpowiednio $+30^\circ\text{C}$ na wejściu i $+35^\circ\text{C}$ na wyjściu z wewnętrznego wymiennika stanowiącego górne źródło ciepła (skraplacza). Dla pozostałych typów ogrzewania wodnego, temperatury te wynoszą odpowiednio $+40^\circ\text{C}$ na wejściu i 45°C na wyjściu z wymiennika oraz w niektórych warunkach temperatura nośnika na wyjściu z wymiennika może wynieść $+55^\circ\text{C}$. W przypadku ogrzewania powietrznego (z powietrzem obiegowym), temperatura powietrza na wlocie do wymiennika może wynosić $+20^\circ\text{C}$.

Na rysunku 4 przedstawiono zakres zmienności chwilowej wartości współczynnika efektywności energetycznej COP dla trzech różnych pomp ciepła.

Na rysunku 4 linią zieloną oznaczono zmienność wskaźnika COP dla pompy ciepła pracującej w układzie pośrednim z wykorzystaniem glikolu, jako cieczy pośredniczącej w wymianie ciepła między np. grun-

Rys.4 Profile chwilowych wartości współczynnika efektywności energetycznej COP w trakcie trwania sezonu grzewczego – analiza teoretyczna – opracowanie własne na podstawie zebranych danych rzeczywistych
Fig.4 Profiles of momentary values of the coefficient of performance COP during the heating season – theoretical analysis – own study based on collected real data



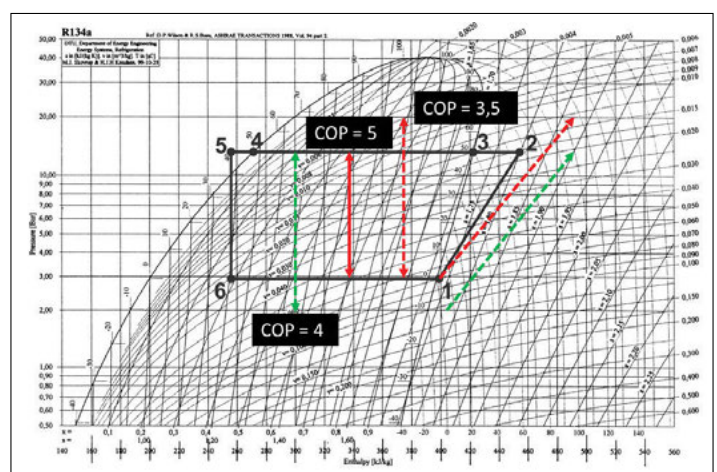
tem lub wodą powierzchniową, a parownikiem. Symbol **B0/W35** zgodnie z normą PN EN 14511 określa warunki przy jakich powinno się badać pompę ciepła, aby współczynnik COP był miarodajny i porównywalny z innymi urządzeniami. **B0** oznacza temperaturę glikolu na wejściu do parownika (B, brein – solanka, obecnie nie używana jako ciecz pośrednicząca z uwagi na jej działanie korozyjne). **W35** oznacza temperaturę wody (W, water) która zasila instalację grzewczą. Kolorem czerwonym i niebieskim oznaczono zmienność wskaźnika COP dla pomp ciepła powietrze/woda. Ciepło pobierane jest z powietrza atmosferycznego i przekazywane do wody grzewczej. **A2** oraz **A7** (a, air) oznacza odpowiednio, temperaturę powietrza zewnętrznego, przy której mierzone jest COP: 2°C oraz 7°C . Jak można zauważyć na rysunku 2 wartość chwilowa współczynnika efektywności energetycznej może znacznie różnić się od jego wartości sezonowej SCOP (lub SPF). Największy wpływ na kształtowanie się COP mają temperatury dolnego i górnego źródła ciepła. O ile temperatura medium zasilającego instalację grzewczą jest wartością stałą (zależną od systemu dystrybucji ciepła), o tyle dolne źródło ciepła cechuje się znacznymi wahaniami temperatur w ciągu roku. W skrajnych przypadkach wartość COP może być ponad dwukrotnie mniejsza od wartości obliczonej dla parametrów znamionowych. W warunkach znacznego obni-

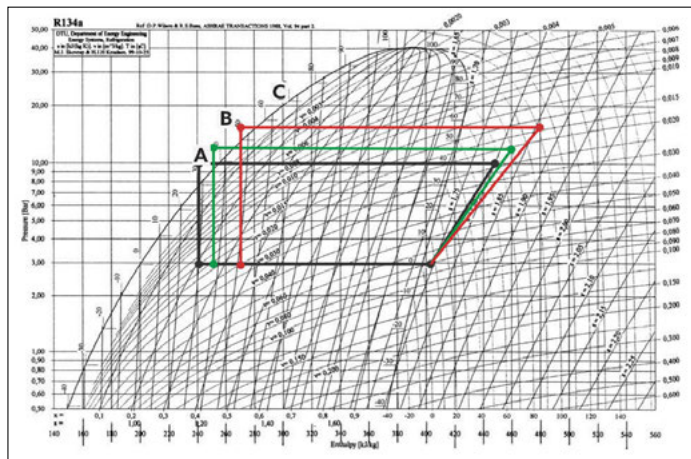
żenia temperatury dolnego źródła ciepła pompa ciepła traci swoją wydajność oraz możliwości uzyskania wymaganej temperatury medium zasilającego instalację grzewczą.

Na rysunku 5 przedstawiono wpływ temperatury skraplania oraz parowania na kształtowanie się współczynnika efektywności energetycznej COP.

Im większa różnica temperatur między dolnym, a górnym źródłem tym mniejsza efektywność energetyczna. Zależność ta jest prawdziwa zarówno dla pomp ciepła jak i dla urządzeń chłodniczych. Należy również zauważyć, że sprężarka pracująca w większym zakresie ciśnień wykazuje niższą sprawność izentropową. Izentropa w obszarze pary przegrzanej wykazuje większe pochylenie w stronę wzrostu wartości entalpii. Wpływa to na zwiększenie jednostkowej pracy sprężania. W większości przypadków urządzeń jednostopniowych (bez chłodzenia korpusu sprężarki) podwyższenie temperatury skraplania zwiększa jednocześnie temperaturę końca sprężania. Może to powodować pogorszenie się jakości oleju smarującego elementy trące sprężarki poprzez zmniejszenie jego lepkości. Z powyższej analizy wynika, że pompa ciepła jako urządzenie grzewcze wymaga optymalizacji parametrów pracy dostosowanej do potrzeb obiektu. Obieg czynnika chłodniczego ukazujący współpracę pompy ciepła z różnymi systemami dystrybucji ciepła przedstawiono na

Rys.5. Charakterystyka przemian termodynamicznych realizowanych przez pompę ciepła
Fig.5. Characteristics of thermodynamic changes carried out by the heat pump





Rys. 6. Przemiany termodynamiczne czynnika chłodniczego w kontekście instalacji dystrybucji ciepła
Fig. 6. Refrigerant thermodynamic transformations in the context of heat distribution installations

Tabela 1 Analizowane temperatury skraplania oraz wody grzewczej na zasilaniu instalacji grzewczej

Tab. 1. Analyzed condensing and heating water temperatures in the heating system feed

Ogrzewanie	Podłogowe	Powietrzne	Grzejnikowe
Temperatura skraplania	$t_k = 40^{\circ}\text{C}$	$t_k = 45^{\circ}\text{C}$	$t_k = 55^{\circ}\text{C}$
Temperatura wody/powietrza na wylocie	$t_{w\text{ out}} = 35^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{pow out}} = 35^{\circ}\text{C}$	$t_{w\text{ out}} = 50^{\circ}\text{C}$

rysunku 6. Temperatury charakterystyczne przedstawiono w tabeli 1.

Na rysunku 6 przedstawiono przemiany termodynamiczne czynnika chłodniczego w obiegu pompy ciepła współpracującej z różnymi typami ogrzewania. Kolorem czarnym na wykresie oznaczono najkorzystniejszy z punktu widzenia efektywności energetycznej pompy ciepła rodzaj ogrzewania, ogrzewanie podłogowe. Jest to ogrzewanie płaszczyznowe, które cechuje się relatywnie niewielkimi temperaturami czynnika grzewczego (wody) w obiegu. W związku z tym wymagana temperatura skraplania czynnika chłodniczego w skraplaczu jest niska i zazwyczaj w takich przypadkach wynosi ok. $t_k = 40^{\circ}\text{C}$ (utrzymujące różnicę temperatur między temperaturą wody opuszczającej skraplacz $t_{w\text{ out}}$, a temperaturą skraplania $\Delta T = 5\text{K}$). Kolorem zielonym na rysunku 6 przedstawiono obieg pompy ciepła współpracujący z ogrzewaniem powietrznym (nadmuchowym). Taki system dystrybucji ciepła wymaga już nieco wyższych temperatur skraplania. Wynika to bezpośrednio z konieczności utrzymywania wyższych różnic temperatur, między temperaturą skraplania a temperaturą powietrza wylotowego. W przypadku ogrzewania nadmuchiowego temperatura w nagrzewnicy powietrza (skraplaczu) powinna być min. 10K wyższa od temperatury powietrza na wylocie. Wyższa różnica podyktowana jest dużo mniejszym ciepłem właściwym powietrza w stosunku do wody ($c_{w\text{ powietrza}} = 1005\text{ J/kgK}$; $c_{w\text{ wody}} = 4189\text{ J/kgK}$ w temperaturze 20°C). Kolorem

czzerwonym na wykresie przedstawiono obieg pompy ciepła współpracujący z ogrzewaniem grzejnikowym. Taki rodzaj ogrzewania nie jest najlepszym rozwiązaniem dla pompy ciepła. Nie mniej jednak w ostatnich latach tendencja zaczyna się zmieniać, a na rynku zaczęły pojawiać się rozwiązania grzejników ściennych, które bardzo dobrze współpracują z pompami ciepła. Grzejniki te (klimakonwektory) mają dobrze rozwiniętą powierzchnię grzewczą, a w niektórych modelach znajduje się wentylator, który dodatkowo wymusza ruch powietrza na powierzchni grzewczej. Współczynniki przejmowania ciepła α [$\text{W/m}^2\text{K}$] z powierzchni grzejnej do powietrza są wtedy znacznie wyższe, co sprzyja szybkości nagrzewania pomieszczenia.

Analizie poddano również instalację pompy ciepła pracującą z grzejnikami ściennymi zasilanymi wodą o temperaturze 50°C . Temperatura skraplania czynnika chłodniczego ustawiona jest na minimalną różnicę, czyli na 55°C . Tak wysoka temperatura skraplania sprawia, że takie rozwiązanie cechuje się najniższą efektywnością energetyczną spośród przedstawionych na rysunku 5. Należy jednak zaznaczyć, że nowe klimakonwektory wymagają znacznie niższej temperatury wody na zasilaniu (ok. $40 - 45^{\circ}\text{C}$). W takim przypadku współczynnik efektywności energetycznej COP może być porównywalny z ogrzewaniem podłogowym.

Analiza środowiskowa pompy ciepła

Norma PN EN 378 wprowadza wskaźnik TEWI (Total Equivalent Warming Impact) – całkowity równoważny wskaźnik tworzenia efektu cieplarnianego, jako narzędzie do szacunkowej oceny wpływu eksploatacji pomp ciepła na globalne ocieplenie. Uwzględnia on bezpośrednią emisję czynnika chłodniczego do atmosfery oraz wpływ emisji ditlenku węgla podczas wytwarzania energii niezbędnej do działania pomp ciepła

w okresie odpowiadającym ich trwałości eksploatacyjnej. Dodatkowo jeżeli gazy cieplarniane mogą być emitowane przez izolację lub inne części składowe instalacji pompy ciepła, to do wskaźnika TEWI należy również dodać potencjał globalnego ocieplenia tych gazów [15]. Całkowitą wartość wskaźnika TEWI określa się za pomocą wzoru:

$$\text{TEWI} = (\text{GWP} \cdot L \cdot n) + (\text{GWP} \cdot m_c \cdot (1 - \alpha_{\text{rec}})) + (n \cdot E_{\text{an}} \cdot \beta) + \text{GWP}_i \cdot (1 - \alpha_i) \cdot m_i \quad [\text{kgCO}_2]$$

gdzie:

GWP – potencjał globalnego ocieplenia gazu w urządzeniu, odniesiony do CO_2 ,

L – roczne straty czynnika przez nieuszczelnienia, [kg], [%],

n – czas eksploatacji urządzenia [lata],

m_c – wielkość napełnienia czynnikiem [kg],

α_{rec} – stopień odzysku/uzdatniania (0÷1),

β – wskaźnik emisji CO_2 podczas produkcji energii [kg/kWh],

E_{an} – roczne zużycie energii [kWh],

GWP_i – potencjał globalnego ocieplenia gazu w izolacji, odniesiony do CO_2 ,

α_i – udział gazu odzyskanego z izolacji po okresie trwałości eksploatacyjnej, od 0 do 1,

m_i – ładunek gazu w izolacji urządzenia [kg].

Wskaźnik TEWI ujmuje sobą zarówno stosunkowo łatwe do określenia wartości składowych powiązanych z zużyciem energii czy wpływem strat odzysku, jak również znacznie trudniejszą do oszacowania wartość składową uwzględniającą wpływ strat nieuszczelnienia. Należy zauważyć, że określenie wartości wskaźnika TEWI daje również interesującą możliwość porównań dla tych samych zastosowań nie tylko wpływu na proces globalnego ocieplenia alternatywnych czynników chłodniczych, ale również wpływu zmian konstrukcyjnych prowadzących do ograniczenia zużycia energii.

Wykorzystując wskaźnik TEWI, można określić kierunki pracy nad obniżeniem negatywnego wpływu eksploatacji pompy ciepła na rzeczywiste globalne ocieplenie. W tej kwestii należy skupić się przede wszystkim na:

- ograniczeniu do minimum wymagań dotyczących wielkości napełnienia instalacji czynnikiem chłodniczym;
- optymalizacji instalacji pod kątem maksymalnej efektywności energetycznej;
- właściwej konserwacji w celu utrzymania optymalnej charakterystyki energetycznej i zapobiegania ubytkom czynnika chłodniczego przez nieuszczelnienia;
- odzysku i uzdatnianiu/regeneracji używanego czynnika chłodniczego [15].

Przykład obliczenia TEWI

Analizie poddano dwie pompy ciepła powietrze/woda typu split, pracujące z innymi czynnikami chłodniczymi, R 410a oraz R 32. Moc grzewcza pompy ciepła w obu przypadkach jest taka sama i wynosi 20 kW. Tryb pracy również jest taki sam. Urządzenie pracuje na cele c.w. oraz c.o. Czas pracy pompy ciepła (czas pracy sprężarki) w okresie grzewczym zależy od wielu czynników. Są to m.in. temperatura wody grzewczej, jakość izolacji bufora ciepła, czas rozbioru bufora, jakość izolacji obiektu czy preferencje użytkowników w kwestii komfortu cieplnego. W tym przypadku dokonano uproszczenia, które polega na założeniu, że okres grzewczy trwa 220 dni oraz, że w tym okresie pompa ciepła pracowała 2000 h. Dodatkowo 500 h pracy przyjęto w okresie poza sezonem grzewczym, w którym urządzenie pracowało jedynie na potrzeby c.w.

Większość pomp ciepła posiada sprężarki inwerterowe co sprawia, że płynnie dostosowują one swoją wydajność do rzeczywistych chwilowych potrzeb. Biorąc pod uwagę obecną technologię oraz zróżnicowane preferencje użytkowników, nie jest możliwe wstępne oszacowanie ilości energii jaką zużyje pompa ciepła w ciągu roku. Wartość tą należy zmierzyć za pomocą miernika energii elektrycznej zainstalowanego na zasilaniu instalacji. Powinien on obejmować pracę sprężarki oraz wszystkich odbiorników wykorzystywanych do prawidłowej pracy instalacji, w tym pompy, wentylatory itp. Większość nowych rozwiązań pomp ciepła posiada wewnętrzny licznik zużywanej energii elektrycznej. Dzięki temu na bieżąco można kontrolować pracę urządzenia. W teorii, w analizowanym zakresie zmienności temperatur pompa ciepła z czynnikiem R 32 zużywa mniej energii niż analogiczne urządzenie z R 410a. Różnica wynosi ok. 5% (zgodnie z przeprowadzonymi symulacjami dla tych samych wartości temperatury skraplania i parowania). Taką wartość przyjęto również w niniejszej analizie. W praktyce pompy ciepła z czynnikiem R 32 posiadają inną konstrukcję m.in. wymienników ciepła, co wiąże się finalnie ze zmniejszonym zużyciem energii przez sprężarkę oraz dużo niższym napełnieniem przy zachowaniu tej samej wydajności [25]. W przypadku pompy ciepła z czynnikiem R 410a przyjęto max. moc sprężarki 5 kW, natomiast z czynnikiem R 32, moc sprężarki to 4,75 kW.

Napełnienie czynnikiem chłodniczym urządzenia zależy od jego właściwości fizykochemicznych. W omawianym przypadku zachowując tą samą wydajność grzewczą, pompa ciepła z czynnikiem chłodniczym R 32 charakteryzuje się mniejszym wagowo

napełnieniem niż analogiczna pompa ciepła z czynnikiem R 410a [16]. R 32 jest również tańszy w produkcji. Wszystkie te cechy sprawiają, że wykazuje on znacząco mniejszy negatywny wpływ na tworzenie efektu cieplarnianego. Wadą natomiast jest jego palność. Zgodnie z normą PN – EN 378 oraz standardami amerykańskimi AR 4 czynnik R 32 zaliczany jest do grupy A2L – co oznacza, że jest on trudno zapalny. Zgodnie z kartą charakterystyki difluorometanu (R 32) [22], [23], górna granica palności wynosi 34% (V) a dolna 14% (V). Temperatura samozapłonu wynosi 530°C (R 410a) nie posiada wartości temperatury samozapłonu. W przypadku wycieku należy pamiętać, że jest to gaz cięższy od powietrza i będzie gromadził się w przestrzeniach zamkniętych na poziomie gruntu lub poniżej. Według danych zawartych w literaturze [24], maksymalna prędkość spalania wynosi 6,7 cm/s, a minimalna energia zapłonu od 30 do 100 mJ.

Przyjęty czas pracy urządzenia to 1 rok, stopień odzysku czynnika podczas serwisów lub złomowania to 0,97 (97%). Z tego założenia wynika kolejne uproszczenie, które pozwala przyjąć wartość rocznej straty czynnika przez nieszczelności na poziomie 3%. Uwzględniono tutaj również ubytek czynnika chłodniczego na skutek prac serwisowych. W rzeczywistych urządzeniach suma rocznych wycieków oraz ilości czynnika jest zmienna i nie da się dokładnie tego oszacować. Regularne serwisy oraz pełny monitoring parametrów pracy może zapewnić bezawaryjną pracę i utrzymanie czynni-

kg/kWh. Jest to wartość wskaźnika emisyjności energii elektrycznej u odbiorców końcowych, czyli po uwzględnieniu całej wyprodukowanej energii elektrycznej w kraju z uwzględnieniem instalacji do spalania paliw i energii z odnawialnych źródeł energii (OZE) oraz strat na przesyłce i dystrybucji energii elektrycznej. Wartość ta została podana w raporcie z grudnia 2023 roku traktującym za rok 2022.

W obliczeniach pominięto ostatni człon wskaźnika TEWI, odpowiedzialny za ilość gazu wykorzystywanego do spienienia izolacji. W niniejszej analizie uwzględniono jedynie urządzenie.

Tabela 2 Parametry środowiskowe pompy ciepła z uwzględnieniem czynnika chłodniczego
Tab.2. Environmental parameters of the heat pump including the refrigerant

Lp.	Parametr	R 410a	R 32
1	GWP [-]	2088	675*
2	L [kg], [%]	3% masy	3% masy
3	n [lata]	1 rok	1 rok
4	m_c [kg]	5 kg	4,75 kg
5	α_{rec} [0÷1]	0,97	0,97
6	β [kg/kWh]	0,685	0,685
7	E_{an} [kWh]	12 500 kWh	11 875 kWh

*przyjęto zgodnie z normą PN-EN 378

W tabeli 2 zestawiono dane pomp ciepła wykorzystane do obliczenia wskaźnika TEWI. W tabeli 3 przedstawiono wyniki częściowe składowych TEWI oraz wartość końcową dla urządzenia pracującego z czynnikiem chłodniczym R 410a oraz R 32.

Tabela 3 Wyniki obliczeń wskaźnika TEWI
Tab.3. Results of TEWI index calculations

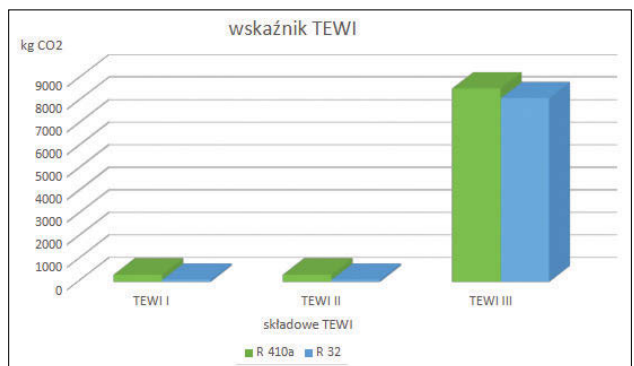
Lp.	Składowa TEWI	R 410a	R 32
1	TEWI I – $(GWP \cdot L \cdot n)$, składowa uwzględniająca wpływ strat nieszczelności,	313,2	96,1875
2	TEWI II – $(GWP \cdot m_c \cdot (1 - \alpha_{rec}))$, składowa uwzględniająca wpływ strat podczas odzysku,	313,2	96,1875
3	TEWI III – $(n \cdot E_{an} \cdot \beta)$, składowa uwzględniająca wpływ zużycia energii,	8562,5	8134,375
4	Σ TEWI	9188,9	8326,75

ka chłodniczego na stałym poziomie. Wskaźnik emisyjności przyjęto zgodnie z informacjami podanymi przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Energią (KOBIZE). Dla Polski wynosi on, $\beta = 0,685$

Interpretacja wyników TEWI

Na rysunku 7 przedstawiono graficzną interpretację trzech składowych wskaźnika TEWI. Wskaźnik ten określa ilość CO₂ wyrażoną w kg (lub w tonach), wytwarzaną

Rys.7. Graficzna interpretacja wskaźnika TEWI
Fig.7. Graphical interpretation of the TEWI



w okresie eksploatacji urządzenia. Jako horyzont czasowy przyjęto okres 1 rok. Nie uwzględniono czwartej składowej odpowiedzialnej za emisję czynnika służącego jako gaz nośny do spieniania izolacji zimnochronnej. Składowa ta, istotna jest w przypadku analizy urządzeń chłodniczych połączonych z komorą chłodniczą, w której analizowane urządzenie utrzymuje niską temperaturę.

Jak wynika z przedstawionej analizy, wpływ eksploatacji pompy ciepła na środowisko, głównie na podnoszenie efektu cieplarnianego nie jest pochodną zastosowanego czynnika chłodniczego, ale źródła energii elektrycznej zasilającej jej podzespoły.

Urządzenie pracujące z czynnikiem chłodniczym R 410a dla ustalonych warunków pracy, jest odpowiedzialne za emisję 9 188,9 ton ditlenku węgla. Należy zaznaczyć, że dwie pierwsze składowe TEWI I oraz TEWI II, mimo wysokiej wartości GWP wykazują niewielki wpływ na zwiększenie efektu cieplarnianego. W omawianym przypadku, odpowiadają one jedynie za ok 7% emisji CO₂ związanej z analizowaną pompą ciepła. Za ok 93% emisji odpowiedzialny jest trzeci człon wskaźnika TEWI, energetyczny. Podobnie jest dla czynnika R 32. Mimo znacząco niższego wskaźnika GWP, końcowa wartość TEWI dla pompy ciepła jest jedynie o 9,5% niższa. Wynika to z faktu, że w Polsce ponad połowa zużywanej energii elektrycznej produkowana jest w oparciu o spalanie węgla kamiennego i brunatnego [19]. Wartość wskaźnika emisyjności β [kg CO₂/kWh] obliczana jest w oparciu o dwa wzorce. Pierwszy uwzględnia jedynie wielkość produkcji energii elektrycznej wykazanej z instalacji do spalania paliw w raportach do Krajowej bazy i za rok 2022 wynosi on 0,788 kg CO₂/kWh. Drugi wzorzec dotyczy energii elektrycznej dostarczonej do odbiorcy końcowego. W tym wariancie uwzględnia się dodatkowo wielkość energii elektrycznej wyprodukowanej z wody, wiatru, innych OZE wraz ze stratami na przesyłce i dystrybucji energii [19]. W tym przypadku wartość wskaźnika emisyjności za rok 2022 dla Polski to 0,685 kg CO₂/kWh.

Podsumowanie

Chwilowy współczynnik efektywności energetycznej pompy ciepła COP, określony dla wskazanego zakresu temperatur dolnego i górnego źródła ciepła jest parametrem określającym energochłonność całej instalacji. Poprzez jego interpretację można oszacować energochłonność całej instalacji grzewczej w warunkach normowych. Nie jest on jednak pomocny w określeniu całkowitego rocznego zużycia energii. Aby dokładnie określić oszczędności związane

z zastosowaniem pompy ciepła w stosunku do innych systemów grzewczych, należy obliczyć sezonowy współczynnik efektywności energetycznej SCOP. Informację taką można uzyskać monitorując zużycie energii przez pompę ciepła oraz ilość „wyprodukowanego” ciepła w okresie całego roku. Wartość sezonowa, SCOP (lub SPF) zależy od wielu czynników. Część z nich można w pewnym stopniu przewidzieć i oszacować. Są to m.in. warunki eksploatacyjne, oczekiwania i wymagania użytkownika, stan izolacji budynku, jakość izolacji bufora. Inne są nieprzewidywalne i chcąc włączyć je w algorytm obliczeniowy pozwalający określić zużycie energii możemy bazować jedynie na statystyce. Mowa tutaj np. o warunkach atmosferycznych. Sezonowy współczynnik efektywności energetycznej SCOP wymaga dokładnej analizy w wielu aspektach pracy pompy ciepła i zostanie to podjęte w kolejnych badaniach.

Analiza współczynnika COP pozwala nam na oszacowanie, oprócz kosztów eksploatacji, wpływu urządzenia na środowisko naturalne. Można go powiązać liczbowo z oddziaływaniem pompy ciepła na tworzenie się efektu cieplarnianego. Analizując wyniki wskaźnika TEWI można dostrzec, że substitucja czynnika chłodniczego w urządzeniu, przykładowo z R 410a na R32, nie przynosi wymiernych efektów w kontekście zmniejszenia emisji CO₂ do atmosfery. Mimo znaczącej różnicy w wielkości wartości GWP, decydującą rolę w obliczeniach odgrywa trzeci człon wskaźnika TEWI, odpowiedzialny za zużycie energii elektrycznej do napędu pompy ciepła (oraz urządzeń pomocniczych). Czynniki R 32 charakteryzują o ok. 70% niższą wartość wskaźnika GWP w stosunku do R 410a, natomiast całkowita wartość TEWI jest niższa jedynie o 9,5%.

Aby zmniejszyć wpływ tych urządzeń na emisję CO₂ należy skupić się na działaniach mających na celu wykorzystanie zielonej energii do ich zasilania. W chwili, kiedy będzie ona pochodziła z wiatru lub fotowoltaiki, trzeci człon TEWI może zostać zmniejszony do wartości pomijalnie małej w całej analizie. Zużycie energii w takim przypadku nie będzie brane pod uwagę, ponieważ jej produkcja nie będzie towarzyszyła emisji CO₂ do atmosfery. W analizie pominięte zostały składowe odpowiedzialne za emisję gazów cieplarnianych związane z budową oraz utylizacją urządzeń wytwarzających energię elektryczną.

PODZIĘKOWANIA

Praca naukowa współfinansowana z Programu Interreg V A Meklemburgia-Pomorze Przednie / Brandenburgia / Polska

w ramach projektu międzynarodowego INT190 MoRE „Modelowy Region Energii Odnawialnych Wysp Wolin i Uznam” i współfinansowanego ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach programu pn. „PMW” w latach 2020-2022; umowa nr 5195 / INTERREG VA MV / BB / PL / 2021/2.

LITERATURA

- [1] <https://portpc.pl/port-pc-2022-rok-pompy-ciepła-w-polsce/>
- [2] <https://www.ehpa.org/market-data/>
- [3] Ustawa z dnia 20 lipca 2017 – Prawo wodne
- [4] <https://www.daikin.pl/>
- [5] https://www.aircon.panasonic.eu/PL_pl/happening/aquarea-heat-pump-line-up/
- [6] <https://www.nibe.eu/pl/pl/produkty/pompy-ciepła>
- [7] <https://www.mhi.info.pl/pompy-ciepła>
- [8] <https://www.stiebel-eltron.pl/pl/produkty-rozwiazania/energia-odnawialna/pompy-ciepła.html>
- [9] <https://www.johnsoncontrols.com/pl/pl/buildings/hvac-equipment>
- [10] <https://www.gazuno.pl/produkty/sprezarkowe-pompy-ciepła/seria-p/>
- [11] PN-76/B-03420-1 Wentylacja i Klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego
- [12] PN-EN-14511 Klimatyzatory, zbiębiarki cieczy i pompy ciepła ze sprężarkami o napędzie elektrycznym, do grzania i ziębienia.
- [13] PN 14825 Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling – Testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance
- [14] Rozprawa doktorska „Badania eksperymentalne efektywności pompy ciepła wykorzystującej utajone ciepło zamarzania wody”, Wydział Techniki Morskiej i Transportu, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
- [15] PN – EN 378-1:2008. Załącznik B
- [16] Mudhafar A H Mudhafar, Hsuan-Yi Pan: „The fluid flow and heat transfer characteristics of R-32 in a small Tube”. International Journal of Refrigeration, Volume 139, July 2022, Pages 204-213
- [17] https://www.kobize.pl/uploads/materialy/materialy_do_pobrania/wskazniki-emisyjnosci/Wskazniki-emisyjnosci-2022.pdf
- [18] National Energy & Climate Plans (NECPs), Ember calculations. The 19 countries displayed account for > 97% of EU – 27 electricity consumption
- [19] KOBIZE – <https://www.kobize.pl/>
- [20] M. Kruzel, T. Bohdal, K. Dutkowski: „Current research trends in the process of using zeotropic mixtures in energy installations; Lorenz’s comparative cycle” 12/2023 INSTAL S.17-25, DOI: 10.36119/15.2023.12.3
- [21] R. A. Sakowicz, A. J. Werner-Juszczak: „Operating costs of air and ground source heat pumps” 7-8/2022 INSTAL S.33-37, DOI 10.36119/15.2022.7-8.4
- [22] [R32A \(refex.co.in\)](#)
- [23] [Linde Gaz Polska | Gazy Przemysłowe \(linde-gaz.pl\)](#)
- [24] [Daikin R32 Handling Brochure EN.pdf \(daikinchem.de\)](#)
- [25] [Genetron® 32 \(R-32\) | Europejskie czynniki chłodnicze \(honeywell-refrigerants.com\)](#)

Changes in the composition of the indoor bioaerosol as a result of the ozonation process carried out under different ventilation air flow rate

Zmiany składu bioaerozolu w pomieszczeniu w wyniku procesu ozonowania prowadzonego przy różnych wartościach strumienia wentylacji

WALTER MUCHA, EWA ZABŁOCKA-GODLEWSKA, ALEKSANDRA MIERZEJOWSKA, ALEX BORKOWSKI, ALEKSANDRA BIENIEK, KINGA BISKUP, KAMIL FOIT, KAROLINA HULBOJ, KAMIL KRAWCZYK

DOI 10.36119/15.2024.4.3

The microbial composition of indoor bioaerosol is very important for the health and well-being of occupants of these spaces. The efficiency of the ventilation system is crucial in providing proper quality of that. The study aimed to assess the impact of the ozonation carried out under a changeable ventilation air flow rate on airborne microflora. Studies were conducted in a chemical laboratory with four-level force mechanical ventilation. An ozone generator with an efficiency of 1000 g O₃/min was used. The impact method was used for the sampling of airborne bacteria and fungi. The number of psychrophilic, mesophilic bacteria and fungi was estimated as CFU/m³. For the growth of bacteria and fungi TSA and Sabouraud medium was used respectively. Temperature, relative humidity (RH), volumetric air flow rate (VFR), and ozone concentration were measured. The average minimum ozone concentration reached after 20 minutes of work of one ozone generator was 0.23 ppm (VFR 0.036 m³/s) and the average maximum concentration was 0.585 ppm (VFR 0.004 m³/s) which resulted in the reduction of number of mesophiles 31.7%, 70.2% and psychrophiles 32.7%, 75.3% respectively. After simultaneous work of two ozone generators the average ozone concentration was 0.96 ppm (VFR 0.122 m³/s) resulted in disinfection efficiency 43.5% and 9.7% respectively. It was difficult to find any tendency of elimination of fungi. The increase of RH of air cause increase the ozonation efficiency towards the airborne fungi, which was not observed in the case of bacteria. The results of disinfection efficiency carried out in the real conditions showed that the number of the airborne bacteria detected after ozonation depended on the biocidal effect of ozone concentration as well as the value of the VFR and time of exposition.

Keywords: bioaerosol, ozonation, disinfection, air quality, indoor air, mechanical ventilation, airborne bacteria, airborne fungi

Mikrobiologiczny skład bioaerozolu pomieszczeń istotnie wpływa na zdrowie i dobre samopoczucie ich użytkowników. Kluczowe znaczenie w utrzymaniu wysokiej jakości powietrza odgrywa sprawność wentylacji. Celem pracy była ocena wpływu ozonowania prowadzonego przy zmiennym natężeniu strumienia wentylacji na skład mikroflory powietrza. Badania przeprowadzono w laboratorium chemicznym z czterostopniową wymuszoną wentylacją mechaniczną. Zastosowano generator ozonu o wydajności 1000 g O₃/min. Próby bioaerozolu bakteryjnego i grzybowego pobierano metodą zderzeniową. Do hodowli bakterii mezofilnych i psychrofilnych wykorzystano podłoża TSA, grzybów agar Sabouraud. Stężenie mikroorganizmów w powietrzu podano jako CFU/m³ powietrza. W trakcie badań mierzono temperaturę, wilgotność względną (RH), objętościowe natężenie przepływu powietrza (VFR) i stężenie ozonu. Średnie minimalne stężenie ozonu osiągnięte po 20 minutach pracy jednego generatora ozonu wyniosło 0,23 ppm (VFR 0,036 m³/s), a średnie maksymalne 0,585 ppm (VFR 0,004 m³/s), co spowodowało spadek liczebności odpowiednio mezofili o 31,7%, 70,2% i psychrofilii o 32,7%, 75,3%. Jednoczesne użycie dwóch generatorów ozonu pozwoliło na uzyskanie średniego stężenie ozonu na poziomie 0,96 ppm (VFR 0,122 m³/s), co przełożyło się na skuteczność dezynfekcji odpowiednio 43,5% i 9,7%. Trudno było stwierdzić jakiegokolwiek tendencje w eliminacji grzybów. Stwierdzono jednak, że wraz ze wzrostem wilgotności względnej powietrza zwiększała się skuteczność ozonowania względem grzybów, czego nie stwierdzono jednoznacznie w przypadku bakterii. Wyniki skuteczności dezynfekcji przeprowadzone w warunkach rzeczywistych wykazały, że stężenie bakterii w powietrzu po ozonowaniu zależało od biobójczego działania stężenia ozonu, wartości VFR i czasu ekspozycji. *Słowa kluczowe: bioaerozol, ozonowanie, dezynfekcja, jakość powietrza, powietrze wewnętrzne, wentylacja mechaniczna, mikroorganizmy przenoszone drogą powietrzną, bakterie, grzyby.*

Walter Mucha <https://orcid.org/0000-0002-7476-0614> – DSc; The Silesian University of Technology, Faculty of Energy and Environmental Engineering, Department of Air Protection, Gliwice, Poland

Ewa Zabłocka-Godlewska <https://orcid.org/0000-0002-4212-8913> – Associate Prof.; The Silesian University of Technology, Faculty of Energy and Environmental Engineering, Department of Air Protection, Gliwice, Poland

Aleksandra Mierzejowska <https://orcid.org/0000-0003-0191-5782> – DSc; The Silesian University of Technology, Faculty of Faculty of Mining, Safety Engineering and Industrial Automation, Department of Geoengineering and Raw Materials Extraction, Gliwice, Poland,

Alex Borkowski, Aleksandra Bieniek, Kinga Biskup, Kamil Foit, Karolina Hulboj, Kamil Krawczyk – Student of The Silesian University of Technology, Gliwice, Poland

Adres do korespondencji/Corresponding author: E-mail address: walter.mucha@polsl.pl

Introduction

Ozone (O_3), a three-atom allotrope of oxygen, has low molecular stability and is one of the strongest oxidizing agents. It occurs in nature, and its concentration in the atmosphere is about 0.04 ppm [1]. Its rate of decomposition increases with increasing temperature. At high concentrations, it decomposes explosively [2]. In the gas phase, ozone has a half-life of about 20 minutes [3]. It is a powerful oxidizing agent that causes changes in the molecular structures of complex cell membrane compounds, which are responsible for the integrity of bacteria, protists, fungal cells and viral particles [4]. Oxidation of amino acids, phospholipids, glycolipids, glycoproteins and polyunsaturated fatty acids leads to disruption of cell membrane function and stability, leakage of cell components, and ultimately cell death. Ozone radicals, generated during ozone breakdown, also induce cell lysis by penetrating the cell membrane and altering cellular metabolism. Intracellular damage processes also occur through protein oxidation, DNA damage and disruption of enzymatic activity [5], [6], [7]. All this leads to the destruction of microorganisms exposed to ozone. This gas is evenly distributed throughout the room and can effectively penetrate hard-to-reach areas, including small crevices. Ozone is considered an inexpensive and somewhat environmentally friendly disinfectant, as its use reduces the use of other potentially harmful chemical disinfectants. As a highly unstable substance that readily converts to molecular oxygen, it leaves few harmful residues [8]. In addition, unlike antibiotics, ozone's biocidal mechanism prevents the development of microbial resistance [2]. Ozone is widely used in air and surface disinfection, e.g. in surgical wards, in the food and pharmaceutical industry, and in water treatment [9], [10]. It is used on a massive scale in the disinfection of heating, ventilation and air conditioning systems [11]. The most problematic factor in ozone disinfection in such installations is to control its concentration and keep it within the desired range (0.055 ppm) [8], [12]. It has been proven that treating fruits, vegetables and other foods with ozone extends their shelf life [13]. The ozone concentration for effective biocidal action is 13 mg/m³ of air [5]. Antimicrobial resistance is on the rise, making common nosocomial infections (e.g. pneumonia, tuberculosis, methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA)) difficult to treat with traditional methods due to multidrug resistance (MDR) and

antimicrobial resistance. Ozone has been proposed as an effective disinfection tool to control drug-resistant pathogens and reduce the use and consumption of antibiotics [14]. Piletić et al. (2022) [15] presented the results of ozonation of a recovery room in a hospital. Air samples taken after one hour of exposure at an ozone concentration of 15.71 mg/m³ showed that the most dominant Gram-positive bacteria of the genera *Micrococcus*, *Staphylococcus* and *Bacillus* were reduced by 33%, 58% and 61%, respectively. The genus *Micrococcus* turned out to be the most resistant. Petry et al [16] showed that 68-90% reduction in viral activity was possible after 1-3 hours of exposure to ozone at concentrations of 0.02 to 0.05 ppm. Fontes et al. [17] studied the effects of different doses of ozone on the growth of the bacteria strain *Escherichia coli* – ATCC:35218, and the oxacillin-sensitive pathogen *Staphylococcus aureus* – ATCC:25923. They showed that doses greater than or equal to 20 µg O_3 /ml for 5 min exposition prevented the growth of these bacterial strains. At 15 µg O_3 /ml for 5 minutes, bacteria were detected, but their concentrations [CFU/m³] were low. Tu et al (2020) [18] reported that complete removal of bacteria and fungi in a hospital operating room was achieved using ozone at 5 ppm and an exposure time of 40-60 minutes [3]. The biocidal effect on microorganisms varies depending on their individual characteristics. Viruses have been documented to have similar levels of resistance to ozone as bacteria, and ozone has also been shown to be less effective against fungal spores and bacterial endospores (e.g., *Bacillus* and *Clostridium*) than against vegetative cells [9]. Gram-positive bacteria are less resistant to ozone than Gram-negative bacteria [4]. Some factors affect the effectiveness of ozone as an air disinfectant. These include relative humidity (RH) of the air, temperature (T) and air pollution [7], [19]. Hudson [20] obtained maximum antiviral efficacy at a concentration of 25 ppm ozone for 15 minutes, and humidity followed by a short period of >90% RH. Bioaerosols in dwellings and public buildings such as schools, offices, hospitals, etc. are generated mainly by humans. The microbiological quality of indoor air is very important for the well-being and health of these space users. For a particular type of space, such as laboratories, it can also affect the results of ongoing research. Microbiological air contaminants can contaminate the reagents, bio-cultures, etc. Proper air quality reduces the risk of spreading airborne infectious dis-

eases, allergies (allergens produced by mold, bacteria) and poisoning (bacterial endotoxins, mycotoxins) [21], [22], [23], [24], [25], [26].

High concentrations of ozone in the air have harmful effects on humans. It should be taken into account that inhaling high concentrations of ozone is dangerous to the respiratory tract and causes damage, shortness of breath, sore throat, eye pain, chest pain and irritation. Therefore, it is important to control the concentration of ozone during the ozonation process [25]. According to the Regulation of the European Parliament and of the Council (EC) No. 1272/2008 [27], the maximum permissible concentration of ozone in the air is 0.15 mg/m³ (0.076 ppm). For occupational risks, this concentration must not be exceeded for 8 hours a day and 40 hours a week. The lethal concentration for humans is 100 mg O_3 /m³ of air [5].

The aim of the study was to determine the effectiveness of ozone air disinfection under real conditions. Study was conducted in a chemical laboratory, a specific type of indoor space that is rarely studied. Most of the studies are typical case studies. Our research was conducted under real conditions determined by the variable efficiency of the ventilation system, and various temperature and RH values. This approach to the problem allows to monitor the impact of changeable temperature [°C], RH [%], controlled air flow rate [m³/s] and ozone concentration on the efficiency of ozone treatment and to determine the optimal values of these factors in real conditions. This would make it possible to predict the efficiency of the process and determine the required concentration or time of ozone production under given conditions.

Material and methods

Sampling and measurement series location

The study was carried out in a chemical laboratory. Samples were collected for 6 weeks in the autumn-winter season (November and December). The research focused on the assessment of the effect of the ozonation process carried out at different values of VFR on the composition of the bioaerosol. The laboratory room was 6 m long x 4 m wide x 3 m high (volume 72 m³). In the laboratory, instead of opening windows, there were ceiling skylights. The laboratory is equipped with a 4-stage mechanical exhaust and supply ventilation system. The air exchange and flow rate can be adjusted. Laboratory equipment is

typical for a basic chemical analysis laboratory (laboratory tables, cabinets, sink, basic apparatus, laboratory glassware, reagents, etc.). The laboratory was used in the normal way and in accordance with its intended purpose, except for the moment when disinfection and measurements were carried out (no one was in the room during this time). The sources of bioaerosol in the laboratory were the users of the laboratory, the air introduced through the ventilation system supply and the probable emission from the sink.

The study was carried out under different ozone concentration conditions, determined by variable VFR values. During the research, 6 measurement series were performed. Details of the series are given in Table 1. The dimensions and ventilation system of the measuring room as well as the arrangement of the equipment used are shown in Fig. 1.

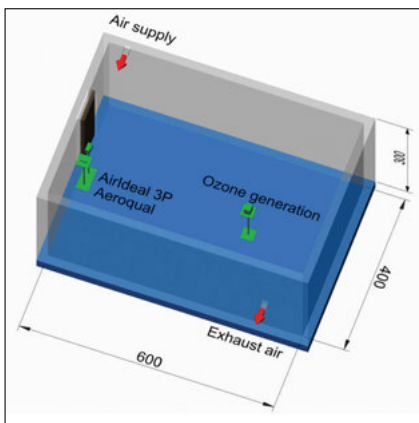


Figure 1. Dimensions and ventilation system of the measuring room and the arrangement of the equipment used

Rysunek. 1. Wymiary i system wentylacyjny pomieszczenia pomiarowego oraz rozmieszczenie wykorzystanej aparatury

Ozone generation and measurement

A Lehmann Alloy 60,000 mg/h ozone generator was used. In series 1-4 and 6, the amount of ozone produced was 1000 g/min. The exception was series 5, during which two ozone generators operated simultaneously (2000 g/min) to increase the concentration of ozone in the air. The ozone generator was located in the center of a room marked by diagonal lines, at a height of 110 cm above the floor. During the 5th series, both generators used were at the same point, close to each other. The ozone concentration was measured using an Aeroqual Series 500 ozone meter equipped with an interchangeable GSS and GSE sensor (additionally equipped with a Tand RH (HH TRH) sensor). The sen-

sors differ in measurement accuracy: GSS type – range was 0-0.5, minimum detection limit of 0.001 ppm, factory calibration accuracy ± 0.008 ppm 0-0.1 ppm $\pm 10\%$ 0.1-0.5 ppm; , type GSE – range 0-10 ppm, minimum limit of detection 0.01 ppm, factory calibration accuracy $\pm 0.01 \pm 7.5\%$. Taking into account the set value of the ventilation flux and the predicted ozone concentration (based on previous tests – results not presented), an appropriate measuring head (sensor type) was selected for ozone measurement. The ozone meter was 110 cm above the floor, against the wall at a distance of 3 meters from the ozone generator. Measurements were carried out continuously from the time point before ozonation to 30 minutes after the end of emission.

Microbiological analysis

Microbiological analyses of the bioaerosol included estimation of changes in concentrations of mesophilic and psychrophilic bacteria and fungi. Various microbial growth media were used for this purpose. Trypticasein Soy LAB-AGAR (TSA, Biomaxima) was used for bacterial growth and Sabouraud Dextrose LAB-AGAR (SB, Biomaxima) was used for fungi. Samples were collected at three time points, in three replications: before ozonation, immediately after 20 minutes of ozonation, and 30 minutes after the end of emission. The measurements were carried out with the impact method using the Air Ideal 3P Biomérieux sampler (the accuracy of the measuring instrument is 100 ± 6.5 liters per minute). The air sampler was placed 110 cm above the floor (using a tripod) against a wall at a distance of 3 meters from the ozone generator near the location of the ozone sampler. In each series, 100 dm³ of air was taken per plate.

After sampling, the plates were incubated:

- psychrophilic bacteria at 21 °C for 48-72 h,
- mesophilic bacteria at 36.5 °C for 24-48 h,
- fungi at 26 °C for 72-96 h.

Colonies were counted using a bacterial colony counter.

The concentration of microorganisms [CFU/m³] was calculated according to formula 1:

$$A = \text{MPN} \times 1000 / V \quad (1)$$

Where:

A – concentration of airborne microorganisms per cubic meter of air [CFU/m³]

MPN – value calculated on the basis of CFU counting, using FELLER'S law (statistical correction),
V – volume of collected air (100 dm³)

Other measurements

Relative humidity (RH) and air T were measured continuously during the ozonation process and 30 minutes after ozonation. The measurements were performed by using an Aeroqual Series 500 device (equipped with a T I RH (HH TRH) sensor, which was 110 cm above the floor against the wall at a distance of 3 meters from the ozone generator. The average values of these parameters were calculated.

Air flow was measured with an HCA-1 hot wire anemometer in the range of 0.1-2 m/s ; 0.1-20 m/s $\pm 5\%$. The measurement was carried out on the supply grille, the velocity of air outflow was averaged from four measurement points. The volumetric air flow rate (VFR) is calculated using formula 2:

$$\dot{V} = Av \quad (2)$$

Where:

\dot{V} – volumetric air flow rate [m³/s]
A – ventilation hole area [m²]
v – air flow velocity [m/s]

Statistics

Uncertainty in the measurement of volumetric air flow rate.

$$\Delta \dot{V} = \sqrt{\left(\frac{\partial \dot{V}}{\partial A} \cdot \Delta A\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{V}}{\partial v} \cdot \Delta v\right)^2}$$

$$\frac{\partial \dot{V}}{\partial A} = \frac{d}{dA} \cdot Av = v$$

$$\frac{\partial \dot{V}}{\partial v} = \frac{d}{dv} \cdot Av = A$$

Δ – measurement error [m³/s] \dot{V}
 \dot{V} – volumetric air flow [m³/s]
v – air flow velocity [m/s]
A – gap area [m²]
 Δv – anemometer error 0.1 [m/s]
 ΔA – area measurement error 0.01 [m²]

$$\Delta \dot{V} = \sqrt{(v \cdot \Delta A)^2 + (A \cdot \Delta v)^2}$$

Ozone concentration.

The data are presented as mean standard deviation \pm (SD) for a 20-minute ozone exposure period.

Results and discussion

Studies of the effectiveness of ozone disinfection were carried out in a chemical

laboratory room that was used in a typical way. During the ozonation and sampling process, there were no people there. It was investigated how variable values of ozone concentration, VFR, temperature and RH affect the effectiveness of disinfection. During the 20-minute ozonation process, the mean minimal ozone concentration achieved during the tests was 0.23 (± 0.028) ppm in the 6th series, and the average maximal ozone concentration was 0.96 (± 0.041) ppm in the 5th series (Table 1). The effect of ozone on living organisms is proportional to its concentration and duration of exposure, which means that even at low ozone concentrations, microorganisms can be effectively eliminated by increasing the ozone exposition time, which occurs in hospitals [28].

Ozone concentration, volumetric air flow rate and exposure time

In series 1-4 and 6, the ozone generator operated at the same capacity (1000 g O₃/min) for 20 minutes. The exception was series 5, which used two ozone generators, each with a capacity of 1000 g O₃/min. Depending on the VFR setting, the average ozone concentrations over 20 min of ozone treatment varied in a given series. As the VFR of the air increased, the ozone concentration decreased markedly despite the constant rate of ozone production. This, in turn, led to a decrease in the effectiveness of disinfection (Table 1; Figs. 2-7). The detected values ranged from 0.23 O₃ ppm, when the VFR value was 0.136 m³/s to 0.572 O₃ ppm, when the VFR was 0.004 m³/s. The highest ozone concentration was found in series 5 (0.96 ppm), although the VFR value was 0.122 m³/s, which was the result of the operation of two ozone generators (Table 1, Figs. 2-7). Despite the constant time of ozone generation (20 minutes) its concentration, as well as the duration of exposure of microorganisms, differed in a given series. In series 1 and 2 with the lowest VFR value (0.004 m³/s), the maximal ozone concentration were reached (0.572 and 0.585 ppm, respectively), and were maintained for another 5 minutes after the ozonation process was completed, and then decreased drastically (Fig. 2-3). Thus, the duration of exposure to high concentrations of ozone was the longest in these series (Table 1, Figs. 2-3). The resulting decrease in the number of mesophils and psychrophiles was the greatest in these series and 30 minutes after the end of ozonation it was 71.0%, 28.0% and 53.0%, 50.0% respectively (immediately after ozonation it was 69.8%, 10.0%, and

70.2%, 75.3%, respectively) (Table 1, Figs. 2-3). The decrease in disinfection efficacy observed in the 2nd series 30 minutes after the end of ozonation in relation to the background (mesophiles from 70.2 to 53.0% and psychrophiles from 75.3 to 50.0%) could have been caused by the supply of bacteria through the ventilation air stream or from the sink. Piletić et al. (2022) [15] proved that a sink can be a source of bioaerosol. Misawa et al. (2023) [28] proved the effect of the duration of ozonation on the efficiency of bacterial elimination. The study was conducted in a hermetically sealed chamber with a gaseous ozone generator, a gaseous ozone monitor and a thermohygrometric probe. Two strains of *M. avium* and *M. intracellulare* were exposed to 1 ppm ozone concentrations for 60, 120 and 180 minutes, resulting in reductions: 66.0%, 97.0%, 98.2% for *M. avium*, and 85.8%, 96.3%, and 99.3% for *M. intracellulare*, respectively. In our real conditions studies in series 1 and 2, the ozone concentration was about twice lower, the exposure time was 3 to 9 times lower than in Misawa's (2023) [28] studies (Table 1, Figs. 2-3). Despite of these we obtained results comparable to or slightly lower than the Misawa (2023) [28] results achieved after 60 minutes of exposure for an ozone concentration of 1 ppm. It should be noted, however, that we determined changes in the total number of bacteria (including mesophiles and psychrophiles) and fungi, not individual species. Ozone concentrations (0.96 ppm) were similar to those used by Misawa (2023) [28] in series 5 (Table 1, Fig. 6), but the elimination of bacteria after 20 minutes of ozonation was much lower (psychrophiles 9.7% and mesophiles 43.5%, while 30 minutes after ozone formation obtained values were 41.0% and 43.0%, respectively). Despite the almost doubling of the average ozone concentration in series 5 compared to series 1 and 2 (0.96 ppm, 0.572 ppm and 0.585 ppm, respectively), the reduction in the number of both bacterial groups was smaller, which is likely due to the significantly higher VFR of the air in series 5 (0.122 m³/s) and the resulting inflow of airborne microorganisms with fresh outside air. Piletić et al. (2022) [15] investigated changes in the total number of bacteria in hospital air after the ozonation process (ozone concentration of 15.71 mg/m³ for 1 hour). The tests were carried out in the recovery room (cubic capacity of 32.4 m³), where all ventilation openings were sealed before ozonation and the central ventilation system was turned off. With a smaller room

volume, higher ozone and time of exposure, and lack of ventilation, the bacterial removal results were similar to those obtained by us in the 1st and 2nd series with the lowest VFR value (0.004 m³/s). After the ozonation process, the disinfection efficiency achieved by Piletić (2022) [15] was 33% for the point next to the sink, 58% on the desk and 61% on the windowsill what pointed out the sink as a potential source of bioaerosol. Epelle et al. (2022) [29] investigated the effectiveness of ozonation in a closed disinfection chamber using bacteria strains *E. coli* and *S. aureus* and fungi *C. albicans* and *A. fumigatus*. Microorganisms were exposed to ozone at a concentration of 2 ppm for 4, 8, 12 and 16 minutes. The reductions of concentration of *E. coli* were 87%, 94%, 97%, 93%, *S. aureus* 99.5%, 99.7%, 99.5%, 99.9%, *C. albicans* 28%, 22%, 22%, 53%, and *A. fumigatus* 10%, 2%, 7%, 35%, respectively. Increasing ozone concentrations generally resulted in better microbial reduction. An ozone concentration of 10 ppm provided a better reduction of [29] *E. coli* (100% after 16 minutes) compared to values obtained at a concentration of 2 ppm (93% after 16 minutes). The same trend was observed in yeast, where an ozone concentration of 10 ppm for 16 minutes resulted in a 90% reduction in *C. albicans* number, while at 2 ppm only 53%. Complete removal of both groups of microorganisms was achieved when the ozone concentration was 20 ppm and the exposure time was 4 minutes. The exposure time in the Epelle et al. (2022) [29] study was shorter, but the ozone concentration was higher and the disinfection results obtained were much better than those obtained by us. This confirms that a higher ozone concentration is recommended for a shorter ozone time. In our studies in series 1-5, after 20 minutes of ozonation, we obtained a low efficiency of fungal elimination (0.0-33.5%) (Table 1, Figs. 2-6). In most cases, this efficiency increased 30 minutes after the end of the process (from 13% to 100.0%). In a study by Epelle et al. (2022) [29], despite the higher concentration of ozone (2 ppm), the elimination of fungi was also not sufficient. The highest disinfection efficiency was obtained after 16 minutes of exposure and decrease was 53% in the case of *C. albicans* yeast strain and only 35% for the *A. fumigatus*. These results show that removing fungi from the air requires longer exposure to ozone than bacteria.

Compared to series 1-2 and series 3 (Table 1; Fig. 4), the approximately tenfold higher VFR value (0.036 m³/s) resulted in

a decrease in the average ozone concentration to 0.293 ppm, which resulted in a lower disinfection effect in the case of mesophilic and psychrophilic bacteria. The same trends were observed in series 4 and 6 (Table 1; Fig.5 and 7). However, it was noted that a VFR value of 0.036 m³/s in series 3 still allowed to maintain a higher ozone concentration after finishing the ozone generation for additional 2 minutes) and the exposure time of microorganisms was extended, resulting in greater disinfection than in series 4 and 6. Higher VFR values resulted in an immediate decrease in ozone concentrations after ozone generation was completed.

Surprising results of disinfection efficiency were obtained in the case of fungi. For the tested real conditions in which the research was conducted, it is difficult to find any trend regarding the dependence of fungal elimination on ozone concentration and VFR values. One would expect that in the series with the highest ozone concentrations, this efficiency would also be the highest. This has not been confirmed for either the 1 or 2 series. In the case of 5 series (simultaneous use of 2 ozone generators), the average ozone concentration was the highest (0.96 ppm), but due to the high VFR value (0.122 m³/s), this concentration increased linearly to reach the maximum concentration point (1.4 ppm) after 20 minutes of ozonation, and after the generators were stopped, it dropped drastically (after 5 min to 0.4 ppm). In this series, immediately after ozonation, the reduction in the number of fungi was 33.5%, and after 30 minutes from the end of the ozonation process, it was already a reduction of 100%. For comparison, in the case of the 6th series, where the average ozone concentration was more than 4 times lower (0.23 ppm) than in the 5th series, immediately after ozonation the reduction in the number of fungi was 88.0%, and after 30 minutes from the end of ozonation it was

Figure 3. Changes in the concentrations of ozone and airborne microorganisms occur before, immediately and 30 minutes after the ozone treatment is completed. The VFR of air is 0.004 m³/s (series 2)
Rysunek 3. Zmiany stężenia ozonu i liczebności mikroorganizmów w powietrzu przed, bezpośrednio po i 30 minut po zakończeniu ozonowania. Strumień objętości powietrza równy 0,004 m³/s (Seria 2)

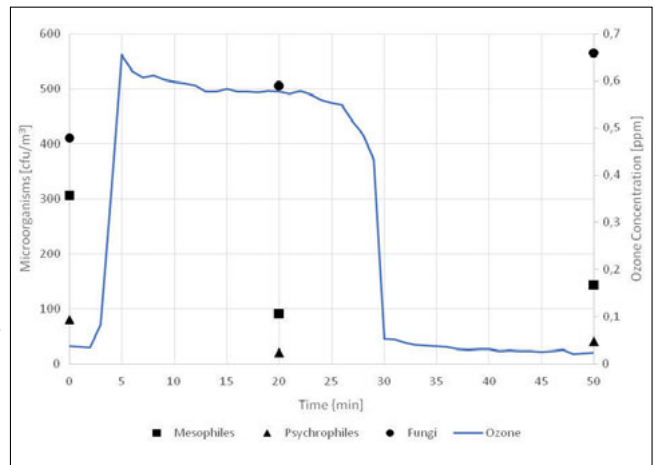


Figure 4. Changes in the concentrations of ozone and airborne microorganisms occur before, immediately and 30 minutes after the ozone treatment is completed. The VFR of air is 0.036 m³/s (series 3)
Rysunek 4. Zmiany stężenia ozonu i liczebności mikroorganizmów w powietrzu przed, bezpośrednio po i 30 minut po zakończeniu ozonowania. Strumień objętości powietrza równy 0,036 m³/s (Seria 3)

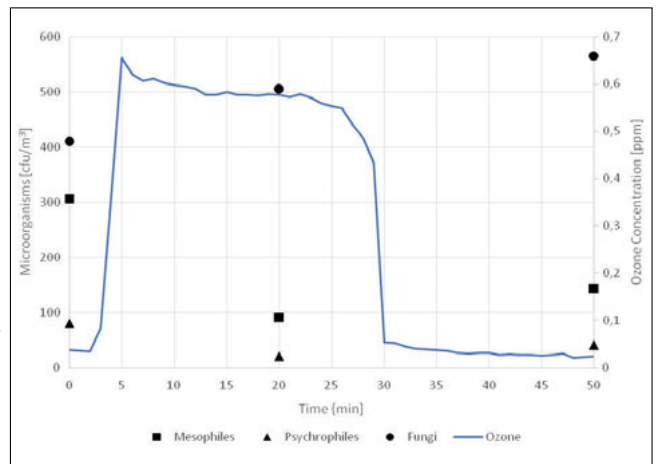


Figure 5. Changes in the concentrations of ozone and airborne microorganisms occur before, immediately and 30 minutes after the ozone treatment is completed. The VFR of air is 0.109 m³/s (series 4)
Rysunek 5. Zmiany stężenia ozonu i liczebności mikroorganizmów w powietrzu przed, bezpośrednio po i 30 minut po zakończeniu ozonowania. Strumień objętości powietrza równy 0,109 m³/s (Seria 4)

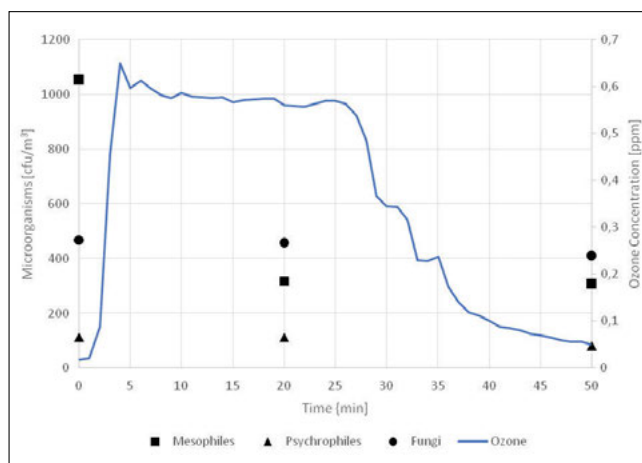
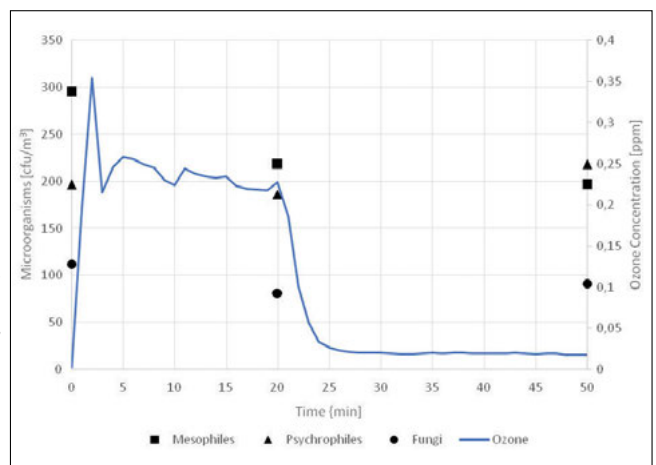


Figure 2. Changes in the concentrations of ozone and airborne microorganisms occur before, immediately and 30 minutes after the ozone treatment is completed. The VFR of air is 0.004 m³/s (series 1)
Rysunek 2. Zmiany stężenia ozonu i liczebności mikroorganizmów w powietrzu przed, bezpośrednio po i 30 minut po zakończeniu ozonowania. Strumień objętości powietrza równy 0,004 m³/s

only 59.0%. Therefore, it is difficult to identify any tendencies and mechanisms here.

Relative humidity and temperature

The survival of microorganisms after ozonation depends, among others on environmental conditions, including temperature and RH [2]. The presented studies were carried out in real conditions, related to the variability of these factors, which made it difficult to unambiguously estimate their impact on the effectiveness of disinfection. It is reported that the increase in temperature increases the rate of ozone decomposition and decrease the effectiveness of

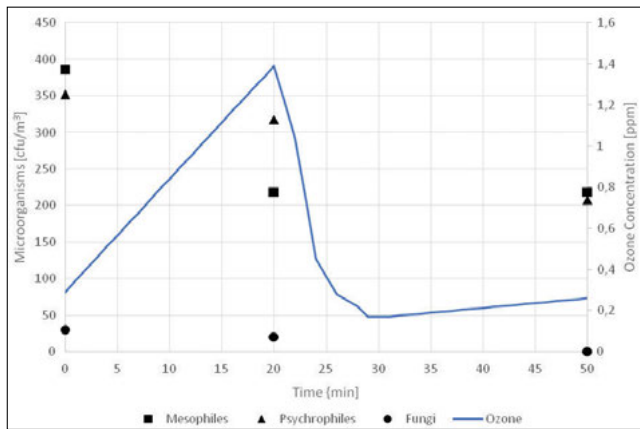


Figure 6. Changes in concentrations of ozone and airborne microorganisms before, immediately and 30 minutes after the end of ozone treatment. The VFR of air is 0.122 m³/s (series 5). During this series, two ozone generators were used simultaneously to produce ozone with a capacity of about 2000 g/min
Rysunek 6. Zmiany stężenia ozonu i liczebności mikroorganizmów w powietrzu przed, bezpośrednio po i 30 minut po zakończeniu ozonowania. Strumień objętości powietrza równy 0,122 m³/s (Seria 5). Podczas tej serii, dwa generatory ozonu używane były jednocześnie do produkcji ozonu w ilości około 2000 g/min

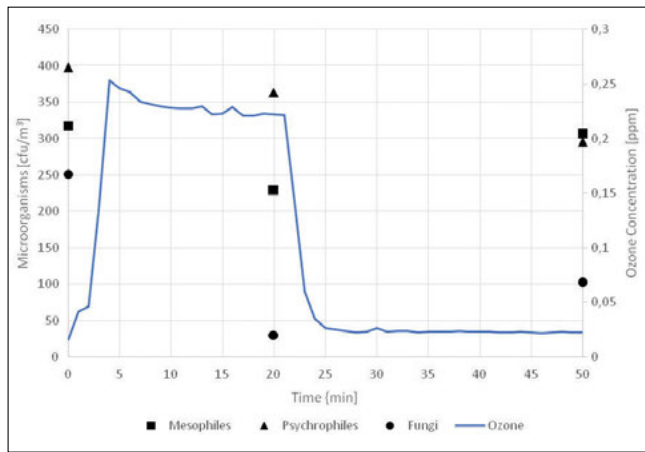


Figure 7. Changes in the concentrations of ozone and airborne microorganisms occur before, immediately and 30 minutes after the ozone treatment is completed. The VFR of air is 0.136 m³/s (series 6)
Rysunek 7. Zmiany stężenia ozonu i liczebności mikroorganizmów w powietrzu przed, bezpośrednio po i 30 minut po zakończeniu ozonowania. Strumień objętości powietrza równy 0,136 m³/s (Seria 6)

Table 1. Percentage reduction of airborne microorganisms after the ozonation process under real conditions (A – immediately after the ozonation process; B – 30 min after the ozonation process is completed)

Tabela 1. Procentowa redukcja mikroorganizmów unoszących się w powietrzu po procesie ozonowania w warunkach rzeczywistych (A – bezpośrednio po procesie ozonowania; B – 30 min po zakończeniu procesu ozonowania)

Series	Volumetric ventilation air flow rate s[m ³ /s]	Average ozone concentration over 20 min of ozonation [ppm]	RH Input/Output [%]	Inlet/Output Temperature [°C]	Reduction level [%]:			
					Bacteria mesophilic	Psychrophilic bacteria	Mold fungi	
1.	0,004 (±0,003)	0,572 (±0,031)	43.2/59.0	21.1/15.5	A	69.8%	10.0%	2.5%
					B	71.0%	28.0%	13.0%
2.	0,004 (±0,003)	0,585 (±0,007)	44.0/59.4	20.5/15.0	A	70.2%	75.3%	0%
					B	53.0%	50.0%	0%
3.	0,036 (±0,018)	0,293 (±0,062)	55.5/69.3	20.4/13.3	A	31.7%	32.7%	27.8%
					B	26.0%	-0%	41.0%
4.	0,109 (±0,027)	0,241 (±0,052)	56.9/68.8	18.9/7.0	A	26.1%	5.5%	27.7%
					B	0%	0%	18.0%
5.	0,122 (±0,031)	0,96 (±0,041)	58.3/72.1	17.2/-3.0	A	43.5%	9.7%	33.5%
					B	43.0%	41.0%	100.0%
6.	0,136 (±0,034)	0,23 (±0,028)	60.2/78.0	18.0/2.2	A	27.9%	8.7%	88.0%
					B	4.0%	26.0%	59.0%

disinfection [2]. In the case of a high RH value, the ozonation process leads to the formation of free radicals, which increase the effectiveness of disinfection. In the study of Neves et al., 2023 [30], the interior of a city bus was exposed to ozone. With the same ozone concentration and exposure time, there was a more than 99.9% reduction in the number of microorganisms when the relative humidity was >90%, and a reduction in microorganisms of <90% for a lower relative humidity. Studies by Mazur-Panasiuk et al. (2021) [31] have shown that ozonation at low relative humidity (21.8%) can be considered ineffective even after 120 minutes and an ozone concentration of 7.3 ppm. In dry conditions, exposure of microorganisms to ozone does not lead to the desired disinfection

effect. Ozone is most efficient in the presence of water or in high humidity conditions. Mazur-Panasiuk et al. (2021) [31] found that the results of ozonation at a relative humidity level of 50-70% were highly effective (reduction of microorganisms by 99.99%) due to the more intensive production of highly reactive hydroxyl radicals. In dry air, the disinfection procedure required a much longer exposure time. Such an effect was not observed in our studies if only the effect of relative humidity on disinfection efficiency was considered. An RH value below 50% was recorded in series 1 and 2, where the highest efficiency of elimination of both groups of bacteria was obtained, while in series 3-6 the relative humidity values were above 50% (55.5% to 60.2%), but the reduction of the

number of bacteria was less effective. On the other hand, the dependence of disinfection effectiveness on RH was observed in the case of fungi. In series 1-2 with RH values below 50% (43.2% and 44.0%, respectively), the fungal reduction ranged from 0.0% to 13.0%, while in series 3-6 with RH values above 50% (from 55.5% to 60.2%), the fungal reduction ranged from 18.0% to 100%. No effect of temperature was observed.

Low temperatures lead to an increase in the bactericidal properties of ozone in high humidity conditions, as its molecular stability increases, while high temperatures lead to an increase in ozone reactivity. It was observed that in the range of temperatures and relative humidity values for which the study was conducted, the VFR value of

the air had a greater impact on the concentration of ozone in the air than the above-mentioned factors [4], [7].

Conclusions

The effectiveness of disinfection in the case of mesophilic and psychrophilic bacteria was dependent on ozone concentration and exposure time. The higher ozone concentration and the longer exposure time found in some series increased the effectiveness of the disinfection. At a constant rate of ozone production, the ozone concentration decreased markedly as the volumetric flow rate (VFR) of the air increased. This, in turn, led to a decrease in the effectiveness of disinfection. Taking into account the influence of relative humidity and temperature, a relatively high temperature (22°C) combined with an RH value of about 50% allowed to obtain the highest disinfection efficiency against mesophilic and psychrophilic bacteria. In the case of fungi, humidity above 50% contributed to an increase in the efficiency of ozonation. Real-time measurements of ozone concentrations during the ozone generation process indicate that ozone concentration are generally relatively constant. The obtained results indicate that conducting air disinfection in real conditions in order to achieve proper effectiveness requires appropriate configuration of parameters such as VFR, ozone concentration, exposure time. The influence of RH and temperature should also be taken into account. In further research, we plan to use hybrid systems to remove the indoor airborne bacteria and fungi that will combine different sterilization methods.

Thanks

The research is financed by the statutory research of the Faculty of Environmental and Energy Engineering of the Silesian University of Technology and the Excellence Initiative – Research University, Project Based Learning (PBL) Silesian University of Technology

REFERENCE:

- E. Grignani et al., "Safe and Effective Use of Ozone as Air and Surface Disinfectant in the Conjunction of Covid-19," *Gases*, vol. 1, no. 1, pp. 19–32, Dec. 2020, doi: 10.3390/gases1010002.
- Z. Makles and M. Galwas-Zakrzewska, "Ozon bezpieczeństwo ludzi i środowiska," *Bezpieczeństwo Pracy: nauka i praktyka*, vol. nr 6, pp. 25–28, 2004.
- K. Rangel et al., "Detrimental effect of ozone on pathogenic bacteria," *Microorganisms*, vol. 10, no. 1, Jan. 2022, doi: 10.3390/microorganisms10010040.
- M. Remondino and L. Valdenassi, "Different uses of ozone: Environmental and corporate sustainability. Literature review and case study," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 10, no. 12, Dec. 2018, doi: 10.3390/su10124783.
- K. Mocny-Pachońska, A. Kuśka-Kielbratowska, D. Skaba, M. Wójcik, K. Janowska-Bogacz, and M. Tanasiewicz, "The efficacy of using ozone in dentistry – review," *Annales Academiae Medicae Silesiensis*, vol. 73, pp. 69–73, Apr. 2019, doi: 10.18794/aams/91133.
- A. Sobczyńska-Rak, B. Żylińska, I. Polkowska, P. Silmanowicz, and T. Szponder, "Use of ozone in medicine and veterinary practice," *Med Weter*, vol. 74, no. 1, pp. 5974–2018, Jul. 2018, doi: 10.21521/mw.5974.
- J. Stadnik et al., "Substancje bioaktywne w surowcach i produktach spożywczych: systemy produkcji i pakowania żywności zapewniające ich zachowanie w łańcuchu żywnościowym," 2022, doi: 10.24326/mon.2022.5 doi.
- M. Sharma and J. B. Hudson, "Ozone gas is an effective and practical antibacterial agent," *Am J Infect Control*, vol. 36, no. 8, pp. 559–563, Oct. 2008, doi: 10.1016/j.ajic.2007.10.021.
- E. I. Epelle, M. Yaseen, A. Macfarlane, M. Cusack, A. Burns, and L. Rolland, "Automation of Large-Scale Gaseous Ozonation: A Case Study of Textile and PPE Decontamination," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 3, Feb. 2023, doi: 10.3390/su15032216.
- J. H. Batagoda, S. D. A. Hewage, and J. N. Meegoda, "Nano-ozone bubbles for drinking water treatment," *Journal of Environmental Engineering and Science*, vol. 14, no. 2, pp. 57–66, Dec. 2018, doi: 10.1680/jenes.18.00015.
- A. Khurana, *Ozone Treatment for Prevention of Microbial Growth in Air Conditioning Systems*. University of Florida, 2003.
- "AQI Breakpoints," EPA. Accessed: Jul. 31, 2023. [Online]. Available: https://aq5.epa.gov/aq5web/documents/codetables/aqi_breakpoints.html
- R. Botondi, M. Barone, and C. Grasso, "A review into the effectiveness of ozone technology for improving the safety and preserving the quality of fresh-cut fruits and vegetables," *Foods*, vol. 10, no. 4. MDPI AG, Apr. 01, 2021, doi: 10.3390/foods10040748.
- C. Westover et al., "Ozone Disinfection for Elimination of Bacteria and Degradation of SARS-CoV2 RNA for Medical Environments," *Genes (Basel)*, vol. 14, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.3390/genes14010085.
- K. Piletić et al., "Ozone disinfection efficiency against airborne microorganisms in hospital environment: a case study," *Arh Hig Rada Toksikol*, vol. 73, no. 4, pp. 270–276, Dec. 2022, doi: 10.2478/aiht-2022-73-3651.
- G. Petry, L. G. Rossato, J. Nespolo, L. C. Kreutz, and C. D. Bertol, "In Vitro Inactivation of Herpes Virus by Ozone," *Ozone Sci Eng*, vol. 36, no. 3, pp. 249–252, 2014, doi: 10.1080/01919512.2013.862165.
- B. Fontes et al., "Effect of low-dose gaseous ozone on pathogenic bacteria," *BMC Infect Dis*, vol. 12, Dec. 2012, doi: 10.1186/1471-2334-12-358.
- L. H. Tu et al., "Study of ozone disinfection in the hospital environment," *Vietnam Journal of Chemistry*, vol. 58, no. 4, pp. 565–568, Aug. 2020, doi: 10.1002/vjch.202000042.
- G. Moore, C. Griffith, and A. Peters, "Bactericidal properties of ozone and its potential application as a terminal disinfectant," *J Food Prot*, vol. 63, no. 8, pp. 1100–1106, 2000, doi: 10.4315/0362-028X-63.8.1100.
- J. B. Hudson, M. Sharma, and S. Vimalanathan, "Development of a practical method for using ozone gas as a virus decontaminating agent," *Ozone Sci Eng*, vol. 31, no. 3, pp. 216–223, May 2009, doi: 10.1080/01919510902747969.
- B. Kołwzan, W. Adamiak, K. Grabas, and A. Pawełczyk, *Podstawy mikrobiologii w ochronie środowiska*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2005.
- H. Niculita-Hirzel, S. Yang, C. H. Jörin, V. Perret, D. Licina, and J. G. Pernot, "Fungal contaminants in energy efficient dwellings: Impact of ventilation type and level of urbanization," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 17, no. 14, pp. 1–15, Jul. 2020, doi: 10.3390/ijerph17144936.
- M. Zak and E. Melaniuk-Wolny, "Jakość powietrza w obiektach basenowych w świetle występowania lotnych DBP Air quality in swimming pool facilities in consideration of the occurrence of volatile DBPs," *Instal*, vol. 1/2023, 2023, doi: 10.36119/15.2023.1.4.
- A. Trusz, "Redukcja zanieczyszczenia mikrobiologicznego w pomieszczeniach z zastosowaniem lampy przepływowej z promieniowaniem UV-C Reduction of microbial contamination in rooms with the use of a flow lamp with UV-C radiation," *Instal*, vol. 12/2021, 2021, doi: DOI 10.36119/15.2021.12.5.
- M. Szczotko, I. Orych, Ł. Mąka, and J. Solecka, "Ocena skuteczności różnych typów urządzeń przeznaczonych do oczyszczania powietrza w zakresie redukcji bakterii i grzybów w powietrzu wewnętrznym w warunkach rzeczywistych Evaluation of the efficiency of different types of air purification devices in scope of reducing the total number of bacteria and fungi in indoor air in real conditions," *Instal*, vol. 1/2023, 2023, doi: DOI 10.36119/15.2023.1.3.
- E. I. Epelle et al., "Ozone application in different industries: A review of recent developments," *Chemical Engineering Journal*, vol. 454. Elsevier B.V., Feb. 15, 2023. doi: 10.1016/j.cej.2022.140188.
- "OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 December 2008 on classification, labelling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing Directives 67/548/EEC and 1999/45/EC, and amending Regulation (EC) No 1907/2006 (Text with EEA relevance)," 2009.
- K. Misawa, T. Nishimura, S. Kashimura, and N. Hasegawa, "Inactivation of nontuberculous mycobacteria by gaseous ozone treatment," *Journal of Infection and Chemotherapy*, vol. 29, no. 6, pp. 628–630, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.jiac.2023.03.004.
- E. I. Epelle et al., "Bacterial and fungal disinfection via ozonation in air," *J Microbial Methods*, vol. 194, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.jmimet.2022.106431.
- E. S. Neves et al., "Field trial assessing the antimicrobial decontamination efficacy of gaseous ozone in a public bus setting," *Science of the Total Environment*, vol. 876, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.162704.
- N. Mazur-Panasiek, P. Botwina, A. Kutaj, D. Woszczyzna, and K. Pyrc, "Ozone treatment is insufficient to inactivate SARS-CoV-2 surrogate under field conditions," *Antioxidants*, vol. 10, no. 9, Sep. 2021, doi: 10.3390/antiox10091480.

Dobór optymalnej objętości zbiornika retencyjnego przy użyciu cyfrowego kalkulatora wykorzystania wód opadowych in situ

The optimal volume of a retention tank estimation using rainwater harvesting digital calculator

PAULINA NAPIERAJ, EWA BURSZTA-ADAMIAK, PIOTR CZARNOCKI, PAWEŁ LICZNAR

DOI 10.36119/15.2024.4.4

Wzrastająca liczba inwestycji w zakresie retencjonowania i wykorzystywania wód opadowych in situ, będąca odpowiedzią na postępujące zmiany klimatu oraz ekstremalne zjawiska pogodowe, w tym przede wszystkim suszę i nawalne opady deszczu, a także znaczącą podaż bezzwrotnych środków finansowych z funduszy zarówno krajowych jak i zagranicznych na tego typu działania wiąże się z potrzebą znajomości metod i narzędzi do wiarygodnego projektowania i doboru optymalnej objętości zbiorników retencyjnych (magazynujących).

W Polsce dotychczas brak jest ogólnie przyjętych i uznanych norm i wytycznych dotyczących zagospodarowania wód opadowych in situ. Szacowanie objętości zbiorników metodami uproszczonymi prowadzi najczęściej do dużych rozbieżności w otrzymywanych wynikach. W artykule przedstawiono dobór optymalnej objętości zbiorników retencyjnych z wykorzystaniem nowo powstałego cyfrowego narzędzia jakim jest „Kalkulator wykorzystania wód opadowych in situ” na platformie WaterFolder, uwzględniający w obliczeniach zarówno uwarunkowania lokalizacyjne jak i warunki opadowe dla danego regionu. Obliczenia demonstracyjne przeprowadzono dla 18 studiów przypadku (obejmujących trzy najczęściej praktykowane warianty wykorzystania wody opadowej, trzy lokalizacje oraz trzy wielkości powierzchni spływu). Wyniki badań wykazały, że na dobór optymalnej objętości zbiornika wpływa nie tylko wielkość powierzchni spływu i zapotrzebowania na wodę na przyjęte cele gospodarcze, ale także w znacznym stopniu lokalizacja, tzn. lokalne warunki opadowe w rejonie planowanej inwestycji. Korzystanie z tego typu narzędzi cyfrowych może usprawnić proces projektowania i ułatwić inwestorom podejmowanie decyzji w wyborze optymalnej objętości zbiornika magazynującego wody opadowe w instalacjach do ich wykorzystania in situ.

Słowa kluczowe: zbiornik retencyjny, wykorzystanie wód opadowych, retencja, kalkulator, optymalna objętość zbiornika

The increasing number of investments in the retention and use of rainwater in situ, in response to the ongoing climate change and extreme weather events, including primarily drought and heavy rainfall, as well as the significant supply of non-refundable funding from both domestic and foreign funds for such activities, is associated with the need for knowledge of methods and tools for reliable design and selection of the optimal volume of retention tanks.

To date, there is a lack of standards and guidelines for in situ rainwater management in Poland. Using simplified methods to estimate tank capacity often results in significant discrepancies. This paper presents the selection of optimal retention tank volumes using a newly developed digital tool, the rainwater harvesting calculator on the WaterFolder platform, which takes into account both site conditions and precipitation conditions for a given region in the calculations. Demonstration calculations were carried out for 18 case studies (covering the three most common rainwater harvesting options, three locations and three runoff area sizes). The results showed that the selection of the optimal tank capacity is influenced not only by the size of the runoff area and the water demand for the chosen economic purposes, but also to a significant extent by the location, i.e., the local rainfall conditions in the area of the planned project. The use of such digital tools can streamline the design process and make it easier for developers to decide on the optimal capacity of a rainwater retention tank for on-site use.

Keywords: retention tank, rainwater harvesting, retention, calculator, optimum tank capacity

mgr inż. Paulina Napieraj, <https://orcid.org/0009-0001-7340-4757> – Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Politechnika Bydgoska, Miejskie Wodociągi i Kanalizacja w Bydgoszczy sp. z o.o.

dr hab. inż. Ewa Burszta-Adamiak, prof. UPWr, <https://orcid.org/0000-0003-3755-2047> – Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

mgr Piotr Czarnocki – Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Departament Funduszy Europejskich, Warszawa

prof. dr hab. inż. Paweł Licznar, <https://orcid.org/0000-0002-2559-5296> – Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska, Warszawa. Adres do korespondencji / Corresponding Author: ewa.burszta-adamiak@upwr.edu.pl

Wstęp

Dynamiczna urbanizacja obszarów miejskich prowadząca do zwiększenia ilości i szybkości odpływu oraz konsekwencje zmian klimatu przyczyniają się do narastania wyzwań związanych z gospodarowaniem wodami opadowymi [20]. Z tych powodów oraz ze względu na dostępność w Polsce znaczących bezzwrotnych środków na dofinansowanie przedsięwzięć w obszarze zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi zarówno z funduszy zagranicznych jak i krajowych, coraz częściej podejmowane są działania, mające na celu zatrzymanie na miejscu odpływu wód opadowych i roztopowych z powierzchni utwardzonych. Warto wskazać na fakt, że w wielu gminach w Polsce wprowadza się obowiązek lub zalecenia zatrzymywania wody deszczowej w granicach działki (nieruchomości, inwestycji), a niedawno pojawiły się propozycje zmian legislacyjnych, wprowadzające opłaty za brak retencjonowania wód opadowych na działkach o powierzchni uszczelnienia przekraczających wskazany próg (projekt ustawy z 12 sierpnia 2020 r. o inwestycjach w zakresie przeciwdziałania skutkom suszy (UD101)) – nie jest wykluczone, że prace dotyczące stosownych rozwiązań legislacyjnych w tym zakresie zostaną wznowione. Obowiązek zatrzymania wody opadowej jest na przykład wprowadzany przez gminy w prawie lokalnym, w tym poprzez wymagania konieczne do spełnienia warunków technicznych na przyłączenie do sieci odwadniającej dla planowanej inwestycji lub dla projektu gminnego systemu odwadniającego lub też na budowę urządzeń wodnych. Ponadto, niektóre gminy w Polsce wprowadziły opłaty za odprowadzenie wód opadowych do systemu kanalizacji deszczowej, co ma stymulować działania mieszkańców lub też innych adresatów tych opłat do zatrzymania i retencji wód opadowych na terenie posesji. Działania te wpisują się w szersze zmiany w ustawie Prawo wodne uchwalone w dniu 20 lipca 2017 r., które wyłączyły wody opadowe z zakresu definicji ścieków, nadając im tym samym status cennego zasobu, co było tylko potwierdzeniem prawnym oczywistego faktu.

Na przedsięwzięcia dotyczące retencji wód opadowych alokowane zostały w Polsce znaczące środki finansowe, pochodzące zarówno z funduszy Unii Europejskiej (między innymi w ramach Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko 2014-2020 oraz Programu Fundusze

Europejskie na Infrastrukturę, Klimat, Środowisko 2021-2027 i Programu Fundusze Europejskie dla Polski Wschodniej 2021-2027), jak i z Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego oraz Norweskiego Mechanizmu Finansowego, a także z programów krajowych. W kontekście środków krajowych na uwagę zasługuje Program Priorytetowy Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej „Moja Woda”, który doczekał się już trzeciej edycji. Celem tego Programu jest ochrona zasobów wody poprzez zwiększenie retencji na terenie posesji przy budynkach jednorodzinnych oraz wykorzystywanie zgromadzonej wody opadowej i roztopowej, w tym dzięki rozwojowi zielono-niebieskiej infrastruktury. Rząd przeznaczył na dwie dotychczasowe edycje programu 236 mln zł., co umożliwiło zgromadzenie i wykorzystanie na terenie prywatnych nieruchomości około 2,5 miliona m³ wód opadowych rocznie. Dzięki trzeciej edycji programu przewiduje się, że ta ilość wzrośnie o dodatkowe 1,2 miliona m³ deszczówki rocznie. Finalnym celem programu jest dofinansowanie 67,6 tysiąca przydomowych systemów retencyjnych, w których zostanie zagospodarowane 3,38 miliona m³ wody opadowej i roztopowej każdego roku.

Retencja wód z wykorzystaniem stosunkowo prostych rozwiązań, takich jak zbiorniki podziemne i naziemne, to jeden z pożądanych kierunków dla zrównoważonego zarządzania wodami opadowymi in situ. Zasadniczym zadaniem podczas projektowania instalacji do wykorzystania wód opadowych jest prawidłowe określenie objętości zbiornika magazynującego. W Polsce dotychczas brak jest powszechnie przyjętych i uznanych oraz precyzyjnych norm i wytycznych dotyczących projektowania i eksploatacji systemów zagospodarowania wód opadowych. Wprowadzie poszczególne gminy wprowadzają wytyczne dla projektantów dotyczące zagospodarowania i zatrzymania wody opadowej na terenie planowanej inwestycji, które mogą stać się wymogiem w przypadku, gdy od ich spełnienia zależy wydanie warunków technicznych lub stosownych pozwoleń na realizację inwestycji – niemniej jednak przedmiotowe wytyczne lub wymogi często bazują na metodach uproszczonych lub dostosowanych do lokalnych warunków, przez co nie mogą zostać wykorzystane w innych lokalizacjach. Częściowym uzupełnieniem tych braków może być korzystanie z doświadczeń z pobliskich Niemiec i opracowanych tam norm z serii DIN. Jednak szacowanie objętości zbiornika magazynujące-

go metodą uproszczoną zgodnie z normą DIN 1989-1 [5], nie uwzględnia rozkładu opadów (zwłaszcza opadów deszczy w miesiącach letnich) oraz wielkości powierzchni przeznaczonej do podlewania, co może prowadzić do mało wiarygodnych wyników szczególnie w przypadku występowania skrajnych rozbieżności pomiędzy powierzchnią dachu i powierzchnią nawadnianą. Z tych względów nadal poszukiwane są metody umożliwiające dobór optymalnej objętości zbiornika, które będą bazowały na aktualnych danych opadowych i wiarygodnych bilansach wodnych, a przy tym będą przystępne w obsłudze dla użytkownika.

Celem artykułu jest przedstawienie funkcjonalności cyfrowego i jednocześnie ogólnodostępnego narzędzia jakim jest „Kalkulator wykorzystania wód opadowych in situ” na platformie WaterFolder dla doboru i optymalizacji objętości zbiornika retencyjnego, z którego wody opadowe mogą być przeznaczone na różne potrzeby. Analizy przeprowadzono na wybranych studiach przypadku dla trzech polskich miast tj. Wrocławia, Bydgoszczy i Gdańska z uwzględnieniem różnych wielkości powierzchni spływu oraz dla najczęściej praktykowanych celów gospodarczych, wykorzystujących wody opadowe.

Systemy do retencjonowania i wykorzystywania wód opadowych w praktyce

Systemy zbierania wody opadowej (ang. *Rainwater Harvesting Systems*) wyposażane w różnej wielkości zbiorniki retencyjne (nazywane też zbiornikami magazynującymi) znajdują swoje zastosowanie w budynkach prywatnych celem wykorzystania zgromadzonej wody do podlewania ogrodu, spłukiwania ustępów czy robienia prania [7]. Retencjonowana w zbiornikach woda opadowa może zastąpić wodę wodociągową również na szerszą skalę w budynkach i obiektach użyteczności publicznej, w których objętość gromadzonej wody opadowej jest znacznie większa, niż w przypadku obiektów mieszkalnych ze względu na większą powierzchnię spływu (najczęściej dachu). Przykładem są zbiorniki retencyjne znajdujące się na stadionach sportowych w Gdańsku, Warszawie oraz Wrocławiu. Woda opadowa w tych obiektach wykorzystywana jest do spłukiwania toalet oraz częściowego podlewania murawy boiska lub terenów zieleni znajdującej się w obrębie stadionu [3]. Innym dobrym przykładem wdrożenia systemów retencjonujących wody opadowe jest

praktyka zastosowana w Hotelu Gołębiowskim w Karpaczu, w którym wody opadowe są wykorzystywane jako uzupełnienie wód w basenach (po uprzednim oczyszczeniu), do celów przeciwpożarowych oraz do nawadniania zieleni wokół hotelu [8]. Wody opadowe znajdują również zastosowanie w takich obiektach jak stacje benzynowe, gdzie można pozyskać je z dużej powierzchni dachu i wykorzystać do spłukiwania ustępów bądź spłukiwania nawierzchni betonowych [15]. Z kolei na obszarach miejskich z powodzeniem zgromadzona w zbiornikach retencyjnych woda opadowa może być wykorzystywana do mycia chodników oraz ulic. Wiele miast wdraża również programy wsparcia finansowego na zakup instalacji do gromadzenia wody opadowej oraz wprowadza projekty zachęcające mieszkańców do zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi.

Projektowanie zbiorników retencyjnych (magazynujących) wody opadowe celem ich wykorzystania in situ

Kluczowym zadaniem podczas projektowania systemów retencyjnych i wykorzystujących wody opadowe in situ jest dobranie optymalnej pojemności zbiornika. Na dobór pojemności zbiornika składa się kilka czynników, takich jak uwarunkowania lokalizacyjne (wielkość powierzchni spływu, wielkość powierzchni zazielenionej, liczba użytkowników, itp.) oraz warunki meteorologiczne, w tym wysokość, intensywność i czas trwania opadów, a także długość trwania okresów bezopadowych. Niedoszacowanie pojemności zbiornika skutkuje budową systemów, które nie są w stanie zapewnić wystarczającego, niezawodnego źródła wody. Większa pojemność zbiorników pozwala magazynować większą ilość wód opadowych oraz zmniejsza prawdopodobieństwo wystąpienia przepełnień i oddawania nadmiaru wód opadowych do sieci kanalizacyjnej [4]. Warto jednak zwrócić uwagę, że przewymiarowanie zbiornika retencyjnego zwiększa koszty inwestycyjne ponoszone przy ograniczonych korzyściach i powoduje potencjalne pogorszenie jakości magazynowanej w zbiorniku wody.

W Polsce, w obliczu braku uznanych i powszechnie przyjętych wytycznych i norm do projektowania zbiorników retencyjnych, istnieje niedostatek wiedzy dotyczącej odpowiedniego projektowania takich systemów, w tym przede wszystkim doboru optymalnej ich pojemności. Opisane

przez Królikowską i Królikowskiego [9] metody przybliżonego szacowania pojemności zbiornika na wodę (np. jako 5% średniego rocznego opadu, 1 m³ zbiornika na 1 osobę, korzystając z instalacji, czy 1 m³ pojemności zbiornika na 25 m² dachu, z którego zbierana jest woda opadowa) nadają się do zastosowania tylko do bardzo małych obiektów (np. budynków jednorodzinnych), a nawet w tak małej skali dają rozbieżne, a nawet sprzeczne wyniki. Jako alternatywę w publikacji [9] podaje się szczegółowy bilans dopływu wody do zbiornika (w oparciu o opady dobowe) i dobowe zapotrzebowanie na wodę. Zaleca się go w przypadku wymiarowania instalacji w dużych obiektach, gdyż bilans taki pozwala na optymalny dobór wielkości zbiornika z uwzględnieniem specyfiki opadów w danym rejonie. Można domniemywać, że szczegółowy bilans dopływu wody do zbiornika jest w zasadzie odpowiednikiem symulacji komputerowych (niem. *Differenziertes Verfahren*) zgodnie z normą DIN 1989-1 [5]. Według normy DIN 1989-1, która w Niemczech, w kraju o dłuższej praktyce w projektowaniu i wdrażaniu zbiorników retencyjnych jest normą obowiązującą, symulacje komputerowe są najlepszym sposobem do wyznaczenia optymalnej pojemności zbiorników do wykorzystania wód opadowych in situ w przypadku dużych instalacji, zwłaszcza o indywidualnej strukturze zużycia wody. Niestety w normie [5] z 2002 roku ani w jej zaktualizowanym wydaniu [6] z 2022 nie jest zamieszczony algorytm przeprowadzania takich obliczeń. Ogólnie zaznacza się, że obliczenia powinny być przeprowadzone na podstawie bilansowania dopływów wód opadowych na podstawie zweryfikowanych sum dobowych opadów oraz rozbiórów wody, a więc oszacowanych lub pomierzonych dobowych rozbiórów wody. Podkreśla się także, że obliczenia bilansowe powinny być prowadzone na podstawie co najmniej 5 – 10 letnich szeregów opadowych, a wiarygodność uzyskiwanych wyników wzrasta wraz z wydłużeniem okresu symulacyjnego.

W Polsce doświadczenia w obszarze symulacji komputerowych systemów do wykorzystania wód są bardzo skromne. Możliwość takich symulacji została zademonstrowana w przypadku instalacji dualnej wykorzystującej wody deszczowe do spłukiwania toalet przez Sucharaba i Iwanek [19]. Niemniej symulacje były możliwe dzięki zastosowaniu programu SWMM 5.1 i opracowaniu w nim modelu instalacji, a same modelowanie przeprowadzono na podstawie pojedynczego roku hydrolo-

gicznego. Szersze obliczenia bilansowe efektywności systemu gospodarczego wykorzystania wód opadowych zostały przeprowadzone przez Słysia [18]. Opierały się one na 10-letnich danych opadowych zarejestrowanych na stacji Rzeszów-Jasionka, a ich celem było określenie parametru efektywności, określającego oszczędność wody pochodzącej z systemu wodociągowego, wynikającej z zastąpienia jej wodą opadową. Efektywność ta była analizowana dla różnych założonych pojemności zbiornika magazynującego i przyjętych poziomów zapotrzebowania dobowego na wodę do spłukiwania toalet. Wyniki tych badań wykazały, że istnieje pewna krytyczna pojemność zbiornika retencyjnego, dla której oszczędność wody osiąga wartość maksymalną, a zwiększenie pojemności zbiornika powyżej tej wartości nie skutkuje wzrostem efektywności systemu, powodując natomiast nieuzasadniony wzrost kosztów inwestycyjnych. Ponadto zostało stwierdzone, że wspomniana pojemność krytyczna zależy przede wszystkim od powierzchni dachu oraz zapotrzebowania na wodę [18]. Ponownie jednak ograniczeniem przytoczonych studiów było skoncentrowanie się na wykorzystaniu wód opadowych tylko do spłukiwania toalet i do pojedynczej lokalizacji. Wśród prac naukowych można znaleźć także i takie, w których autorzy rozwijali różne techniki i modele służące do projektowania, optymalizacji i oceny wydajności zbiorników retencyjnych, w tym m.in., nieparametryczne techniki oparte na macierzy prawdopodobieństwa [2] oraz nieliniowe algorytmy metaheurystyczne [16]. Jednak większość z nich, pomimo umożliwienia otrzymania wiarygodnych wyników, jest zbyt skomplikowana do zastosowania w praktyce w projektowaniu optymalnej pojemności zbiornika retencyjnego, z którego wody opadowe mogłyby być wykorzystywane do zaspokojenia założonych celów.

Metodyka badań

Założenia obliczeniowe „Kalkulatora wykorzystania wód opadowych in situ”

„Kalkulator wykorzystania wód opadowych in situ” został opublikowany w 2023 roku i jest dostępny na platformie cyfrowej WaterFolder (www.waterfolder.com). Dane opadowe niezbędne do przeprowadzenia symulacji z użyciem kalkulatora pochodzą z cyfrowej bazy projektu Polskiego Atlasu Natężeń Deszczów PANDa, tj. z sieci 100 stacji w Polsce z 30 lat obserwacji (najczęściej z wielolecia 1986-2015) [10]. Bilansowanie zasobów

wodnych jest prowadzone tylko w przypadku opadów ciekłych (występujących w okresach miesięcy o dodatnich temperaturach – od kwietnia do października). Takie założenie ma swoje uzasadnienie, gdyż w okresach zimowych część opadów śniegu może zalegać przez dłuższy czas na połaci dachowej i trudno jest określić w sposób wiarygodny jaka część tego opadu dostanie się do zbiornika retencyjnego, a jaka część ulegnie ewapotranspiracji. Ponadto w okresie tym wody pochodzącej z opadów nie wykorzystuje się do podlewania ogrodów lub zieleni. Założenie to jest również spójne z ograniczeniami cyfrowej bazy danych projektu PANDa, która w przypadku wielu lat opierała się na zdigitalizowanych rejestracjach z pluwiografów, a więc rejestracji opadów pochodzących tylko z okresów miesięcy o dodatnich temperaturach.

Dopływ wody do zbiornika w określonym czasie obliczany jest jako iloczyn powierzchni dachu (rzutu poziomego dachu) A oraz opadu efektywnego P_E .

$$V = A \cdot P_E \quad (1)$$

Bilansowanie dopływów i rozborów wód opadowych przyjęto w skali czasowej 1 doby, zgodnie z rekomendacjami normy DIN 1989-1 [5]. W tym przypadku opad efektywny był ustalany dla każdego dnia osobno na podstawie modelu SCS-CN [12], zgodnie z zależnością podaną poniżej:

$$P_{Ei} = \begin{cases} 0 & \text{jeśli } P_i - 0,2 \cdot s \leq 0 \\ \frac{(P_i - 0,2 \cdot S)^2}{P_i + 0,8 \cdot S} & \text{jeśli } P_i - 0,2 \cdot s > 0 \end{cases} \quad (2)$$

gdzie:

P_{Ei} – dobowy opad efektywny dla i -tego okresu, np. dnia [mm];

P_i – suma dobowa opadu dla i -tego dnia [mm];

S – potencjalna retencja [mm].

Metoda SCS-CN została opracowana w USA przez United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service [12]. Jest to prosta i zweryfikowana metoda, opierająca się na pojedynczym parametrze CN, który może teoretycznie zmieniać się w zakresie od 1 do 100. W praktyce metoda ta jest zaimplementowana np. w programie SWMM 5.1 i była wykorzystywana np. w badaniach Suchoraba i Iwanek [19].

Wartość potencjalnej retencji dachu S (w rzeczywistości stanowiącej straty wody opadowej, wynikające np. z parowania, jej przesiąkania) obliczano z równania (3) dla przyjętej uprzednio wartości parametru CN:

$$S = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (3)$$

Zakres definiowania w kalkulatorze potencjalnych sposobów zagospodarowania wód opadowych obejmuje użycie wód opadowych do następujących celów gospodarczych: podlewanie ogrodu, pranie, splukiwanie toalet oraz prac porządkowych w obrębie budynku i jego otoczenia, np. do zmywania schodów, elewacji, itp. Przyjęto, że wszystkie wymienione użycia wody mogą mieć dla danego obiektu charakter fakultatywny, a łączne zapotrzebowanie na wodę jest superpozycją wybranych użyci.

Dobowe zapotrzebowanie na wody opadowe wykorzystywane do ww. celów (poza podlewaniem ogrodu) przyjęto na podstawie liczby użytkowników (np. mieszkańców budynku), przyjmując normy rocznego zapotrzebowania, wynoszące 10, 6 i 1 m³/osobę odpowiednio do splukiwania ustępów, prania i jako woda gospodarcza [13]. Wspomniane normy oznaczają dobowe zapotrzebowanie na wodę do splukiwania toalet na poziomie około 27 dm³/osobę, do prania na poziomie około 16 dm³/osobę i jako wody gospodarczej około 3 dm³/osobę. Dane te są spójne, bądź co najmniej porównywalne z danymi dotyczącymi struktury zużycia wody w gospodarstwach domowych, gdzie stwierdza się, że w przeliczeniu na dzień każdy Polak/Polka zużywa ok. 92 litry wody, a z tego 30%, 15% i 6% pożytkujemy odpowiednio na splukiwanie toalety, pranie i sprzątanie [11]. Zapotrzebowanie na wodę opadową do splukiwania toalet na poziomie około 27 dm³/osobę w ciągu doby jest również bliskie wartości normowej wskazywanej w niemieckiej normie DIN 1989-1 (24 dm³/osobę na dzień).

W przypadku wody do podlewania ogrodu (zieleni) obliczenia są odnoszone do deklarowanej powierzchni nawadniania. Celem urealnienia szacowania ilości wody niezbędnej do podlewania uwzględniono częstotliwość tej operacji (rozumianej jako, co ile dni podlewany jest ogród) i okres jej trwania, czyli wybierane przez użytkownika miesiące. W kalkulatorze dodatkowo zaproponowano przyjęcie trzech poziomów intensywności podlewania, tj. niskiej (2,5 dm³/m²), średniej (5,0 dm³/m²) oraz wysokiej (7,5 dm³/m²). Przyjęte progi obejmują zakres wartości intensywności podlewania zalecanych przez firmy specjalizujące się w wykonywaniu i utrzymywaniu trawników. Ponadto przyjęte progi intensywności podlewania są zbliżone do wysokości dobowego parowania

w Polsce. W miesiącach letnich w Polsce [1], szacowanego na poziomie około 3 mm (3,0 dm³/m²).

Bilansowanie retencji wód opadowych w zbiorniku magazynującym

W ramach obliczeń przeprowadzany jest bilans retencji wód opadowych w zbiorniku. Dla każdego dnia o indeksie (i) obliczana jest Retencja(i) zgodnie z zależnością (4). Poprzez Retencję rozumie się objętość wody w m³ jaka znajduje się w zbiorniku w poszczególnych dniach.

$$\begin{aligned} \text{Retencja}(i) = \\ \text{Retencja}(i-1) + \text{Dopływ}(i) - \text{Zc}(i) \end{aligned} \quad (4)$$

Zgodnie z powyższym równaniem Retencja w konkretnym dniu (i) to Retencja w dniu poprzednim ($i-1$) zwiększona o Dopływ w konkretnym dniu (i) i pomniejszona o Zapotrzebowanie całkowite (Rozbiór całkowity) Zc w tym dniu (i).

Rozwiązanie równania bilansowego odbywa się w oparciu o dwa warunki logiczne, zapisane zależnościami (5 ÷ 10).

$$\text{jeśli } \text{Retencja}(i) > V_{zb}, \text{ to:} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \{ \text{Strata}(i) = \text{Retencja}(i) - V_{zb}; \\ \text{Retencja}(i) = V_{zb}; \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{w przeciwnym przypadku:} \\ \{ \text{Strata}(i) = 0 \}. \end{aligned} \quad (7)$$

Zależności (5 ÷ 7) oznaczają, że jeśli Retencja(i) z równania (4) przekracza objętość zbiornika V_{zb} , to woda przelewa się i pojawia się Strata(i), a po przelaniu się zbiornik jest pełen, więc Retencja(i) równa się V_{zb} . W przeciwnym razie nie dochodzi do strat wód opadowych w dniu (i), czyli Strata(i) równa się zero.

Warunek logiczny nr 2 sprawdzany jest jak poniżej:

$$\text{jeśli } \text{Retencja}(i) < 0, \text{ to:} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \{ \text{Niedobor}(i) = - \text{Retencja}(i); \\ \text{Retencja}(i) = 0 \}; \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{w przeciwnym przypadku:} \\ \{ \text{Niedobor}(i) = 0 \}. \end{aligned} \quad (10)$$

Zależności (8 ÷ 10) wykazują, że jeśli Retencja(i) z równania (8) jest ujemna, to Retencja(i) po zmianie znaku odpowiada Niedoborowi wody deszczowej w dniu (i), a rzeczywista Retencja(i) wynosi zero. W przeciwnym razie nie pojawia się niedobór wód opadowych w dniu (i), czyli Niedobor(i) równa się zero.

Jak łatwo zauważyć sprawdzenie warunku logicznego nr 1 (równania 5 ÷ 7)

wymaga a priori znajomości objętości zbiornika V_{zb} . Aby rozwiązać ten problem w kalkulatorze obliczenia są prowadzone dla szeregu założonych objętości zbiorników V_{zb} . Obliczenia przeprowadza się dla 1000 założonych objętości od objętości $0,001 \cdot V_{max}$ do V_{max} (gdzie V_{max} równa się sumie średniej wartości rozbioru Z_c i trzykrotnej wartości maksymalnego dopływu wód opadowych).

Po ustaleniu w każdej z 1000 iteracji konkretnej objętości zbiornika V_{zb} , obliczenia bilansowe z warunkami logicznymi (równania 5÷10) są przeprowadzane dla wszystkich dni z dostępnych szeregów opadowych. Na końcowym etapie analiz w każdej z 1000 iteracji obliczane są sumy całkowite i średnie roczne wartości *Retencji*, *Strat* i *Niedoborów* (równania 11÷16):

$$Retencja_{tot}(V_{zb}) = \sum_{i=1}^{i=l.dni} Retencja(i), \quad (11)$$

$$Strata_{tot}(V_{zb}) = \sum_{i=1}^{i=l.dni} Strata(i); \quad (12)$$

$$Niedobor_{tot}(V_{zb}) = \sum_{i=1}^{i=l.dni} Niedobor(i); \quad (13)$$

$$\dot{S}_{Retencja}(V_{zb}) = \frac{Retencja_{tot}(V_{zb})}{liczba\ lat}; \quad (14)$$

$$\dot{S}_{Strata}(V_{zb}) = \frac{Strata_{tot}(V_{zb})}{liczba\ lat}; \quad (15)$$

$$\dot{S}_{Niedobor}(V_{zb}) = \frac{Niedobor_{tot}(V_{zb})}{liczba\ lat}. \quad (16)$$

Opracowany kalkulator oparty o przedstawiony powyżej algorytm został po raz pierwszy opracowany i wdrożony pilotażowo dla Bydgoszczy. Stanowił on element uzupełniający realizowanego projektu adaptacji do zmian klimatu miejskiego systemu zagospodarowania wód opadowych i został zamieszczony na stronie internetowej MWiK w Bydgoszczy. Doświadczenia zdobyte na tym etapie pozwoliły na udoskonalenie narzędzia i stworzenie ogólnopolskiej wersji kalkulatora, który został opublikowany na powszechnie dostępnej platformie projektowej www.waterfolder.com. Obliczenia w kalkulatorze noszącym nazwę „Wykorzystanie wód opadowych in situ” odbywają się w trzech prostych krokach:

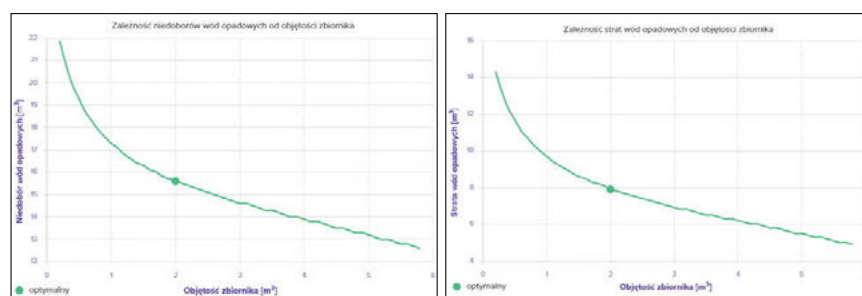
Krok 1: Dane o inwestycji, tj. nazwa oraz geolokalizacja (z możliwością wybrania konkretnego miejsca na mapie);

Krok 2: Wybór parametrów: Cel/e gospodarczy/e wykorzystania wód opadowych, powierzchnia dachu, rodzaj pokrycia dachu i w zależności od wybranego celu pozostałe dane, mające wpływ na wielkość zbiornika, np. powierzchnia

ogrodu, częstotliwość i intensywność podlewania, okres realizacji wybranego celu/ów, liczba osób w gospodarstwie;

Krok 3: Wyniki symulacji: Optymalna objętość zbiornika, średnia wysokość opadu w okresie symulacji, wysokość opadu efektywnego oraz parametry opisujące efektywność dobranego zbiornika, tj. oszczędność wody (retencja), niedobór (objętość wody wodociągowej, którą należy użyć, aby pokryć zapotrzebowanie wody na dany cel) oraz strata wody (rozumiana jako przelew ze zbiornika).

Optymalna objętość zbiornika jest ustalana w kalkulatorze na podstawie wykresów strat/niedoborów wody opadowej w porównaniu z objętością zbiornika V_{zb} , takich jak te przedstawione na rys. 1.



Rys.1
Wykresy zależności: a) niedoborów i b) strat wód opadowych od objętości zbiornika
Fig.1 Graphs of the dependence of: a) shortages and b) rainwater losses on reservoir volume

Charakterystyka studium przypadku

W obliczeniach demonstracyjnych kalkulatora uwzględniono trzy realne (najczęściej praktykowane) warianty wykorzystania wody opadowej (W1 – podlewanie ogrodu, W2 – splukiwanie ustępów oraz W3 – podlewanie ogrodu i splukiwanie ustępów). Analizy przeprowadzono dla trzech różnych lokalizacji (Wrocław (W), Bydgoszcz (B) i Gdańsk (G)). Założone powierzchnie dachu (spływu) w każdej lokalizacji wynoszą 100, 150 i 200 m². Dla porównania wyników pomiędzy lokalizacjami przyjęto stałe dane wejściowe tj.: powierzchnia ogrodu (300 m²), intensywność nawadniania (2,5l/m²), okres nawadniania (kwiecień – wrzesień) i częstotliwość wykonywania podlewania (co 2 dni, w okresach bezdeszczowych). Dane dotyczące nawadniania przyjęto w oparciu o Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 r. w sprawie określenia przeciętnych norm zużycia wody (Dz.U. 2002 nr 8 poz.70). Dla każdego miasta, w przypadku wariantów W2 i W3 założono, że w gospodarstwie domowym mieszkają 4 osoby.

Najważniejszym zadaniem kalkulatora jest wskazanie optymalnej objętości zbiornika. Służy temu analiza wyników uzyskanych w tysiącu iteracji kalkulatora dla szeregu zakładanych a priori objętości zbiornika na wody opadowe. Dane opadowe niezbędne do przeprowadzenia symulacji z użyciem kalkulatora pochodzą z cyfrowej bazy projektu Polskiego Atlasu Natężeń Deszczów PANDa, która uwzględnia czasową i lokalizacyjną zmienność opadów. W związku z czym pomimo potencjalnie tych samych założeń wejściowych – optymalna objętość dobranego zbiornika, jak również parametry świadczące o jego efektywności funkcjonowania (m.in. niedobór i straty wody) różnią się pomiędzy miastami i wynikają

one bezpośrednio z odmiennych danych opadowych, jakie zostały uwzględnione w algorytmie kalkulatora. Można zatem przyjąć, że wykorzystane dane opadowe w modelu symulacyjnym pozwalają na uzyskanie miarodajnych wyników obliczeń na terenie całej Polski.

Wyniki badań

W kalkulatorze wyniki obliczeń optymalnej objętości zbiornika na wody opadowe bazują na bilansie ilości wody z powierzchni dachu i potencjalnego jej zużycia w sezonie symulacji dla danej lokalizacji i celu gospodarczego. Wynikiem obliczeń są również wielkości niedoborów i strat wód opadowych we wskazanym okresie symulacji, które pozwalają projektantowi przeanalizować wpływ objętości zbiornika na efektywność systemu. Zależność pomiędzy objętością zbiornika a niedoborem wody w każdym z trzech wariantów, wskazuje na to, że w sposób zgodny z logiką zwiększając objętość zbiornika, zmniejsza się niedobór wody (ilość wody wodociągowej niezbędnej do napełnienia systemu lub wykorzystania na dany cel). W tym miejscu należy zwrócić uwagę na fakt, że po przekroczeniu pewnej granicznej

objętości zbiornika, krzywa ulega wypraszczaniu, tym samym wskazując na niekorzystny trend spadkowy. Co zatem idzie dalsze zwiększanie objętości zbiornika magazynującego nie przynosi już dalszych realnych korzyści, nie obserwuje się efektu istotnego obniżenia niedoborów wód opadowych, pomimo zwiększonej inwestycji w objętość zbiornika magazynującego, co przedstawia rys. 2.

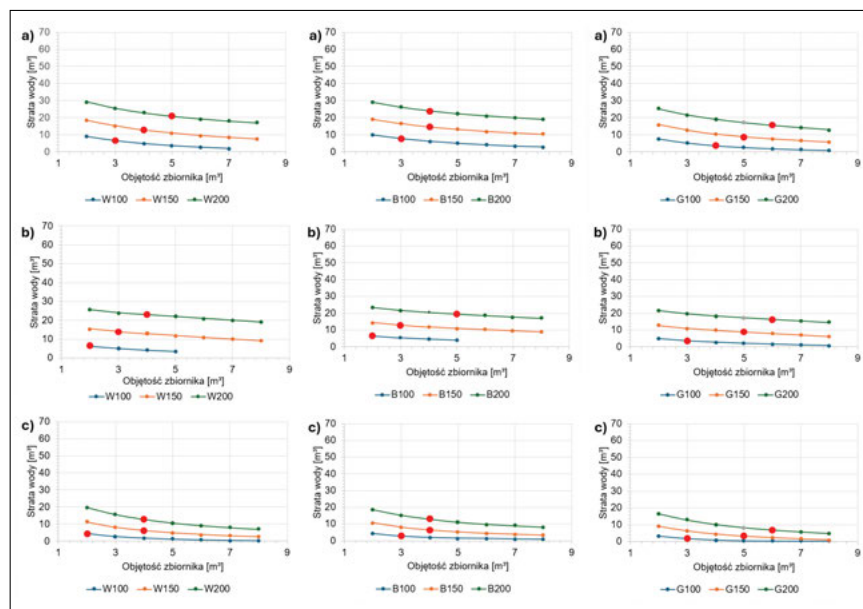
Analiza wariantowa wykazała, że przy wykorzystaniu wód opadowych zarówno do celu podlewania ogrodu (W1) jak i spłukiwania toalet (W2) wielkości średnich niedoborów wody są do siebie zbliżone i wynoszą odpowiednio około 20 m³ i 19 m³, natomiast w wariancie mieszanym, którego celem jest wykorzystywanie wód opadowych do celów podlewania ogrodu i spłukiwania toalet (W3), średnia wartość niedoboru wody wyniosła około 54m³ i jest o 270% oraz 284% większa w porównaniu do W1 i W2. Zależność ta jest prawidłowa i wskazuje, że zapotrzebowanie na wodę opadową determinowane jest przez wodochłonność danego celu zagospodarowania wód (W1, W2, W3), przy czym wielkość powierzchni spływu ma bezpośredni wpływ na ilość niedoborów wody w danym wariancie. Im większa powierzchnia dachu, tym więcej wody można zretencjonować, a tym samym zmniejsza się wartość niedoborów wody. W analizowanych przypadkach zapotrzebowanie na wodę opadową w każdym z trzech wariantów przewyższało możliwości pozyskania spływów. Ilość wody wymaganej na zaspoko-

jenie zadeklarowanych celów nie została pokryta ze względu na zbyt małą powierzchnię dachu.

Tożsąmą zależność odnotowano pomiędzy objętością zbiornika a stratą wody. Zmniejszenie objętości o 1 m³ od wskazanej przez kalkulator granicznej wartości optymalnej objętości zbiornika wpływa na znaczne (około 3m³) zwiększenie strat wody, rozumianej jako ich przelew awaryjny do kanalizacji. Natomiast, w sytuacji odwrotnej zwiększenia objętości zbiornika

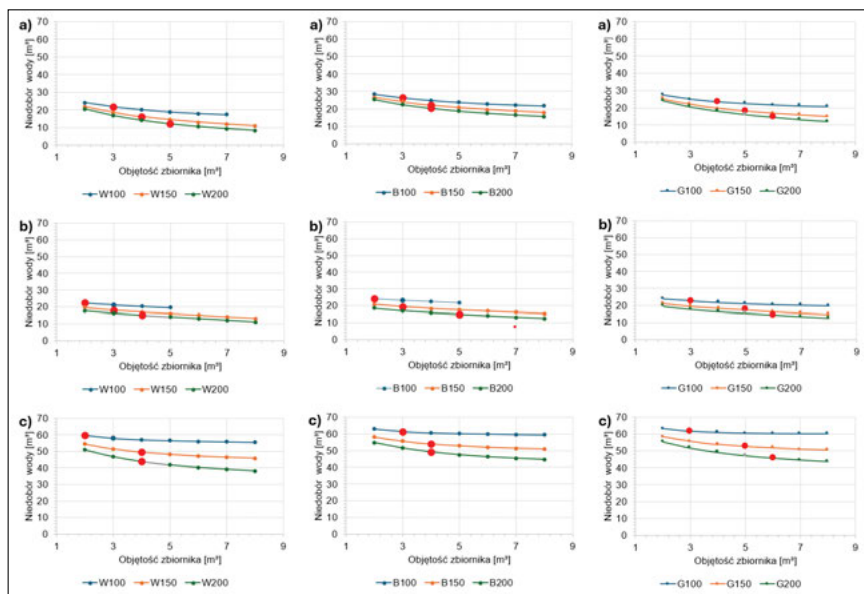
w stosunku do sugerowanej przez kalkulator optymalnej objętości, owszem straty (objętość średnia przelewów) spadają, ale ten spadek jest niski w odniesieniu do przyrostu wielkości zbiornika, a więc także kosztów samego systemu do wykorzystania wód opadowych in situ, co przedstawia rys. 3.

Analiza wariantowa wykazała, że przy wykorzystaniu wód opadowych zarówno do celu podlewania ogrodu (W1) jak i spłukiwania toalet (W2) wystąpiła



Rys. 3 Zależność pomiędzy objętością zbiornika, a stratą wody dla danej lokalizacji. Optymalną objętość zbiornika (dobraną w kalkulatorze) zaznaczono symbolem koła na czerwono dla: a) W1, b) W2, c) W3

Fig. 3 Relationship between tank capacity and water loss for given location. The optimal tank volume (indicated in the calculator) is marked in red with a circle symbol for: a) W1, b) W2, c) W3



Rys. 2 Zależność pomiędzy objętością zbiornika, a niedoborem wody dla danej lokalizacji. Optymalną objętość zbiornika (dobraną w kalkulatorze) zaznaczono symbolem koła na czerwono dla: a) W1, b) W2, c) W3

Fig. 2 Relationship between tank capacity and water shortages for given location. The optimal tank volume (indicated in the calculator) is marked in red with a circle symbol for: a) W1, b) W2, c) W3

taka sama średnia wartość strat wody i wyniosła około 12 m³, natomiast w wariancie mieszanym (W3), średnia wartość strat wody wyniosła około 5m³ i jest o 42% mniejsza w porównaniu do W1 i W2. Zależność ta jest również prawidłowa i wskazuje, że wariant trzeci (W3) wykorzystujący wody opadowe dla dwóch celach jednocześnie, charakteryzujący się ciągłością zużycia (spłukiwanie toalet) oraz dodatkowym sezonowym opróżnieniem zbiornika (podlewanie ogrodu), generuje o 42% mniejsze straty wody w porównaniu do W1 i W2.

Wykresy zależności średnich strat wód opadowych i średnich niedoborów wód opadowych od objętości zbiornika, wskazują każdorazowo na to, że zalecana przez kalkulator in situ optymalna objętość zbiornika jest przyjmowana jako minimalna objętość, po przekroczeniu której nie uzyskuje się proporcjonalnego przyrostu korzyści w postaci równego obniżenia niedoborów wód opadowych, jak również

spadku objętości strat wód opadowych (rys. 2 i rys 3).

W badaniach przeanalizowano również wpływ zwiększenia powierzchni dachu, przy zachowaniu tych samych danych wejściowych, na dobór objętości zbiornika retencyjnego odpowiednio dla wariantu W1, W2 i W3 (rys. 4). Z analiz tych wynika, że wraz ze wzrostem powierzchni dachu dobierana jest, przez kalkulator, większa objętość zbiornika, przeznaczonego na retencjonowanie wód opadowych dla pokrycia zapotrzebowania na dany cel, zdefiniowany w wariantach: W1, W2 i W3. Wyniki tych badań są tożsame z rezultatami analiz przeprowadzonych przez Słysia [17], dotyczących wykorzystania wód deszczowych na terenie miasteczka akademickiego. Warto jednak pokreślić, że jest to tendencja logiczna, gdyż większa powierzchnia uszczelniona generuje większą objętość spływu w czasie opadu deszczu, którą należałoby retencjonować w zbiorniku.

Warto też zwrócić uwagę na fakt, że mimo założenia tych samych danych wejściowych, tj. powierzchnia dachu, cel gospodarczy, powierzchnia zazieleniona itp. dobrana przez kalkulator optymalna objętość zbiornika różniła się w zależności od lokalizacji (miejscowości). „Kalkulator wykorzystania wód opadowych in situ” posługuje się danymi z cyfrowej bazy danych natężeń deszczów miarodajnych (baza o opadach powstała w ramach projektu Polskiego Atlasu Natężeń Deszczów (PANDA)) dla wielolecia i bierze pod uwagę ilości opadów charakterystyczne dla danej miejscowości. Dzięki temu optymalna objętość zbiornika dobierana jest indywidualnie dla wskazanej lokalizacji. Opady deszczu w różnych miastach mogą różnić się ze względu na lokalne uwarunkowania, czego dobrym przykładem jest, w zbiorze analizowanych miast, Gdańsk wyróżniający się na tle Bydgoszczy i Wrocławia większą wysokością opadu atmosferycznego w ciągu roku. Gdańsk położony jest w obszarze

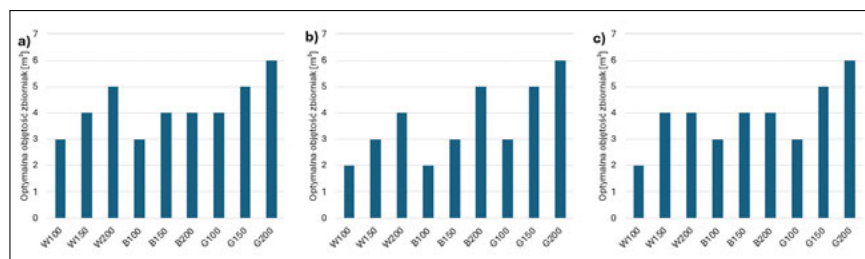
napływu oceanicznych mas powietrza z zachodu i nieznacznego ich napływu ze wschodu, co jest efektem zasadniczo wpływu klimatu morskiego. Bydgoszcz i Wrocław położone w głębi lądu mają bardziej kontynentalny klimat. Ma to bezpośrednio przełożenie na wielkość dobieranego przez kalkulator zbiornika (rys.4).

Analizując powyższe zależności, odnoszące się zarówno do strat i niedoborów wody opadowej, jak również powierzchni dachu w odniesieniu do optymalnej objętości zbiornika retencyjnego stwierdzono, że spływająca z dachu woda opadowa nie jest w stanie w pełni pokryć zapotrzebowania na wodę dla realizacji celów w poszczególnych wariantach W1 – W3. W tej sytuacji niedobór wody powinien być pokryty przez inne źródła zasilania, np. wodą wodociągową. Wynika to z faktu istnienia dysproporcji pomiędzy wielkością zapotrzebowania na wodę a powierzchnią dachu, generującą spływ. Nie mniej ważna jest nierównomierność występowania opadów w ciągu roku, która ma odzwierciedlenie choćby, w wyznaczanych przez kalkulator, stratach wód opadowych, rozumianych jako przelew ze zbiornika. Zdaniem Rashidi Mehrabadi i in. [14] wysoką efektywność zastosowania systemu do magazynowania wód opadowych można osiągnąć tam, gdzie występuje duża ilość opadów równomiernie rozłożonych w ciągu roku. W uwarunkowaniach klimatu umiarkowanego przejściowego, jaki występuje w Polsce należy liczyć się z sytuacją, że nierównomierność występowania opadów będzie coraz częściej obserwowana, co potwierdzają scenariusze zmian klimatu. Niemniej jednak, na podstawie 18 przeanalizowanych przypadków (3 warianty dla trzech miejscowości z 3 różnymi powierzchniami dachów) warto podkreślić, że instalacja zbiornika o optymalnej (dobrej) objętości pozwoliłaby na ograniczenie zużycia wody wodociągowej w ilości od 16 do nawet 35 m³, co daje realne oszczędno-

ści finansowe i korzyści ekonomiczne, w tym środowiskowe.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono obliczenia objętości zbiornika retencyjnego z wykorzystaniem „Kalkulatora wykorzystania wód opadowych in situ”. Pomimo, że kalkulator jest jednym z kolejnych narzędzi cyfrowych, które pojawiły się na rynku i które są pomocne w pracy projektanta, to warto jednak zwrócić uwagę, że jego funkcjonalność jest większa w porównaniu z innymi kalkulatorami do doboru zbiorników retencyjnych. Po pierwsze, pozwala na dobór optymalnej objętości zbiornika retencyjnego. Dodatkowo, po zaproponowaniu przez program optymalnej objętości zbiornika, użytkownik we własnym zakresie, na bazie wygenerowanych wyników i wykresów, może przeanalizować zmienność parametrów określających efektywność techniczną zbiornika (niedobory, straty wód opadowych) w zależności od jego wielkości i na bazie tych analiz może podjąć ostateczną decyzję o doborze wielkości zbiornika, uwzględniając również aspekty finansowe i ekonomiczne, w tym środowiskowe. „Kalkulator wykorzystania wód opadowych in situ” umożliwia geolokalizację inwestycji, tzn. dzięki wskazaniu dowolnej lokalizacji na mapie Google Maps odnajdywany jest najbliższy deszczomierz, a jego szeregi opadowe są przyjmowane za wiążące do dalszych symulacji (w oparciu o cyfrową bazę Polskiego Atlasu Natężeń Deszczów (PANDA), czyli źródło aktualnej wiedzy o opadach na terenie całej Polski. Nie mniej ważny dla użytkownika jest przyjazny interfejs i szybkość dokonywania obliczeń, co sprawia, że wykorzystywanie tego typu narzędzi, w dobie powszechnej cyfryzacji ma szansę stać się codzienną praktyką, a narzędzia te mogą dotrzeć nawet do odbiorców indywidualnych (np. właścicieli domów jednorodzinnych, zarządców spółdzielni mieszkaniowych, zarządzających firmami, wdrażających działania z zakresu adaptacji do zmian klimatu i zrównoważonego zagospodarowania wód opadowych). W tym kontekście należy podkreślić, że przedstawione w artykule przykłady obliczeniowe dotyczą powierzchni spływu charakterystycznej dla wielkości dachów w zabudowie jednorodzinnej, jednakże „Kalkulator wykorzystania wód opadowych in situ” może być użyty do obliczeń optymalnych objętości zbiorników w szerszym zakresie przypadków np. dla innych powierzchni spływu czy celów gospodarczych.



Rys. 4 Optymalna objętość zbiornika dobrana dla danej lokalizacji (W,B,G) i powierzchni spływu (100, 150, 200 m²) oraz dla poszczególnego wariantu: a) W1, b) W2, c) W3
Fig. 4 Optimum storage volume selected for a given location (W,B,G) and runoff area (100, 150, 200 m²) and for each variant: a) W1, b) W2, c) W3

Podziękowanie

Prezentowane wyniki badań zostały uzyskane w ramach realizacji projektu POIR. 01.01.01-00-0119/21 *WaterFolder Connect – zintegrowana platforma projektowania i modelowania systemów odwodnienia*, finansowanego przez NCBiR w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020; Oś priorytetowa: Wsparcie prowadzenia prac B+R przez przedsiębiorstwa; Działanie: Projekty B+R przedsiębiorstw; Poddziałanie: Badania przemysłowe i prace rozwojowe realizowane przez przedsiębiorstwa.

LITERATURA

- [1] Bac M., Rojek M., Meteorologia i klimatologia w inżynierii środowiska. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Wrocław, 2012
- [2] Basinger, M., Montalto, F. A., & Lall, U. (2010). A rainwater harvesting system reliability model based on nonparametric stochastic rainfall generator. *Journal of Hydrology*, 392(3-4), 105-118. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.039>
- [3] Burszta-Adamiak E., Spychalski P. (2021), Water savings and reduction of costs through the use of a dual water supply system in a sports facility, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 66, 102620, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102620>
- [4] Corvaro S. 2019. Water efficiency and economic assessment of domestic Rainwater harvesting systems in buildings with one – to three-floor elevations. *Water Supply*, Vol.19 (8): 2422-2434. <https://doi.org/10.2166/ws.2019.124>
- [5] DIN 1989-1 Regenwassernutzungsanlagen Teil 1: Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung, 2002. Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
- [6] DIN 1989-100 Regenwassernutzungsanlagen – Teil 100: Bestimmungen in Verbindung mit DIN EN 16941-1, 2022. Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
- [7] García-Ávila, F., Guanoquiza-Suárez, M., Guzmán-Galarza, J., Cabello-Torres, R., & Valdiviezo-Gonzales, L. (2023). Rainwater harvesting and storage systems for domestic supply: An overview of research for water scarcity management in rural areas. *Results in Engineering*, 18, 101153. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101153>
- [8] Grzelak A., Fiałkiewicz-Kozieł B. (2017). Perspektywy i potencjalne zagrożenia ponownego wykorzystania szarej wody. *Inżynieria i ochrona środowiska* 20(1), 27-41. DOI: 10.17512/ios.2017.1.3
- [9] Królikowska J., Królikowski A., Wody opadowe. Odprowadzanie, zagospodarowanie, podczyszczanie i wykorzystywanie, wydanie I, Józefosław, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Wyd. II 2019
- [10] Licznar P. i Zaleski J. [Red.], *Metodyka opracowania polskiego atlasu natężeń deszczów (PANDa)*. Warszawa: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Państwowy Instytut Badawczy, 2020
- [11] *Marnujemy nawet 800 litrów wody tygodniowo. Łatwo to naprawić!* <https://rankomat.pl/woda/marnujemy-nawet-800-litrow-wody-tygodniowo.html>
- [12] Part 630 Hydrology National Engineering Handbook. Chapter 10 Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. 210-VI-NEH, July 2004
- [13] Poradnik wykorzystania wody deszczowej. Broszura produktowa Wilo Polska. <https://cms.media.wilo.com/cdnoc/wilo432745/4721922/wilo432745.pdf>
- [14] Rashidi Mehrabadi M.H., Haghghi Fashi F., Saghafian B. 2013. Assessment of residential rainwater harvesting efficiency for meeting non-potable water demands in three climate conditions. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 73: 86-93. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.01.015>
- [15] Sakson-Sysiak G. Zyzik P. Efektywność systemów wykorzystania wody deszczowej w budynkach handlowo-usługowych. *INSTAL* nr 1/2024, DOI 10.36119/15.2024.1.3
- [16] Sample, D. J., Liu, J. (2014). Optimizing rainwater harvesting systems for the dual purposes of water supply and runoff capture. *Journal of Cleaner Production*, 75, 174-194. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.075>
- [17] Stec, A., Słysz, D. (2017). Analiza możliwości wykorzystania wody deszczowej na terenie miasteczka akademickiego w Polsce. *Proceedings of ECOpole*, 11(1), 287-302. DOI: 10.2429/proc.2017.11(1)031
- [18] Słysz, D. *Zrównoważone systemy odwodnienia miast*. Wrocław, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, 2018
- [19] Suchorab P., Iwanek M., *Efektywność wybranej instalacji dualnej wykorzystującej wody deszczowe w warunkach rzeczywistych opadów*, *Instal* 12/2021 s. 41-45, DOI 10.36119/15.2021.12.6
- [20] Xu, H., Zhong, T., Chen, Y., & Zhang, J. (2023). How to simulate future scenarios of urban stormwater management? A novel framework coupling climate change, urbanization, and green stormwater infrastructure development. *Science of The Total Environment*, 874, 162399. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162399>



Komitet Organizacyjny XVI Konferencji Naukowej
**„MIKROZANIECZYSZCZENIA
 W ŚRODOWISKU CZŁOWIEKA”**
 Politechnika Częstochowska,
 Wydział Infrastruktury i Środowiska
 Katedra Sieci i Instalacji Sanitarnych
 ul. Dąbrowskiego 73, 42-200 Częstochowa
 tel.: +48 34 325-01-01, e: marek.makula@pcz.pl
<https://wis.pcz.pl/wydzial/katedry/ksiis/profil>

**XVI Jubileuszowa Konferencja Naukowa
 MIKROZANIECZYSZCZENIA
 W ŚRODOWISKU CZŁOWIEKA
 25-lecie konferencji**

**40-lecie pracy naukowej
 prof. dr hab. inż. Marii Włodarczyk-Makuty**



Mamy przyjemność zaprosić Państwa na XVI Konferencję Naukową
 „Mikrozanieczyszczenia w środowisku człowieka”,
 która odbędzie się w dniach 18-20 września 2024 r. w Częstochowie.

Ważne informacje

1. Zgłaszanie **tematów w języku polskim i angielskim** (karta zgłoszenia) ze wskazaniem formy wystąpienia (referat/poster) oraz tytułu czasopisma - **29.02.2024 r.**

2. Nadesłanie streszczenia w języku polskim (1 str. A-4) - **15.03.2024 r.**
3. Wnieście opłaty konferencyjnej (warunek wstępnej kwalifikacji artykułu przez Komitet Naukowy oraz rezerwacji hotelu) - **30.04.2024 r.**
4. Nadesłanie pełnych tekstów artykułów - **31.07.2024 r.**

Zgłoszenia po terminie nie będą przyjmowane ze względu na obowiązującą procedurę przetargową i warunki związane z zakwaterowaniem.

Pełna opłata konferencyjna wynosi 2950 zł. Opłata ta **obejmuje**: zakwaterowanie (2 doby), pełne wyżywienie (od kolacji w dniu 18 września do obiadu w dniu 20 września), kawę/herbatę, udział w sesjach referatowych i posterowych, koszty organizacyjne, dodatkowe materiały, redakcję, przygotowanie i druk zbioru streszczeń, koszty wykonania pre-review, recenzji artykułów przeznaczonych do druku **a także publikację** jednego artykułu w czasopiśmie *Desalination and Water Treatment*.

Konferencja pod patronatem czasopism:

INSTAL

technologia wody

Korespondencję w formie karty zgłoszenia, streszczenia i pełne teksty prosimy kierować na adres:

Marek Makuta

Wydział Infrastruktury i Środowiska Politechniki Częstochowskiej
 ul. Dąbrowskiego 69, 42-200 CZĘSTOCHOWA
 e-mail: marek.makula@pcz.pl tel. **34 32 50 364**

Efekty wynikające ze zwiększania pojemności zbiornika gromadzącego wodę deszczową na obszarze Polski o średniej wysokości opadów

Effects of increasing the volume of a rainwater storage tank on the territory of Poland with average rainfall

AGNIESZKA LUDWIŃSKA, EDYTA DUDKIEWICZ

DOI 10.36119/15.2024.4.5

W przypadku wykorzystywania wody deszczowej na cele domowo-ogrodowe w budynku jednorodzinnym pojemność zbiornika wody deszczowej, w zależności od wybranej metody obliczeniowej, może wynosić od 5000 l do 15000 l. Trzykrotna różnica wymaga rozważenia korzyści i skutków wynikających z zastosowania zbiorników o poszczególnych pojemnościach. W artykule przeanalizowano pracę jedenastu zbiorników magazynujących wodę deszczową o różnych pojemnościach uwzględniając rozkład opadów oraz sześć profili dynamiki rozbioru wody deszczowej w budynku jednorodzinnym. Kluczowym aspektem było uwzględnienie podlewania trawnika lub jego brak. Innowacyjnym podejściem jest analiza w kroku godzinowym, która wykazała, że każde zwiększenie pojemności zbiornika o 1000 litrów pozwala na wzrost uzysku wody od 1 do 5%. Procentowy udział odzyskanej wody deszczowej w całkowitym zapotrzebowaniu na wodę deszczową na cele domowo-ogrodowe rośnie od 66% do 83%. Zapotrzebowanie wody deszczowej tylko na pranie i spłukiwanie toalet można w pełni pokryć stosując zbiornik o pojemności 6000 l.

Słowa kluczowe: zagospodarowanie wody deszczowej, budynek jednorodzinny, godzinowy rozkład opadów, profil rozbioru wody deszczowej, opady we Wrocławiu

In the case of the use of rainwater for domestic and gardening purposes in a single-family house, the capacity of rainwater, depending on the chosen calculation method, can be range from 5,000 l to 15,000 l. The threefold difference requires consideration of the benefits and effects of using tanks with different capacities. The paper analyses the performance of eleven rainwater storage tanks with different capacities depending on rainfall distribution and six profiles of rainwater distribution dynamics in a single-family house. The key is the inclusion of lawn watering or its absence. An innovative approach is the hourly step analysis, which showed that each 1,000 litre increase in tank capacity allows for an increase in water yield of 1 to 5%. The percentage of recovered rainwater in the total rainwater demand for the domestic and gardening purposes increases from 66% to 83%. Rainwater demand only for washing and toilet flushing can be fully covered by using a tank with a capacity of 6,000 l.

Keywords: rainwater harvesting, single-family building, hourly rainfall distribution, rainwater distribution profile, precipitation in Wrocław

Wstęp

W kontekście ograniczonych zasobów wody, gdy wiadome jest, że Polska na tle Europy zalicza się do krajów o stosunkowo niewielkich jej zasobach [18,26], systemy ograniczające zużycie wody do picia jawią się jako pożądane rozwiązania. Woda deszczowa ma ogromny potencjał, który można w pełni wykorzystać dzięki wprowadzeniu innowacyjnych rozwiązań. Uznaje się obecnie, że rozważne podejście do gospodarki wodami opadowymi w miastach jest także skutecznym środkiem

przeciwdziałania zmianom klimatycznym i postępującej urbanizacji [9]. Magazynowanie wody i ciepła jest niezbędne do rozwoju miast w ramach zasad zrównoważonego rozwoju [25]. Proponowane są rozwiązania zagospodarowania wody deszczowej w skali makro, obejmujące osiedla, obszary zakładów produkcyjnych i obiektów sportowych oraz działania na mniejszą skalę, które można zastosować bezpośrednio w przestrzeni domu jednorodzinnego [20,21]. Przykłady rozwiązań technicznych proponowane są w Katalogu dobrych praktyk [12]. Infrastruktura obejmie

rozwiązania zarówno do powierzchniowego przejęcia wód opadowych (nawierzchnie przepuszczalne, zbiorniki infiltracyjne, muldy retencyjne, zielone dachy, ogrody deszczowe), jak i do podziemnego przejęcia wód opadowych (komory drenażowe, skrzynki retencyjno-rozsączające, retencyjne zbiorniki podziemne oraz studnie chłonne). Niewielkie, lecz skuteczne projekty, takie jak ogrody deszczowe, pojemniki na deszczówkę, zielone dachy czy zastąpienie uszczelnionych nawierzchni powierzchniami przepuszczalnymi, mogą przyczynić się do zwiększenia odporności

dr inż. Agnieszka Ludwińska <https://orcid.org/0000-0002-1455-9580>; dr hab. inż. Edyta Dudkiewicz, prof. PWR <https://orcid.org/0000-0002-6276-5290> edyta.dudkiewicz@pwr.edu.pl – Politechnika Wroclawska, Wydział Inżynierii Środowiska, Katedra Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza, Wrocław. Adres do korespondencji/Corresponding Author: agnieszka.ludwinska@pwr.edu.pl

miast na powodzie [22]. Działając na poziomie lokalnym, można ograniczyć ryzyko powodziowe na danym obszarze, zmniejszyć ilość zanieczyszczeń odprowadzanych do wód, poprawić mikroklimat oraz wzbogacić przestrzeń miejską, tworząc bardziej przyjazne otoczenie dla mieszkańców. Warto podkreślić, że efekty tych niewielkich, mniej kosztownych inwestycji mogą być znaczące i sumarycznie mogą znacząco wpłynąć na jakość życia w całym mieście i na ochronę zasobów wody słodkiej.

Generalnie w literaturze powszechnej są analizy pracy zbiornika gromadzącego wodę deszczową, w których model obliczeniowy podaje różnicę sumarycznej wartości dziennego opadu i całonocowego zapotrzebowania na wodę deszczową [2, 19, 20, 23, 24]. Jednak taki bilans w mniejszym stopniu odzwierciedla rzeczywiste sytuacje, w których:

- 1) dochodzi do przelania wody ze zbiornika na skutek wystąpienia opadu zanim nastąpi zapotrzebowanie na wodę deszczową w budynku lub
- 2) zupełnie odwrotnie tj. zapotrzebowanie na wodę deszczową jest wcześniej niż pojawi się opad atmosferyczny.

Te różnice w czasie wystąpienia zapotrzebowania na wodę i opadów nie wykazują konieczności napełnienia zbiornika wodą wodociągową, gdy bilans dobowy pokazuje równe wartości. Nie uwzględnia również nagłych, intensywnych opadów deszczu, które są niekorzystne dla pracy instalacji dualnej, gdyż np. zbiornik nie będzie mógł zmagazynować wody opadowej bez konieczności jej przelewania. Ma to szczególne znaczenie w budynkach jednorodzinnych z instalacją wody deszczowej wykorzystywaną do podlewania ogrodu, której zapotrzebowanie jest znacznie wyższe niż na cele domowe, tj. do napełnienia zbiorników miski ustępowej czy uruchomienia pralki. Dlatego stworzono algorytm, w którym bilansowano w kroku godzinowym zapotrzebowanie i uzysk wody deszczowej. Przeprowadzanie różnych analiz w kroku godzinowym jest uznawane metodą bilansowania [1].

Celem artykułu jest ocena efektywności pracy systemu zagospodarowania wody deszczowej na cele domowo-ogrodowe w oparciu o dane meteorologiczne godzinowych wysokości opadów we Wrocławiu. Analiza działania systemu obejmuje zaimplementowanie: godzinowych rozkładów opadów atmosferycznych w przypadku roku o przeciętnej sumie opadów, sześciu profili dobowego rozbiórki wody deszczowej, w których kluczowe jest uwzględnienie podlewania

trawnika lub jego brak i zbiorników gromadzących wodę opadową o jedenastu różnych pojemnościach.

Charakterystyka opadów we Wrocławiu

Opady deszczu powstają w wyniku interakcji różnych czynników pogodowych w atmosferze. Jest to zjawisko losowe, charakteryzujące się znaczną zmiennością w czasie i przestrzeni przez co modelowanie opadów jest zadaniem bardzo trudnym, choć pożądanym w celu prawidłowego wymiarowania, projektowania oraz przy budowie nowych i modernizacji istniejących sieci kanalizacji ogólnospławnej i deszczowej, a także modernizacji i rozbudowie istniejącej infrastruktury retencjonowania, odprowadzania i gromadzenia wód opadowych i roztopowych [10].

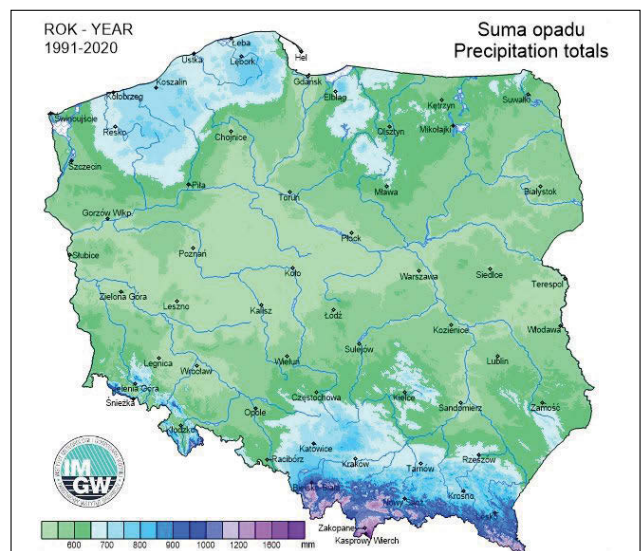
W Polsce w latach 1952–2023 występowały zarówno lata suche, w których wartości opadów mieściły się w przedziale od 50 do 74% wartości normalnych i skrajnie mokre, w których wartości opadów osiągały 126 i 150% wartości typowych [8, 14]. Średnia roczna suma opadów w Polsce wynikająca z okresu 1991–2020 wynosi 628 mm [14]. Ilość opadów zależy w dużej mierze od ukształtowania terenu i wysokości nad poziomem morza. Na nizinach roczne opady wynoszą 500–600 mm, a najniższa wysokość opadów notowana jest we wschodniej Wielkopolsce, na Kujawach i w północno-zachodniej części Mazowsza. Roczne opady w tych regionach nie przekraczają 500 mm. Pojezierza Mazurskie i Pomorskie charakteryzują roczne opady w wysokości 600–700 mm. Wyższe wartości do 800 mm obserwuje się na wyżynach. Północna i zachodnia część Kotliny Sandomierskiej, ze względu na swoje położenie

w okolicy Gór Świętokrzyskich, charakteryzuje się roczną sumą opadów rzędu 500–600 mm. Najwyższe roczne sumy opadów notuje się w górach, gdzie przekraczają 1200–1500 mm, przy czym na Kasprowym Wierchu suma rocznych opadów przekracza 1762 mm. Na rys. 1 przedstawiono mapę wizualizującą sumy opadów w Polsce w 30-letnim okresie normalnym 1991–2020 [14].

Wrocław należy do grupy miast charakteryzujących się ilością deszczu nieco poniżej przeciętnej krajowej. Analizowane dane w okresie ostatnich 50 lat ze stacji meteorologicznych w Polsce również wykazują w przypadku Wrocławia istotne statystycznie tendencje spadkowe sumy dwudziestodniowych opadów [4]. Uzyskane z IMGW dane meteorologiczne sumarycznego opadu pozwoliły określić, że średnio opady atmosferyczne występują w ciągu 167 dni w roku, a ich średnia wartość roczna w latach 1901–2000 wynosiła 583 mm, zaś w latach 2000–2019 541,2 mm [6]. W ostatnim przedziale czasowym, w 2015 r. średnia roczna suma opadów była najniższa i wyniosła 388,3 mm, a rok 2009 z największą sumą opadów scharakteryzował się wartością równą 723,5 mm. Zaś rok 2005 wykazał średni opad dla danego okresu, przy czym dni z opadem deszczu w ciągu roku było 154, a maksymalny opad dzienny wynosił 32,2 mm/d. Zatem roczny uzysk wody w roku z najwyższą sumą opadów jest niemal dwukrotnie wyższy niż w roku charakteryzującym się najniższą sumą opadów, co pokazuje jak dużym wyzwaniem jest dla projektantów optymalizacja systemu dualnego.

Wskaźniki klimatologiczne dla stacji synoptycznych w Polsce publikowane są na stronie IMGW od wielu lat, a od 2008 r. w przypadku wielu stacji dostępne są dane pozyskane w kroku godzinowym

Rys. 1. Średnia roczna suma opadów w Polsce z okresu 1991–2020 [14]
Fig. 1. Average annual precipitation in Poland from 1991–2020 [14]



[14]. W przypadku Wrocławia, jak udało się dowiedzieć autorkom, dane gromadzone w kroku godzinowym są do pobrania na cele publikacyjne od roku 2019.

Cechy rozwiązania ze zbiornikiem podziemnym

Przykładowe rozwiązanie dla budynków jednorodzinnych obejmuje wykorzystanie retencyjnego zbiornika podziemnego, którego zadaniem jest gromadzenie wody opadowej z dachów, balkonów, tarasów lub innych powierzchni o niskim stopniu zanieczyszczenia. W zależności od sposobu wykorzystania wody deszczowej na terenie nieruchomości istnieją trzy rozwiązania:

- ogrodowe – umożliwiające wykorzystanie wody deszczowej do nawadniania terenów zielonych w sezonie wegetacyjnym roślin oraz do prac porządkowych lub mycia samochodów,
- domowe (wewnętrzne) – umożliwiające wykorzystanie wody deszczowej do spłukiwania toalet, pisuarów oraz do prania i prac porządkowych,
- domowo-ogrodowe, będące połączeniem powyższych systemów.

Dostępne na rynku zbiorniki na gromadzoną wodę deszczową mogą być zastosowane do montażu na zewnątrz budynku w przypadku wykorzystania wody deszczowej do nawadniania zieleni, a także wewnątrz budynku np. na najniższej kondygnacji (zwykle w piwnicy). W przypadku systemu domowo-ogrodowego, eksploatowanego przez cały rok, stosowane są zarówno zbiorniki umieszczane wewnątrz budynków jak i zbiorniki podziemne. W tym ostatnim przypadku istotne jest uwzględnienie panujących warunków gruntowych, tj. maksymalnego poziomu wód gruntowych i rodzaju gleby, głębokości przymarzania gruntu oraz potencjalnego obciążenia terenu ze względu na ruch pieszy i kołowy. Bezwzględnie muszą być przestrzegane wytyczne montażowe producenta dotyczące maksymalnego zasięgu i odległości od innych obiektów, takich jak budynki, drogi i nasypy. Zbiorniki są wykonywane z różnych materiałów, tj. tworzywa sztucznego – polietylen i polipropylen, betonu, stali odpornej na korozję i żywicy poliestrowej wzmocnionej włóknem szklanym. Cechują się różnymi kształtami – zazwyczaj w formie cylindrów lub prostokątów, zaś do montażu naziemnego mogą mieć formę elementu dekoracyjnego. Pojemność zbiornika podziemnego może wynosić od około 1500 l do 70000 l, a nawet więcej, dając możliwość wykorzystania ich w przypadku budynków o małej jak

i bardzo dużej liczbie osób. Prawidłowe określenie pojemności zbiornika jest najistotniejszym aspektem dla efektywnego i ekonomicznie racjonalnego działania całego systemu, przy czym zwiększanie pojemności zbiornika niesie wysokie koszty inwestycyjne, które dodatkowo istotnie zależą od materiału z jakiego wykonany jest zbiornik, a opłacalność całej inwestycji od ceny wody w danym obszarze Polski [7].

Obecnie w Polsce uregulowania prawne, które określałyby zasady projektowania i użytkowania systemów zagospodarowania wód opadowych w głównej mierze bazują na niemieckiej normie DIN 1989-1:2002-04 [5] lub brytyjskiej BS 8515:2009 [3]. Dostępne są również wytyczne, nomogramy i kalkulatory do doboru pojemności zbiorników wody deszczowej [13]. Niektórzy producenci podają własne instrukcje do określania pojemności zbiorników [16,17]. Można ogólnie powiedzieć, że większość dostępnych metod bazuje na podobnych zasadach obliczeniowych, tzn. obliczane są: uzysk wody deszczowej uzależniony od pola powierzchni odwadnianej, współczynnik spływu dachu, sprawność filtra,

średni roczny opad deszczu, a wyniki są porównywane z zapotrzebowaniem na wodę deszczową.

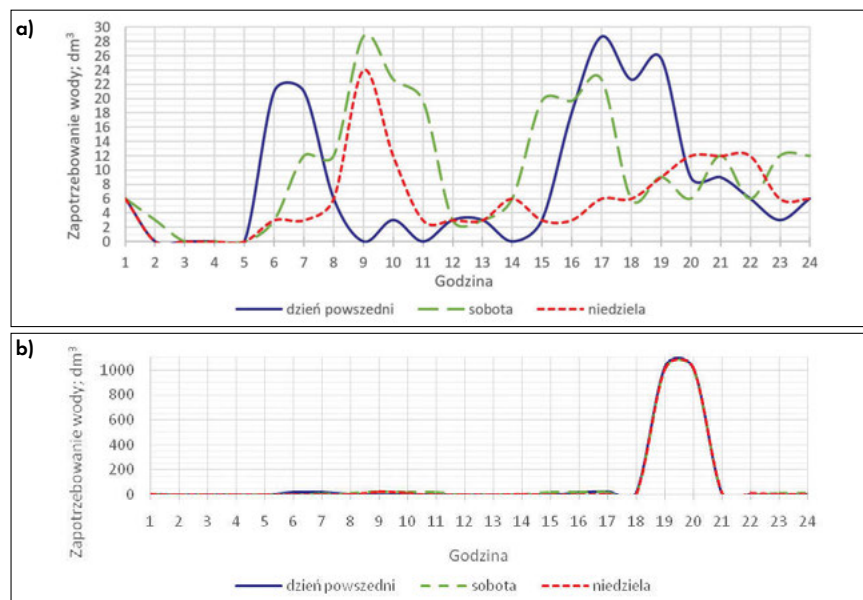
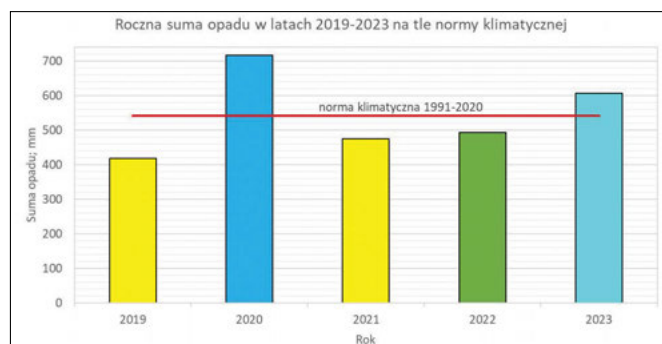
Metodyka

Opis algorytmu

Na potrzeby analizy rozpatrzono dane uzyskane z IMGW dotyczące sumy rocznych opadów w latach 2019-2023. Na rys. 2, wykorzystując skalę klasyfikacji opadów według Kaczorowskiej [14], pokazano roczną sumę opadów dla tego okresu i do dalszej analizy zdecydowano się przyjąć rok 2022, który pod kątem wysokości opadu zaliczany jest jako rok normowy, z rocznym opadem równym 492,8 mm, co stanowi 91% średniej wartości rocznej z 30-letniego okresu normalnego 1991-2020 oznaczonej na rys. 2 linią w kolorze czerwonym.

Przyjmując założenie różnego rozkładu zużycia wody w budynku mieszkalnym w dni robocze, soboty i niedziele/święta, utworzono trzy modele godzinowego rozbioru wody deszczowej wykorzystywanej do spłukiwania miski ustępowej i pralki, które pokazano na rys. 3a. Uwzględniono

Rys. 2. Sumy rocznych opadów we Wrocławiu w latach 2019-2023
Fig. 2. Average annual precipitation in Wrocław from 2019-2023



Rys. 3. Profile zapotrzebowania wody deszczowej na cele: a) domowe b) domowo-ogrodowe
Fig. 3. Profiles of rainwater demand for purposes: a) domestic b) domestic and gardening

różne godziny korzystania z tych urządzeń w poszczególne trzy dni. Przyjęto dzienne zapotrzebowanie na wodę deszczową w ilości: 24 dm³/os · d na splukiwanie miski ustępowej (za [5]) oraz 50 dm³/cykl na potrzeby prania odzieży, przyjmując 7 cykli prania w tygodniu. Profile zostały rozbudowane przez wprowadzenie zapotrzebowania na cele ogrodowe tj. podlewania zieleni. Nawadnianie terenów zielonych przyjęto w okresie od kwietnia do końca września, w godzinach między 19:00 a 21:00 jako czas pracy poszczególnych sekcji zraszaczy, dwa/trzy razy w tygodniu w zależności od opadów, tzn. przy braku opadów przez dwa kolejne dni. Profile rozbiórów wody dla trzech dni uwzględniających podlewanie pokazano na rys. 3b. Wybrano wieczorną porę ze względu na zmniejszone zapotrzebowanie wody deszczowej w godzinach nocnych i potencjalne możliwe uzupełnienie zbiornika wodami opadowymi. Należy zauważyć, że zaplanowanie podlewania w godzinach wczesno porannych może wpłynąć na wyniki analizy. Powierzchnia nawadnianych terenów zielonych wynosi 500 m², a średnie zapotrzebowanie wody deszczowej na to zadanie ustalono na poziomie 4 dm³/m². Roczne zapotrzebowanie na wodę deszczową, obliczone na podstawie powyższych założeń, wynosi łącznie 174760 dm³ w przypadku nawadniania terenów zielonych, natomiast w przypadku wykorzystania wody deszczowej wyłącznie do splukiwania misek ustępowych i prania wartość wynosi 70760 dm³. Rozkład zapotrzebowania na poszczególne cele zaprezentowano na rys. 4.

Dane pozyskane z IMGW zawierają informacje o ilości opadu w mm dla każdej godziny w roku. W pierwszym kroku w pro-

jako sumę opadów w danej godzinie i ilości wody w zbiorniku. Niedobór wody stanowił różnicę wartości ilości wody wynikających z zapotrzebowania i zagospodarowania. Napełnienie wynikało z testu logicznego w odniesieniu do pojemności danego zbiornika i dopływającej wody. Przelew stanowił różnicę wartości dopływu i napełnienia.

Charakterystyka analizowanego obiektu

Przyjęty do analizy budynek mieszkalny jednorodzinny o powierzchni użytkowej 656 m², zlokalizowany jest w województwie dolnośląskim, we Wrocławiu. Miasto znajduje się w I strefie przymarzania gruntu. Działka budowlana ma powierzchnię 1700 m², na której znajduje się parking zewnętrzny, wjazd do parkingu podziemnego, taras i tereny zielone. Budynek posiada 3 kondygnacje: piwnicę, parter oraz piętro i jest zamieszkiwany przez 6 osób. Rozważane rozwiązanie obejmuje wykończenie retencyjnego zbiornika podziemnego, którego zadaniem jest gromadzenie wody opadowej z dachów i tarasu o łącznej powierzchni 294 m².

Zbiorniki wody deszczowej w analizie

W przypadku analizowanego budynku mieszkalnego pojemność zbiornika wody deszczowej w zależności od wybranej metody obliczeniowej [3,5,13,16,17], może wynosić od 5000 l do 15000 l. Trzykrotna różnica w pojemności zbiorników w przypadku tak małego obiektu budowlanego może budzić obawy co do poprawności niektórych metod, korzyści i skutków wynikających z zastosowania zbiornika o danej pojemności. Ponieważ koszty inwestycyjne zależą głównie od

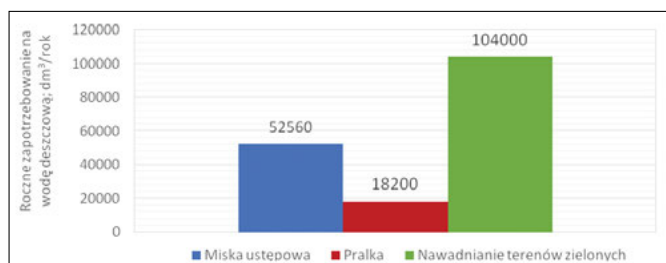
pojemności dobranego magazynu wody deszczowej, to taka rozbieżność może nie tylko wpłynąć na pracę instalacji, ale także na końcową opłacalność inwestycji [7]. Analiza bilansu wody deszczowej w kroku godzinowym pozwala dokładniej omówić niektóre z tych kwestii. Do dalszej analizy przyjęto zastosowanie zbiorników o pojemnościach dostępnych na rynku sprzedaży, tj.: 5000, 6000, 7000, 8000, 9000, 10000, 11000, 12000, 13000, 14000, 15000 litrów.

Wyniki analizy i dyskusja

W wyniku opadu następuje doprowadzenie wody opadowej do zbiornika i jego wypełnienie. Zbiorniki o określonych pojemnościach wypełnią się w 100%, a przekroczenie pojemności powoduje zrzut wód opadowych poza instalację. Niedobór wody opadowej potrzebnej w instalacji uzupełniany musi być wodą wodociągową. Zbiorniki o zbyt dużej pojemności generują wyższe koszty inwestycyjne i sytuacje sprzyjające pogorszeniu się jakości magazynowanej wody deszczowej. Zaś zbyt mała pojemność zbiornika będzie przyczyniać się do nieefektywnego działania układu, uniemożliwiając magazynowanie odpowiedniego zapasu wody na okres dni bez deszczu, a w przypadku dłuższych lub obfitych opadów brak możliwości zatrzymania wody opadowej w zbiorniku, przelewanie i stratę zasobów. Z punktu oceny cyklu życia zbiorniki wykonane z różnych materiałów stają się w przyszłości odpadem wymagającym właściwej utylizacji [11].

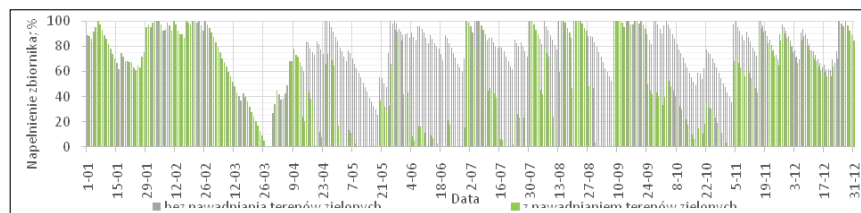
Wyniki symulacji pracy instalacji dualnej pokazano na wykresach obrazujących pracę zbiorników w ciągu roku oraz tabelarycznie zestawiając wartości godzinowe i roczne.

Na rysunkach od 5 do 15 pokazano dla każdej godziny wykresy procentowego napełnienia poszczególnych zbiorników wodą deszczową w przeciągu całego roku, stworzone z uwzględnieniem profili godzinowych rozkładów opadów deszczu i dynamiki rozbioru wody deszczowej. Dwa nałożone wykresy pozwalają zauważyć wpływ podlewania zieleni

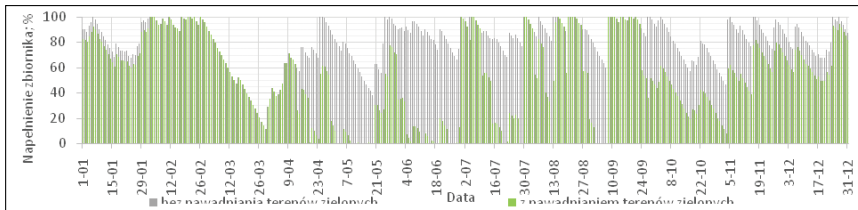


Rys. 4. Roczne zapotrzebowanie na wodę deszczową na poszczególne potrzeby
Fig. 4. Annual rainwater demand for individual needs

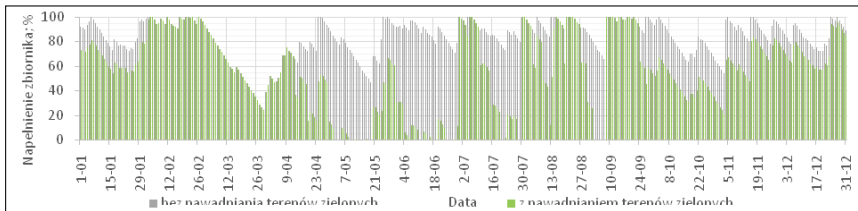
gramie Excel dla każdego dnia w roku i każdej godziny wprowadzono wysokość opadu. Iloczyn wartości godzinowego opadu oraz powierzchni zlewni pozwolił wyznaczyć uzysk wody w ciągu jednej godziny. Zapotrzebowanie na wodę deszczową w budynku w każdej godzinie wynikało z wprowadzonego harmonogramu rozbioru wody (rys. 3). Następnie wyznaczono ilość wody do zagospodarowania



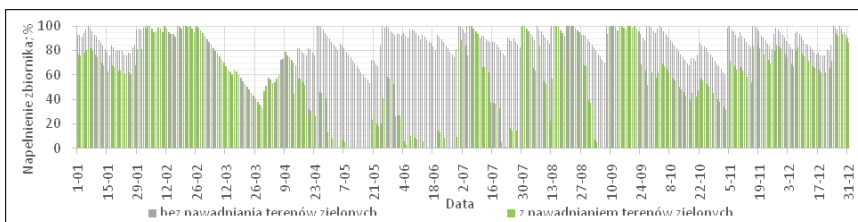
Rys. 5. Procentowy wykres napełnienia zbiornika 5000 l
Fig. 5. Percentage fill chart for a 5000-liter tank



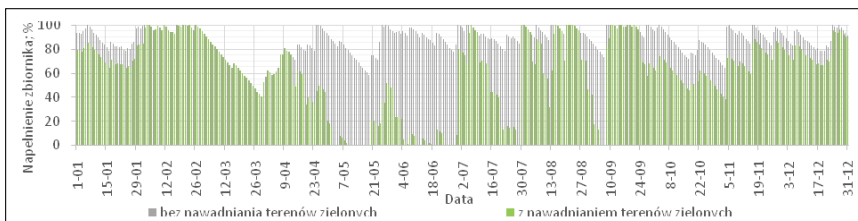
Rys. 6.
Percentowy wykres napętnienia zbiornika 6000 l
Fig. 6. Percentage fill chart for a 6000-liter tank



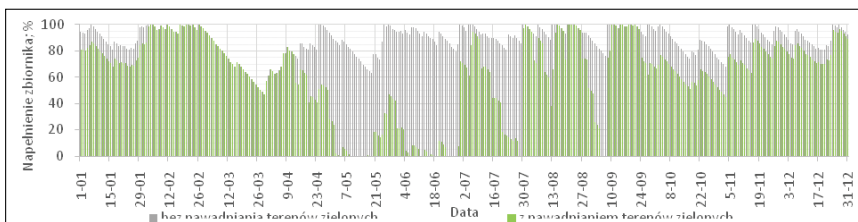
Rys. 7.
Percentowy wykres napętnienia zbiornika 7000 l
Fig. 7. Percentage fill chart for a 7000-liter tank



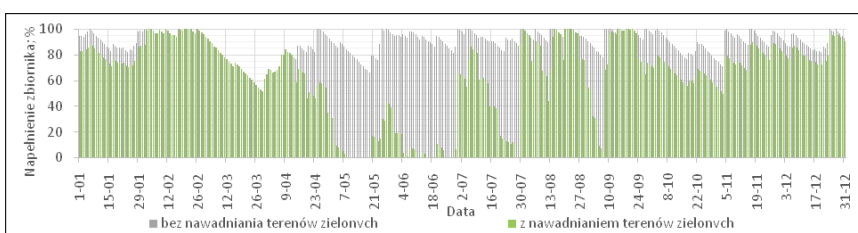
Rys. 8.
Percentowy wykres napętnienia zbiornika 8000 l
Fig. 8. Percentage fill chart for a 8000-liter tank



Rys. 9.
Percentowy wykres napętnienia zbiornika 9000 l
Fig. 9. Percentage fill chart for a 9000-liter tank



Rys. 10.
Percentowy wykres napętnienia zbiornika 10000 l
Fig. 10. Percentage fill chart for a 10000-liter tank

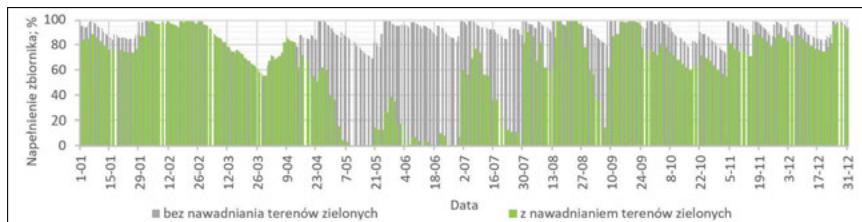


Rys. 11.
Percentowy wykres napętnienia zbiornika 11000 l
Fig. 11. Percentage fill chart for a 11000-liter tank

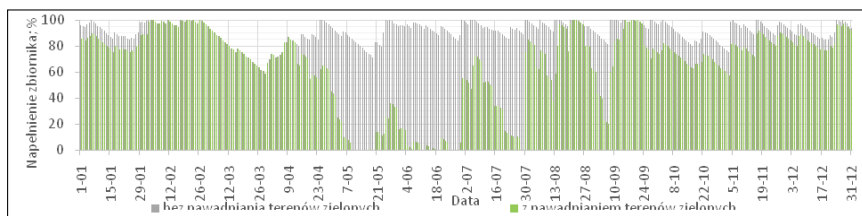
(wykres zielony) na pracę zbiornika. Można zauważyć efekty wynikające ze znacznej nierównomierności występowania opadów i ich intensywności w poszczególnych dobach i sezonach roku; widoczne są przedwiosenne i późnojesienne okresy zwiększonego uzysku wody i napętnienie zbiorników na różnym poziomie.

W przypadku analizy pracy zbiornika z uwzględnieniem podlewania można zaobserwować, że nawet zbiornik o największej pojemności (15000 l) nie pozwala na zgromadzenie takiej ilości wody, aby pokryć w pełni zapotrzebowanie na wodę deszczową. Dla porównania na rys. 16 pokazano niedobory wody deszczowej w przypadku trzech zbiorników o pojemności 5000 l (ciągła szara linia), 10000 l (przerywana szara linia) i 15000 l (przerywana czarna linia). Kolorem niebieskim zaznaczono uzysk wody deszczowej. W maju, czerwcu, lipcu i wrześniu ze względu na suche okresy występowały sytuacje wymagające uzupełnienia instalacji wodą przeznaczoną do spożycia przez ludzi. Przykładowo 15 dniowy okres bez opadów w maju i konieczność podlewania zieleni zmusiły do uzupełniania instalacji wodą wodociągową.

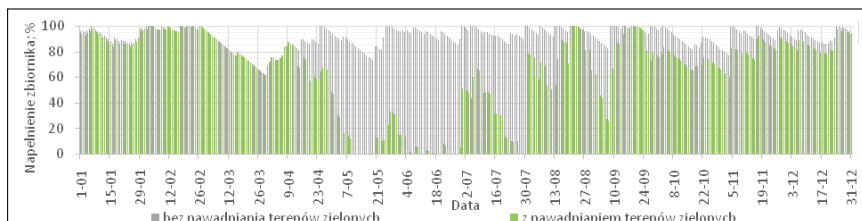
Analiza rysunków 5 – 15 pokazuje, że nie można było również uniknąć sytuacji, w której opad nie zostaje zmagazynowany. Na rys. 17 pokazano wartości ilości wody odprowadzanej poza instalację w przypadku trzech zbiorników. Jak można było się spodziewać, w przypadku najmniejszego zbiornika sytuacje, gdy niewykorzystana woda deszczowa była kierowana do przelewu występowały częściej niż gdy zaimplementowano zbiorniki o większej pojemności, ale zbiornik o pojemności 15000 l nie był również w stanie zapewnić pełnego przejścia wody. Pomimo znacznej pojemności zbiornika, obserwowano przypadki, gdy nadmiar wód musiał zostać odprowadzony poza instalację. Wynika to z rozkładu opadów i sezonowego podlewania, gdyż sezon objęty podlewaniem terenów zielonych charakteryzował się okresami z wysokim stopniem napętnienia zbiornika w okresie wczesnowiosennym oraz w cieplejsze dni w zimie, kiedy występuje zjawisko topnienia zgromadzonego na dachu śniegu [23], bądź intensywnymi opadami pod koniec lata. We wrześniu intensywny opad w wysokości 21,9 mm spowodował wygenerowanie blisko 6500 l wody deszczowej do zagospodarowania w ciągu godziny. Taka sytuacja meteorologiczna sprawiła, że żaden racjonalny sposób magazynowania nie daje możliwości zmagazynowania dostępnych zasobów wody.



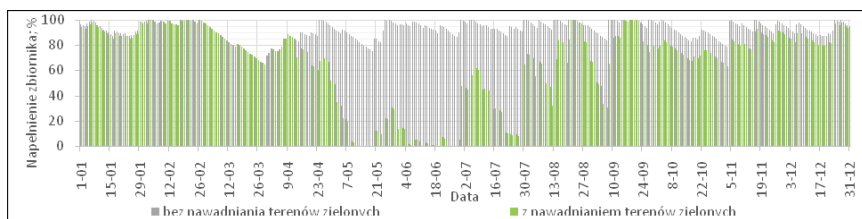
Rys. 12.
Procentowy wykres napętnienia zbiornika 12000 l
Fig. 12. Percentage fill chart for a 12000-liter tank



Rys. 13.
Procentowy wykres napętnienia zbiornika 13000 l
Fig. 13. Percentage fill chart for a 13000-liter tank



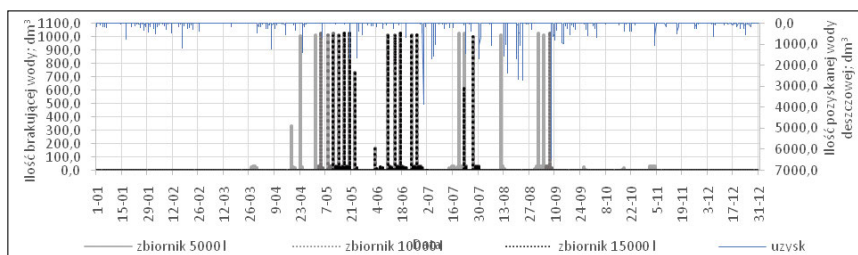
Rys. 14.
Procentowy wykres napętnienia zbiornika 14000 l
Fig. 14. Percentage fill chart for a 14000-liter tank



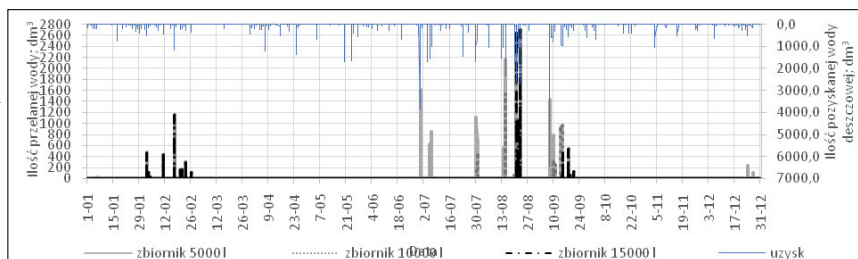
Rys. 15.
Procentowy wykres napętnienia zbiornika 15000 l
Fig. 15. Percentage fill chart for a 15000-liter tank

Nawadnianie terenów zielonych stanowi największy udział wykorzystania wody deszczowej i jest istotnym czynnikiem wpływającym na działanie systemu zagospodarowania wody deszczowej. Rezygnacja z nawadniania znacznie zmienia sposób wymiarowania całej instalacji i pozwala określić wielkość retencji optymalnie ze względu na nieznaczne wahania w ciągu roku w profilach rozbioru. Tak więc w przypadku analizy efektywności pracy zbiorników w instalacji bez podlewania można zaobserwować na rys. 5-15 niewielkie różnice w rozkładach napełnienia zbiorników. Duża powierzchnia do pozy-

Rys. 17.
Ilość przelanej i uzysk wody deszczowej w przypadku nawadniania i zbiorników o pojemnościach 5000 l, 10000 l i 15000 l
Fig. 17. The amount of overflowed and yield of rainwater for irrigation and tanks with capacities of 5000 l, 10000 l and 15000 l



Rys. 16.
Ilość brakującej (kolor szary) i uzysk (kolor niebieski) wody deszczowej w przypadku nawadniania i zbiorników o pojemnościach 5000 l, 10000 l i 15000 l
Fig. 16. The amount of missing (grey colour) and yield (blue colour) of rainwater for irrigation and tanks with capacities of 5000 l, 10000 l and 15000 l



skiwania wody deszczowej generuje taką ilość wody retencionowanej, która zapewni bilansowanie uzysku i zapotrzebowania we wszystkich przypadkach poza układem ze zbiornikiem o pojemności 5000 l (rys. 5). Analiza godzinowego rozkładu opadów deszczu i profili rozbioru wody deszczowej w poszczególne dni tygodnia okazała się szczególnie użyteczna do optymalizowania wielkości zbiornika wody deszczowej. Jak wynika z przedstawionych danych i rysunków dla danego budynku korzystny pod względem pełnego zapewnienia zasobu wody deszczowej jest zbiornik o pojemności 6000 l. Zwiększenie pojemności zbiornika nie przyniesie żadnych korzyści.

Szczegółowe wyniki symulacji opadów i rozbioru wody deszczowej w instalacjach z funkcją podlewania i bez podlewania terenów zielonych przedstawiono w tabeli 1, w której kolumny druga i trzecia odnoszą się do jednej godziny, kolumny od czwartej do dziewiątej do roku, a kolejno oznaczają:

- pierwsza, to pojemność zbiornika wody deszczowej [l],
- druga, to maksymalny uzysk wody w ciągu godziny, tj. sumaryczna ilość wody, która jest dostępna w zbiorniku wraz z ilością wody z opadu deszczu uzyskanego w przeciągu jednej godziny. Wartość wskazuje maksymalną ilość wody łącznie jaką użytkownik przy danej pojemności zbiornika ma do dyspozycji [dm³/h],
- trzecia oznacza zasób wody skierowany w ciągu jednej godziny do przelewu w wyniku pełnego wypełnienia zbiornika w czasie np. intensywnego opadu [dm³/h],

- czwarta, to ilość wody wykorzystana w skali roku, czyli odzysk wody deszczowej użytej na cele domowe i ogrodowe [dm³/rok],
- piąta wskazuje na średni poziom wody w zbiorniku w ciągu roku [%],
- szóstą wskazuje na ilość wody przelanej w ciągu roku [dm³/rok],
- siódma, to niedobór wody w skali roku, czyli wartość wskazująca na ilość wody pobranej z sieci wodociągowej [dm³/rok],
- ósma pokazuje ilość godzin w ciągu roku, gdy zbiornik pozostawał pusty [h/rok],
- dziewiąta, to ilość wystąpień braku wody deszczowej, czyli ilość sytuacji w przeciągu roku, gdy wystąpiła konieczność wykorzystania wody wodociągowej w przypadku pustego zbiornika. Każde zapotrzebowanie wody do spłukiwania toalety, prania czy nawadniania w przypadku braku wody deszczowej dodaje wartość +1 do wartości [15]. Wskaźnik ten jest szczególnie istotny w analizach godzinowego bilansu wody, gdyż pozwala przykładowo określić znaczenie czasu uruchomienia instalacji podlewania ogrodu.

Oceniając poziom wody w zbiorniku (tab. 1), można zauważyć, że średni poziom wzrasta wraz z pojemnością, bilansując ilość wody przelanej. W ciągu roku zbiorniki są wypełnione wodą od 49% do 64% bądź od 75% do 91% w zależności od funkcji instalacji odpowiednio z podlewaniem i bez podlewania.

Analiza braku wody pokazuje, że sytuacji, w których brakuje wody, jest mniej niż liczba godzin, gdy zbiornik jest pusty. Trzykrotne zwiększenie pojemności zbiornika spowodowało mniejsze o 567 występowanie sytuacji, w których wykorzystana jest woda do picia. Iloraz niedoboru wody i braku wody wskazuje, że średnio, w każdej sytuacji, gdy brakowało wody, istniała potrzeba uzupełnienia około 47-55 dm³ wody deszczowej wodą wodociągową.

W celu określenia korzyści wynikających ze zwiększania pojemności zbiornika wody deszczowej sporządzono tabelę 2, w której porównano otrzymane wyniki dla 10 zbiorników o pojemności od 6000 l do 15000 l w odniesieniu do wyników otrzymanych w przypadku zbiornika o najmniejszej pojemności 5000 l. W tabeli 2 podano wzrost lub spadek poszczególnych wartości podanych w tabeli 1. Dodatkowo podano wzrost ceny zbiornika w kolumnie 10 i zobrazowano go na rys. 18.

Na rys. 18 pokazano również ilości wody odzyskanej, przelanej, niedoboru wraz ze wzrostem pojemności zbiornika w przypadku pracy instalacji z wykorzystaniem wody na cele domowo-ogrodowe. Z wykresu wynika, że każde zwiększenie

Tabela 1. Wyniki symulacji opadów i rozbiór wody deszczowej
Table 1. Simulation results of rainfall and rainwater distribution

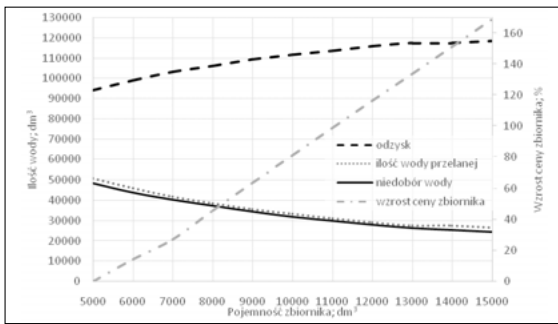
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pojemność zbiornika, l	Maksymalny uzysk, dm ³ /h	Maksymalny przelew, dm ³ /h	Odzysk wody, dm ³ /rok	Średnie napełnienie, %	Woda przelana, dm ³ /rok	Niedobór wody, dm ³ /rok	Pusty zbiornik, h/rok	Brak wody
Z nawadnianiem terenów zielonych								
5000	7705	2705	94022	49	50862	48588	1398	1043
6000	8705	2705	99022	50	45862	43759	1075	811
7000	9705	2705	103245	53	41638	40365	1024	772
8000	10705	2705	106245	55	38638	37365	897	674
9000	11705	2705	109245	58	35638	34365	876	657
10000	12705	2705	111703	60	33180	31907	833	625
11000	13705	2705	113703	61	31180	29907	733	553
12000	14705	2705	115703	62	29180	27907	731	551
13000	15705	2705	117352	63	27532	26258	693	527
14000	16705	2705	117362	64	27522	25258	692	526
15000	17705	2705	118352	64	26532	24258	621	476
Bez nawadniania terenów zielonych								
5000	8790	3787	70002	75	74882	608	83	62
6000	9790	3787	70610	78	74273	0	0	0
7000	10790	3787	70610	81	74273	0	0	0
8000	11790	3787	70610	84	74273	0	0	0
9000	12790	3787	70610	86	74273	0	0	0
10000	13790	3787	70610	87	74273	0	0	0
12000	15790	3787	70610	89	74273	0	0	0
13000	16790	3787	70610	90	74273	0	0	0
14000	17790	3787	70610	91	74273	0	0	0
15000	18790	3787	70610	91	74273	0	0	0

Tabela 2. Efekty wynikające ze zwiększania pojemności zbiornika wody deszczowej
Table 2. Effects resulting from increasing the volume of the rainwater tank

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pojemność zbiornika dm ³	Wzrost maksymalnego uzysku %	Spadek maksymalnego przelewu %	Wzrost ilości odzyskanej wody %	Wzrost średniego poziomu wody %	Spadek ilości wody przelanej %	Spadek niedoboru wody %	Spadek godzin pustego zbiornika %	Spadek braku wody %	Wzrost ceny %
Z nawadnianiem terenów zielonych									
5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6000	13,0	0,0	5,3	1,3	9,8	9,9	23,1	22,2	14,3
7000	26,0	0,0	9,8	6,8	18,1	16,9	26,8	26,0	27,1
8000	38,9	0,0	13,0	12,6	24,0	23,1	35,8	35,4	45,8
9000	51,9	0,0	16,2	17,7	29,9	29,3	37,3	37,0	63,4
10000	64,9	0,0	18,8	21,4	34,8	34,3	40,4	40,1	81,0
11000	77,9	0,0	20,9	24,2	38,7	38,4	47,6	47,0	98,6
12000	90,9	0,0	23,1	25,7	42,6	42,6	47,7	47,2	116,2
13000	103,8	0,0	24,8	27,0	45,9	46,0	50,4	49,5	133,8
14000	116,8	0,0	24,8	29,6	45,9	48,0	50,5	49,6	151,3
15000	129,8	0,0	25,9	30,7	47,8	50,1	55,6	54,4	168,8
Bez nawadniania terenów zielonych									
5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6000	11,4	0,0	0,9	4,6	0,8	100	100	100	14,3
7000	22,8	0,0	0,9	8,7	0,8	100	100	100	27,1
8000	34,1	0,0	0,9	11,8	0,8	100	100	100	45,8
9000	45,5	0,0	0,9	14,2	0,8	100	100	100	63,4
10000	56,9	0,0	0,9	16,1	0,8	100	100	100	81,0
11000	68,3	0,0	0,9	17,7	0,8	100	100	100	98,6
12000	79,6	0,0	0,9	19,0	0,8	100	100	100	116,2
13000	91,0	0,0	0,9	20,1	0,8	100	100	100	133,8
14000	102,4	0,0	0,9	21,1	0,8	100	100	100	151,3
15000	113,8	0,0	0,9	21,9	0,8	100	100	100	168,8

pojemności zbiornika o 1000 litrów pozwala na zwiększenie uzysku wody od 1 do 5 %, zwiększenie średniego rocznego poziomu wody w zbiorniku o około 8% oraz zmniejszenie ilości wody przelanej oraz pobranej z sieci wodociągowej o około 9 %. Przy czym wyraźnie widać, że

wzrost pojemności zbiornika powyżej 12000 l przynosi dużo mniejsze korzyści i odzysk wody nie jest tak istotny jak w przypadku zwiększenia pojemności zbiornika z 5000 l na 12000 l. Podobna zależność następuje w przypadku ilości wody przelanej i niedoboru wody, przy czym tu różnice



Rys. 18. Efekty wynikające ze zwiększenia pojemności wraz z procentowym wzrostem ceny zbiornika
Fig. 18. The effects of increasing volume with the percentage increase in the price of the tank

są już mniejsze przy pojemności powyżej 10000 l. Procentowy udział odzyskanej wody deszczowej w całkowitym zapotrzebowaniu na wodę deszczową rośnie wraz ze wzrostem pojemności zbiornika i wynosi od 66% do 83%. Natomiast niedobór wody deszczowej maleje odpowiednio wraz ze wzrostem pojemności zbiornika i wynosi od 34% do 17% całkowitego zapotrzebowania na wodę.

Godzinowa analiza z wykorzystaniem profili rozbioru wody pozwoliła obliczyć roczne zapotrzebowanie na wodę deszczową. Dla analizowanego roku, ze względu na rozkład opadów, zapotrzebowanie na wodę deszczową jest mniejsze niż wynikające z obliczeń przy przyjętych założeniach (rozdz. 4.1 rys. 4); i tak bilans godzinowy wskazuje na zapotrzebowanie na wodę do podlewania, prania i spłukiwania toalet w ilości 142610 l/rok i jest to o 32150 l mniejsze zapotrzebowanie niż obliczone, a w przypadku prania i spłukiwania toalet zapotrzebowanie wyznaczone z bilansu godzinowego jest mniejsze o 150 l. Bilans wody odzyskanej i zapotrzebowania na wodę deszczową wykazuje, że w przypadku podlewania procentowy udział odzyskanej wody deszczowej w całkowitym zapotrzebowaniu na wodę deszczową wzrasta z 66% do 83% wraz ze wzrostem pojemności zbiornika.

Podsumowanie

Koncepcja gromadzenia i wykorzystania wody deszczowej jest zgodna z ideą zrównoważonego rozwoju miast i stanowi istotny punkt w strategiach implementowanych w celu ograniczenia niedoborów wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.

Procentowy udział odzyskanej wody deszczowej w całkowitym zapotrzebowaniu na wodę deszczową na cele domowo-ogrodowe wzrasta od 66% do 83% wraz ze wzrostem pojemności zbiornika. Wskazuje to na niewątpliwą korzyść samego rozwiązania w analizowanym przypadku budynku jednorodzinne i ogromny potencjał w ograniczeniu zużycia wody do picia na potrzeby, dla których jej zużycie wydaje się marnotrawstwem.

Analiza godzinowego rozkładu opadów deszczu i profili rozbioru wody deszczowej w poszczególne dni tygodnia okazała się szczególnie użyteczna do optymalizowania wielkości zbiornika wody deszczowej w instalacji bez funkcji podlewania terenów zielonych. Dla danych warunków i założeń pozwoliła określić pojemność zbiornika na poziomie 6000 l jako maksymalną racjonalną wielkość. W przypadku podlewania pojemność zbiornika do 12000 l przynosi widoczne korzyści.

Każde zwiększenie pojemności zbiornika wody deszczowej o 1000 litrów pozwala na zwiększenie uzysku wody deszczowej i średniego rocznego poziomu wody w zbiorniku oraz spadek ilości wody przelanej i pobranej z sieci wodociągowej. Niewątpliwie jednak cena zbiornika rośnie w sposób nieproporcjonalny do korzyści wynikających z większego zasobu magazynowanej wody. Analiza godzinowa pozwoliła określić liczbowo wielkości charakteryzujące pracę zbiorników w ciągu roku.

LITERATURA

- [1] Amanowicz Ł., Wojtkowiak J., Comparison of single-and multipipe earth-to-air heat exchangers in terms of energy gains and electricity consumption: A case study for the temperate climate of central Europe, *Energies*. 14 (2021). <https://doi.org/10.3390/en14248217>.
- [2] Bator M., Piechurski F., Analiza kosztów systemu odzysku wody deszczowej dla budynku biurowego. Cost analysis of rainwater recovery system for an office building, *Instal*. 3 (2019).
- [3] BS 8515:2009 Rainwater harvesting systems – Code of practice,
- [4] Canales F.A., Gwoździej-Mazur J., Jadwiszczak P., Struk-Sokołowska J., Wartalska K., Wdowikowski M., Kaźmierczak B., Long-term trends in 20-day cumulative precipitation for residential rainwater harvesting in Poland, *Water* (Switzerland). 12 (2020). <https://doi.org/10.3390/w12071932>.
- [5] DIN 1989-1:2002-04 Regenwassernutzungsanlagen Teil 1: Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung,
- [6] Dubicki A., Dubicka M., Szymanowski M., Klimat Wrocławia, Środowisko Wrocławia – Informator (2002) 9–25.
- [7] Dudkiewicz E., Ludwińska A., Family Dwelling House Localization in Poland as a Factor Influencing the Economic Effect of Rainwater Harvesting System with Underground Tank, *Sustainability* 15 (2023). <https://doi.org/10.3390/su151310687>.
- [8] Kaczorowska Z., Opady w Polsce w przekroju wieloletnim, *Prace Geograficzne IG PAN* (1962) 33.
- [9] Kordana S., Słyś D., Decision criteria for the development of stormwater management systems in Poland, *Resources*. 9 (2020). <https://doi.org/10.3390/resources9020020>.

- [10] Kordana-Obuch S., Starzec M., A New Method for Selecting the Geometry of Systems for Surface Infiltration of Stormwater with Retention, *Water* (Switzerland). 15 (2023). <https://doi.org/10.3390/w15142597>.
- [11] Latośńska J., Gawdzik J., Honus S., Orman Ł.J., Rodek N., Waste for building material production as a method of reducing environmental load and energy recovery, *Front. Energy Res.* 11 (2023) 1–7. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1279337>.
- [12] Lejcuś K., Burszta-Adamiak E., Wróblewska K., Orzeszyńska H., Szpitalniak M., Marczak D., Misiewicz J., Dobrzańska J., Zasady zrównoważonego gospodarowania wodami opadowymi na obszarze zabudowanym, (2021) 152. https://www.wroclaw.pl/zielony-wroclaw/files/dokumenty/41756/zlap-deszcz-katalog-dobrych-praktyk-cz2_compressed.pdf.
- [13] Madzia M., Reduction of treated water use through application of rainwater tanks in households, *J. Ecol. Eng.* 20 (2019) 156–161. <https://doi.org/10.12911/22998993/112495>.
- [14] Mapy klimatu Polski, <https://klimat.ingw.pl/pl/climate-maps/#Precipitation/Yearly/1991-2020/1/Winter>.
- [15] Milczarek M., Analiza metod doboru objętości zbiornika wody deszczowej na przykładzie budynku jednorodzinnego zlokalizowanego we Wrocławiu, Praca dyplomowa magisterska, Politechnika Wroclawska, 2023.
- [16] Obliczanie pojemności zbiornika wody deszczowej, <https://aquatechnika.com.pl/Poradnik/zbiorniki-na-wode-deszczowa/obliczanie-pojemnosci-zbiornika-wody-deszczowej>.
- [17] Poradnik wykorzystania wody deszczowej – Broszura produktowa Wilo, <https://cms.media.wilo.com/cndnoc/wilo418778/4542410/wilo418778.pdf>.
- [18] Raport 2020. Polska na drodze zrównoważonego rozwoju, Główny Urząd Statystyczny. (2020). <https://raportsdg.stat.gov.pl/2020/index.html>.
- [19] Sakson-Sysiak G., Zyzik P., Efektywność systemów wykorzystania wody deszczowej w budynkach handlowo-usługowych, *Instal*. (2024) 24–28. <https://doi.org/10.36119/15.2024.1.3>.
- [20] Słyś D., Efekt ekonomiczny zastosowania instalacji do wykorzystania wód opadowych w budownictwie jednorodzinne, *Instal* 6 (2006) 66–69.
- [21] Słyś D., Stec A., Centralized or decentralized rainwater harvesting systems: A case study, *Resources*. 9 (2020). <https://doi.org/10.3390/resources9010005>.
- [22] Starzec M., Kordana-Obuch S., Słyś D., Assessment of the Feasibility of Implementing a Flash Flood Early Warning System in a Small Catchment Area, *Sustainability*. 15 (2023) 8316. <https://doi.org/10.3390/su15108316>.
- [23] Stec A., Słyś D., Analiza możliwości wykorzystania wody deszczowej na terenie miasteczka akademickiego w Polsce, *Proc. ECOpole*. 11 (2017) 5–8. [https://doi.org/10.2429/proc.2017.11\(1\)031](https://doi.org/10.2429/proc.2017.11(1)031).
- [24] Suchorab P., Iwanek G., Efektywność wybranej instalacji dualnej wykorzystującej wody deszczowe w warunkach rzeczywistych opadów, *Instal*. 12 (2021) 41–45. <https://doi.org/10.36119/15.2021.12.6>.
- [25] Turski M., Magazynowanie ciepła w miejskich systemach ciepłowniczych, *Instal* 10 (2023) DOI: 10.36119/15.2023.10.1
- [26] Wojciechowska E., Gajewska M., Żurkowska N., Surówka M., Obarska-Pempkowiak H., Zrównoważone systemy gospodarowania wodą deszczową, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 2015.

Targi INSTALACJE 2024: Spotkanie Instalatorów Przyszłości

W dniach 23-25 kwietnia 2024 roku w Poznaniu odbędzie się jedno z najbardziej oczekiwanych wydarzeń w branży instalacyjnej – Targi INSTALACJE. Tegoroczna edycja Targów INSTALACJE przyciągnęła wystawców reprezentujących różnorodne sektory związane z technologiami instalacyjnymi. Od producentów urządzeń klimatyzacyjnych po dostawców systemów automatyki budynkowej, każdy uczestnik będzie miał okazję zapoznać się z szerokim spektrum innowacyjnych rozwiązań. Renomowane firmy z branży zaprezentują swoje najnowsze produkty, skupiając się na efektywności energetycznej, zrównoważonym wykorzystaniu zasobów oraz poprawie komfortu użytkowników końcowych. Wśród wystawców znajdują się także firmy oferujące inteligentne systemy zarządzania energią oraz innowacyjne rozwiązania w dziedzinie odnawialnych źródeł energii.

Bogaty program wydarzeń

W ramach targów odbędzie się szereg konferencji, spotkań i paneli dyskusyjnych, prowadzonych przez wiodących ekspertów z branży. W tym roku na scenach Targów INSTALACJE zagoszczą, m.in. VII Konferencja Rynku Urządzeń Grzewczych, Sanitarnych, Instalacji, Wentylacji i Klimatyzacji, Konferencja ZERO a cieszy – instalacje w budynkach zeroenergetycznych, Instalmania, Łazienka.PRO czy całkiem nowe wydarzenie – Instalator Przyszłości – dynamiczne, multidyscyplinarne wydarzenie z aktywnym udziałem środowisk producentów, dystrybutorów, instytucji i organizacji kształtujących obszar działań branży oraz innowacyjnych partnerów, którzy współtworzą nowe możliwości rozwoju zarówno branży, jak i rynku Instalatora Przyszłości. Wszystkie wydarzenia są organizowane we współpracy z branżowymi ekspertami dbającymi o wysoki poziom merytoryczny.

Strefy specjalne

Zdobywaniu wiedzy na Targach INSTALACJE będą sprzyjać także liczne strefy specjalne, m.in. Strefa Praktyczna „Władcy Żywiołów”, Strefa Cyfrowa Kuźnia, Strefa Kominków czy Zielona Strefa. Instalatorzy odwiedzający strefy towarzyszące będą mieli możliwość sprawdzenia swoich umiejętności manualnych, przetestują innowacyjne produkty oraz wezmą udział w różnych szkoleniach dla specjalistów. Wspólna wymiana wiedzy i doświadczeń pozwoli na znalezienie nowych rozwiązań oraz na lepsze zrozumienie wyzwań, jakie stoją przed branżą instalacyjną w przyszłości.

Spotkanie kilku powiązanych branż

Kwietniowe Targi Instalacje to nie tylko okazja do spotkania branży instalacyjnej. W tym samym czasie na terenie Międzynarodowych Targów Poznańskich odbędą się również Międzynarodowe Targi Energii Odnawialnej GREENPOWER, Międzynarodowe Targi Energetyki EXPOPOWER, Międzynarodowe Targi Zabezpieczeń SECUREX oraz Międzynarodowe Targi Ochrony Pracy, Pożarnictwa i Ratownictwa SAWO.

– Dążenie do integracji jest szczególnie wyraźne w branżach, które utworzą w kwietniu 2024 blok targowy poświęcony energetyce, instalacjom, dekarbonizacji, zabezpieczeniom i bezpieczeństwu pracy. Dziś nie ma nowoczesnej energetyki bez wsparcia ze strony branży instalacyjnej. I odwrotnie – energetyka z chęcią skorzysta z rozwijającego się sektora instalacyjnego – mówi Dominik Szymański, dyrektor Targów INSTALACJE.

Więcej informacji o Targach Instalacje: www.instalacje.com.

Targi GREENPOWER 2024 – wydarzenie pod znakiem zielonej energii

Program wydarzeń

Targi GREENPOWER to nie tylko ekspozycja wystawiennicza, ale także liczne konferencje oraz profesjonalne debaty. Program towarzyszący targom budowany jest we współpracy z doświadczonymi ekspertami z branży OZE. Wśród wydarzeń zaplanowanych na czas Targów GREENPOWER są m.in.

- Konwent Magazynowania Energii ESSCON 2024 – wydarzenie jest doskonałą okazją do zdobycia wiedzy o najnowszych trendach i technologiach w magazynowaniu energii, nawiązania kontaktów z kluczowymi graczami na rynku oraz udziału w dyskusjach o przyszłości magazynowania energii.
- Konferencja „Zero a cieszy – instalacje w budynkach zero energetycznych” – ta konferencja jest dla Ciebie jeśli planujesz budowę własnego domu i chcesz, aby był on nowoczesny, energooszczędny i przyjazny dla środowiska.
- Forum Magazynowania Energii PSME – wydarzenie skierowane jest do wszystkich osób zainteresowanych branżą energetyczną, które chciałyby poszerzyć swoją wiedzę z zakresu magazynowania energii, w kontekście dynamicznie rozwijającego się sektora zrównoważonej energii.
- Energetyczny Talk Show – to cotygodniowy program na YouTube, prowadzony przez dwóch ekspertów branży energetycznej: Grzegorza Burka i Bogdana Szymańskiego. 24 kwietnia będzie wyjątkową okazją do posłuchania Grzegorza Burka i Bogdana Szymańskiego na żywo podczas Targów GREENPOWER!
- Konferencja Samodzielność Energetyczna Przedsiębiorstw – wydarzenie, który poruszy ważne zagadnienia, m.in. jak zdobyć dofinansowanie przedsiębiorstw w dobie transformacji energetycznej, kiedy montaż paneli fotowoltaicznych w firmie będzie opłacalny czy jakie są źródła finansowania inwestycji zmierzających do samodzielności energetycznej przedsiębiorstw.

Strefy specjalne

Pogłębianie branżowej, fachowej wiedzy na Targach GREENPOWER umożliwią odwiedzającym eksperckie strefy specjalne, m.in. Strefa Praktyczna „Władcy Żywiołów”, Strefa Cyfrowa Kuźnia, Strefa Kominków czy Zielona Strefa. Strefy zaprezentują liczne nowości z branży OZE, będą swoistą platformą wymiany doświadczeń oraz zdobywania nowych umiejętności.

Synergia branż

Ofertę Targów GREENPOWER uzupełni ekspozycja wystawiennicza kilku wydarzeń odbywających się w tym samym czasie na terenie Międzynarodowych Targów Poznańskich. W dniach 23-25 kwietnia goście MTP będą mogli odwiedzić także Międzynarodowe Targi Instalacyjne INSTALACJE, Międzynarodowe Targi Energetyki EXPOPOWER, Międzynarodowe Targi Zabezpieczeń SECUREX, Międzynarodowe Targi Ochrony Pracy, Pożarnictwa i Ratownictwa SAWO, Środkowoeuropejskie Forum Technologii Wodorowych H2POLAND oraz Forum NetZero.

Więcej informacji znajduje się na stronie www.greenpower.mtp.pl.

INSTALACJE

MIĘDZYNARODOWE TARGI INSTALACYJNE

23-25.04.2024

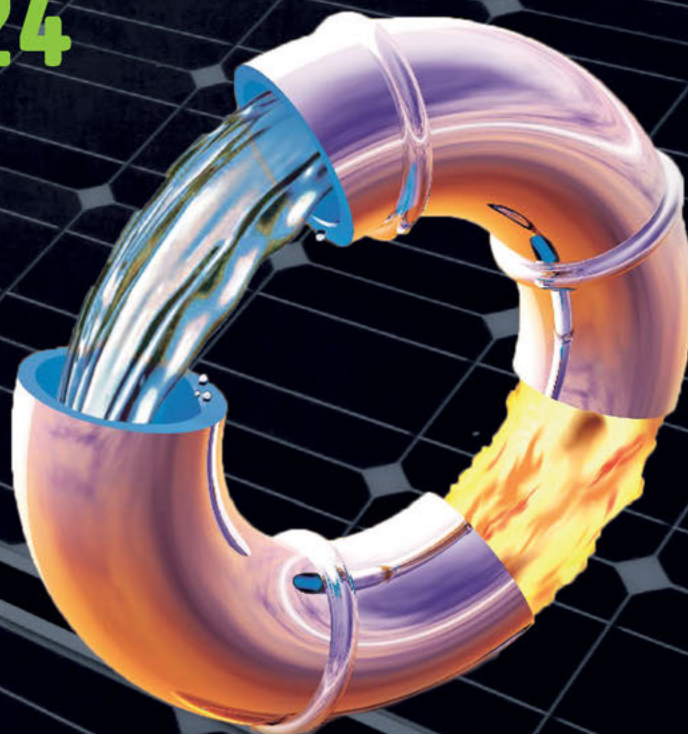
POZNAŃ

ZAPRASZA

mtp
GRUPA



Międzynarodowe
Targi Poznańskie



KLIMATYZACJA,
WENTYLACJA I CHŁODNICTWO



TECHNIKA SANITARNA



TECHNIKA GRZEWCA
I CIEPŁOWNICZA



EKOGRZANIE



INTELIŻENTNY BUDYNEK



TECHNIKA GAZOWNICZA



USŁUGI, WYKONAWSTWO,
DORADZTWO

NOWOŚCI



DEKARBONIZACJA



WODÓR



MAGAZYNOWANIE ENERGII



ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII

www.instalacje.com

W TYM SAMYM CZASIE:



W tym roku po raz 30.!

Organizowane co roku przez Izbę Gospodarczą „Wodociągi Polskie” Międzynarodowe Targi Maszyn i Urządzeń dla Wodociągów i Kanalizacji WOD-KAN to wydarzenie, które cieszy się nieustannie zainteresowaniem, czego dowodzą zarówno liczba wystawców oraz zwiedzających, jak i kolejna, już XXX, jubileuszowa edycja tej imprezy. Bydgoska wystawa dla branży wodno-ściekowej nadal utrzymuje swą pozycję lidera targowego w Europie Środkowo-Wschodniej.

Targi WOD-KAN gromadzą corocznie około 10 000 przedstawicieli przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych, instytucji badawczych oraz samorządów. Uczestnicy tej prestiżowej imprezy stanowią nie tylko reprezentację polskiego rynku, lecz także międzynarodowej społeczności branżowej, szczególnie z ościennych krajów. Wśród stałych bywalców znajdują się liderzy technologiczni, innowatorzy prezentujący najnowsze rozwiązania, a także specjaliści zajmujący się projektowaniem, utrzymaniem i rozbudową infrastruktury wodno-kanalizacyjnej.

Firmy prezentują tu nie tylko gotowe produkty, lecz także prototypy, koncepcje oraz eksperymentalne rozwiązania. To właśnie na Targach WOD-KAN po raz pierwszy światło dzienne ujrzały niektóre z najbardziej przełomowych technologii, które obecnie stanowią integralną część

Zawsze z branżą wod.-kan.

Ostatnie lata, a zwłaszcza ostatnie miesiące, stanowiły dla branży wodno-kanalizacyjnej okres wyjątkowo trudny. W obliczu pandemii COVID-19, konfliktu w Ukrainie, gwałtownych wzrostów cen energii, inflacji, a przede wszystkim problemów z zatwierdzeniem taryf za wodę i ścieki, wiele przedsiębiorstw znalazło się na skraju bankructwa. Ostrzeżenia Izby alarmowały przed możliwym „wodnym blackoutem”, a anulowane lub przełożone inwestycje budziły niepokój co do degradacji infrastruktury i osiągnięć, z których przez trzy dekady byliśmy niezwykle dumni.

Targi WOD-KAN, od zawsze odzwierciedlające kondycję branży, stają się miejscem szczególnie istotnym w obliczu tych trudności. To tutaj, jak w ogromnej



i zmieniają przez lata. Dziękuję także byłym i obecnym pracownikom Izby Gospodarczej „Wodociągi Polskie” za wieloletnie zaangażowanie w organizację wystawy. Ich wysiłek sprawia, że wydarzenie, które jest przecież świętem naszej branży, jest rozpoznawalne nie tylko w Polsce, ale też w sąsiednich krajach.

Wreszcie chciałbym podziękować wszystkim Wystawcom i Uczestnikom, którzy tworzą Targi WOD-KAN. Państwa nieoceniony wkład, pomysły, lojalność i obecność kształtują sukces wydarzenia i napędzają rozwój całej branży wodociągowej. To właśnie Państwa wsparcie przez ostatnie trzy dekady pozwoliło nam

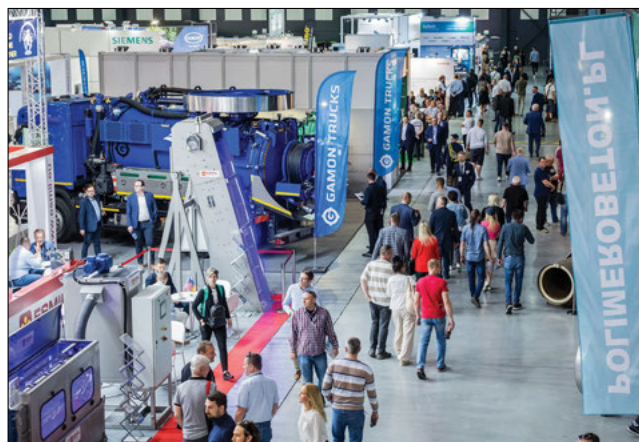


Fot. 1. Dzisiaj targi odbywają się w nowoczesnej hali wystawienniczej

sektora wodno-kanalizacyjnego. Dziedziny, takie jak inteligentne zarządzanie sieciami, efektywnością energetyczną, zaawansowane metody uzdatniania wód czy efektywne systemy oczyszczania ścieków, mogły znaleźć się w centrum uwagi, zyskując uznanie i zastosowanie na szeroką skalę. Długofalowy wpływ Targów WOD-KAN na rozwój technologii wodociągowo-kanalizacyjnych stanowi kluczową cezurę w historii branży, wyznaczając nowe standardy i inspirując do ciągłego doskonalenia.

soczewce, raz do roku widzimy nie tylko stan technologii, ale również wyzwania, z jakimi musi mierzyć się sektor.

Aby uczcić jubileusz 30-lecia Targów WOD-KAN, konieczne jest wyrażenie naszej szczerzej wdzięczności wszystkim, którzy przyczynili się do ich sukcesu – podkreśla prezes Izby Paweł Sikorski. Po pierwsze, dziękuję moim poprzednikom, których wizja, praca i poświęcenie położyły podwaliny pod to niezwykle wydarzenie. Ich niestrudzone wysiłki sprawiły, że bydgoskie targi nadal rozwijają się



Fot. 2. W maju wszystkie drogi wiodą do Bydgoszczy!

wspólnie tak wiele osiągnąć. Dzięki temu, pomimo piętrzących się przed branżą problemów i wyzwań, z nadzieją spoglądamy w przyszłość i doceniamy kluczową rolę, jaką Targi WOD-KAN odgrywają w branży wodociągowej. W tych trudnych czasach WOD-KAN nadal jest symbolem nadziei, odporności i postępu, po prostu świętem nas wszystkich. Do zobaczenia w Bydgoszczy!




Jakub Kucharski,
komisarz Targów WOD-KAN

Targi Jubileuszowe

Bydgoszcz,
27.05 - 29.05.
2024 rok

Zapisz datę



-  15 000 metrów kwadratowych powierzchni wystawienniczej
-  3 dni biznesowych spotkań
-  10 000 zwiedzających

zrejestruj się na:

WWW.TARGI-WOD-KAN.PL



MIĘDZYNARODOWE dla Wodociągów i Kanalizacji
TARGI MASZYN I URZĄDZEŃ | **WOD-KAN**

Przegląd prawny wg Dziennika Ustaw

■ Poz. 317 OBWIESZCZENIE MARSZAŁKA SEJMU RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ z dnia 26 lutego 2024 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o inwestycjach w zakresie elektrowni wiatrowych (Ogłoszone dnia 6 marca 2024 r.)

Art. 9.2. Jeżeli w planie miejscowym, o którym mowa w art. 15 ust. 2 lub ust. 7 pkt 1 ustawy zmienianej w art. 1, przewiduje się lokalizację elektrowni wiatrowej:

2) organ administracji architektoniczno-budowlanej odmawia wydania pozwolenia na budowę, a organ prowadzący postępowanie w sprawie decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach odmawia zgody na realizację przedsięwzięcia, jeżeli inwestycja w zakresie elektrowni wiatrowej nie spełnia wymogu zachowania odległości nie mniejszej niż 700 metrów od budynku mieszkalnego lub budynku o funkcji mieszanej.

■ Poz. 400 ROZPORZĄDZENIE MINISTRA KLIMATU I ŚRODOWISKA z dnia 8 marca 2024 r. w sprawie weryfikacji dotrzymywania wielkości dopuszczalnej emisji z uwzględnieniem niepewności pomiarowej (Ogłoszone dnia 18 marca 2024 r.)

W załączniku podano maksymalne wartości niepewności pomiarowej dla pojedynczego wyniku pomiaru dla: pyłu, SO₂, NO_x, NH₃, HG, HCl, HF, TOC, CO.

■ Poz. 412 OBWIESZCZENIE MARSZAŁKA SEJMU RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ z dnia 26 lutego 2024 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie obiektów energetyki jądrowej oraz inwestycji towarzyszących (Ogłoszone dnia 20 marca 2024 r.)

■ Poz. 425 OBWIESZCZENIE MARSZAŁKA SEJMU RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ z dnia 11 marca 2024 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o Inspekcji Ochrony Środowiska (Ogłoszone dnia 21 marca 2024 r.)

■ Poz. 435 ROZPORZĄDZENIE MINISTRA KLIMATU I ŚRODOWISKA z dnia 18 marca 2024 r. w sprawie wymagań dotyczących sposobu obliczania, pomiarów i rejestracji ilości energii elektrycznej, ciepła i chłodu wytwarzanych w instalacjach odnawialnego źródła energii (Ogłoszone dnia 22 marca 2024 r.)

Rozporządzenie określa:

1) wymagania dotyczące sposobu obliczania, pomiarów i rejestracji ilości energii elektrycznej, ciepła i chłodu wytwarzanych w instalacjach odnawialnego źródła energii wykorzystujących w procesie wytwarzania energii nośniki energii, o których mowa w art. 2 pkt 22 ustawy z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii, zwanej dalej „ustawą”, oraz inne paliwa;

2) sposób dokonywania pomiarów ilości energii elektrycznej na potrzeby ustalenia rzeczywistego rozliczenia obowiązku wytworzenia energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii przez wytwórcę, który wygrał aukcję, o której mowa w art. 72 ust. 1 ustawy, albo aukcję na wsparcie operacyjne, o której mowa w art. 83b ust. 1 ustawy, lub uzyskał zaświadczenie, o którym mowa w art. 70b ust. 8 albo art. 70h ust. 5 ustawy;

3) sposób przeliczania ilości wytworzonego ciepła lub chłodu na ilość energii wyrażoną w MWh;

4) miejsce i sposób dokonywania pomiarów ilości ciepła lub chłodu na potrzeby wydania gwarancji pochodzenia.

Rozporządzenie wchodzi w życie po upływie 7 dni od dnia ogłoszenia.

■ Poz. 473 ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ROZWOJU I TECHNOLOGII z dnia 27 marca 2024 r. w sprawie zmiany rozporządzenia zmieniającego rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego (Ogłoszone dnia 29 marca 2024 r.)

Anuluje się konieczność wykonywania analizy w zakresie rozwiązań technicznych i materiałowych, mających na celu spełnienie wyma-

gań akustycznych w przypadku budynku mieszkalnego jednorodzinnego z dwoma lokalami, budynku mieszkalnego jednorodzinnego w zabudowie szeregowej lub bliźniaczej lub budynku mieszkalnego wielorodzinnego.

Rozporządzenie wchodzi w życie z dniem 1 kwietnia 2024 r.

■ Poz. 474 ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ROZWOJU I TECHNOLOGII z dnia 27 marca 2024 r. w sprawie zmiany rozporządzenia zmieniającego rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Ogłoszone dnia 29 marca 2024 r.)

Po § 56 dodaje się § 56a w brzmieniu: „§ 56a. 1. Lokal użytkowy w budynku posiada powierzchnię użytkową nie mniejszą niż 25 m². 2. Dopuszcza się wydzielanie lokalu użytkowego o mniejszej powierzchni użytkowej, jeżeli znajduje się on na pierwszej lub drugiej kondygnacji nadziemnej i posiada bezpośredni dostęp z zewnątrz budynku. 3. Wymaganie, o którym mowa w ust. 1, nie dotyczy lokali znajdujących się w:

1) budynkach zamieszkania zbiorowego lub budynkach mieszkalnych jednorodzinnych, w których wydzielono lokal użytkowy;

2) budynkach, dla których przed dniem 1 sierpnia 2024 r. została wydana decyzja o pozwoleniu na budowę albo zostało dokonane zgłoszenie budowy, do którego organ administracji architektoniczno-budowlanej nie wniósł sprzeciwu lub zostało wydane zaświadczenie o braku podstaw do wniesienia sprzeciwu, o którym mowa w art. 30 ust. 5aa ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane.”;

§ 85a otrzymuje brzmienie: „§ 85a. 1. W budynku gastronomii, handlu lub usług o powierzchni użytkowej powyżej 1000 m², a także stacji paliw o powierzchni użytkowej powyżej 100 m², wydziela się pomieszczenie dostosowane i przeznaczone wyłącznie do karmienia i przewijania dzieci.

2. W budynku:

1) przeznaczonym na potrzeby administracji publicznej o powierzchni użytkowej powyżej 2000 m²,

2) przeznaczonym na potrzeby kultury, sportu, handlu, usług lub obsługi pasażerów w transporcie kolejowym, drogowym lub lotniczym o powierzchni użytkowej powyżej 10 000 m²,

3) stacji paliw o powierzchni użytkowej powyżej 300 m² zlokalizowanej przy autostradzie lub drodze ekspresowej,

4) przeznaczonym na potrzeby opieki zdrowotnej – wydziela się pomieszczenie dostosowane i przeznaczone do przewijania dorosłych osób ze szczególnymi potrzebami.

3. Pomieszczenie, o którym mowa w ust. 2:

1) posiada powierzchnię użytkową nie mniejszą niż 12 m² i szerokość co najmniej 3 m;

2) posiada wyposażenie umożliwiające przewinięcie dorosłej osoby ze szczególnymi potrzebami w pozycji leżącej;

3) jest zlokalizowane w odległości nie większej niż 20 m od wejścia do budynku, na tej samej kondygnacji co wejście do budynku.

4. Pomieszczenie, o którym mowa w ust. 1 i 2, jest wyposażone w umywalkę.

5. Przepisów ust. 1–4 nie stosuje się do stacji paliw zlokalizowanej na terenie zamkniętym.

6. Dopuszcza się urządzenie pomieszczenia, o którym mowa w ust. 2, w ustępie ogólnodostępnym dla osób niepełnosprawnych, jeżeli dodatkowo spełnia on warunki, o których mowa w ust. 3. 7. Wymaganie, o którym mowa w ust. 2, nie dotyczy budynków, dla których przed dniem 1 sierpnia 2024 r. została wydana decyzja o pozwoleniu na budowę albo zostało dokonane zgłoszenie budowy, do którego organ administracji architektoniczno-budowlanej nie wniósł sprzeciwu lub zostało wydane zaświadczenie o braku podstaw do wniesienia sprzeciwu, o którym mowa w art. 30 ust. 5aa ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane.”;

Rozporządzenie wchodzi w życie z dniem 1 kwietnia 2024 r.

WYKAZ WYDAWNICTWA

Wydawca i Redakcja

**Ośrodek Informacji
„Technika instalacyjna
w budownictwie”
02-674 Warszawa
ul. Marynarska 14
e-mail:
redakcja@informacjainstal.com.pl
wydawnictwo@informacjainstal.com.pl**

**Redaktor Naczelny Janusz Wróblewski
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**

**Przenumerata Jolanta Sobieraj
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
70 pkt. w klasyfikacji MNiSzW dla autorów za publikację**

**Przypisane dyscypliny naukowe: inżynieria środowiska,
górnictwo i energetyka; inżynieria chemiczna; inżynieria
ładowa, geodezja i transport; inżynieria mechaniczna.**

**Znajdujemy się w bazach czasopism:
BazTech, IndexCopernicus, POLONA (dla wersji
elektronicznej) oraz CrossRef – artykuły naukowe
opatrzone są cyfrowym identyfikatorem DOI, który
prosimy podawać w pozycjach literatury.
Współpracujemy z bazą Academia.edu**

1	Poradnik wykonywania instalacji wodociągowych, ogrzewczych i gazowych z rur miedzianych (wyd. III, październik - 2000 r.)	30 zł
2	Katalog Nakładów Rzeczowych - instalacje wodociągowe, gazowe i centralnego ogrzewania z rur miedzianych (wyd. I - 1996 r.)	32 zł
3	Warunki techniczne projektowania, wykonania, odbioru i eksploatacji sieci ciepłowniczych z rur i elementów preizolowanych (wyd. I - 1996 r.)	22 zł
4	Pompy ciepła. Poradnik (wyd. III- marzec 2006 r.)	42 zł
5	Elektryczne akumulacyjne ogrzewanie pomieszczeń (wyd. I- 1998 r.)	20 zł
6	Książka obiektu budowlanego /Zgodna z rozporządzeniem MSWiA/	12 zł
7	Termomodernizacja instalacji w budownictwie przemysłowym i użyteczności publicznej (wyd. I - wrzesień 1999 r.)	32 zł
8	Obiegi wodne i parowe w kotłowniach. Poradnik projektanta. (wyd. I – styczeń 2000 r.)	35 zł
9	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.)	30 zł
10	METROLOGIA mikroklimatu pomieszczenia i środowiskowych wielkości fizycznych. (wyd. I, 2003/2004 Opole)	40 zł
11	TERMODYNAMIKA – Zagadnienia praktyczne w ogrzewnictwie i klimatyzacji (wyd. I 2005 r.)	35 zł
12	WT COBRTI INSTAL Zeszyt 1. Komentarz do normy PN-92/B-01706/AzI:1999 „Zabezpieczenie wody przed wtórnym zanieczyszczeniem” (wyd. I, czerwiec 2001 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	42 zł
13	WT COBRTI INSTAL Zeszyt 2. „Wytyczne projektowania instalacji centralnego ogrzewania” (wyd. I, sierpień 2001 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	53 zł
14	Wymagania techniczne COBRTI INSTAL Zeszyt 3. „Warunki Techniczne wykonania i odbioru sieci wodociągowych” (wyd. I, wrzesień 2001 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	37 zł
15	Wymagania techniczne COBRTI INSTAL Zeszyt 5. „Warunki Techniczne wykonania i odbioru instalacji wentylacyjnych” (wyd. I wrzesień 2002 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	42 zł
16	Wymagania techniczne COBRTI INSTAL Zeszyt 6. „Warunki Techniczne wykonania i odbioru instalacji ogrzewczych” (wyd. I, maj 2003 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	53 zł
17	Wymagania techniczne COBRTI INSTAL Zeszyt 7. „Warunki Techniczne wykonania i odbioru instalacji wodociągowych” (wyd. I, wrzesień 2003 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	48 zł
18	Wymagania techniczne COBRTI INSTAL Zeszyt 8. „Warunki Techniczne wykonania i odbioru węzłów ciepłowniczych” (wyd. I, wrzesień 2003 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	42 zł
19	Wymagania techniczne COBRTI INSTAL Zeszyt 9. „Warunki Techniczne wykonania i odbioru sieci kanalizacyjnych” (wyd. I, wrzesień 2003 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	42 zł
20	Wymagania techniczne COBRTI INSTAL Zeszyt 10. „Wytyczne stosowania i projektowania instalacji z rur miedzianych” (wyd. I, styczeń 2004 r.)	53 zł
21	WT COBRTI INSTAL Zeszyt 11. „Zalecenia do projektowania instalacji ciepłej wody, wentylacji i klimatyzacji minimalizujące namnażanie się bakterii Legionella” (wyd. I, 2005 r.)	42 zł
22	Wymagania techniczne COBRTI INSTAL Zeszyt 12. „Warunki techniczne wykonania i odbioru instalacji kanalizacyjnych” (wyd. I, wrzesień 2006 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	42 zł
23	Wymagania Techniczne. Zeszyt 1” Warunki techniczne wykonania i odbioru instalacji sprężonego powietrza” (wyd. I, grudzień 2012 r.)	53 zł
24	Wymagania Techniczne. Zeszyt 2 „Warunki techniczne wykonania, odbioru i eksploatacji rurociągów preizolowanych w płaszczu osłonowym HDPE układanych bezpośrednio w gruncie” (wyd.I, 2013 r.)	61 zł
25	BIOZ – bezpieczeństwo i ochrona zdrowia na budowie (wyd.I, wrzesień 2006 r.)	37 zł
26	MECHANIKA PŁYNÓW – Wybrane zagadnienia w ujęciu komputerowym (wyd. I 2007 r.)	40 zł
27	Rozliczanie kosztów zużycia ciepła i wody w budynkach. Poradnik Zarządcy Budynku (stan na 01.01.2024 r.)	36 zł
28	LEGIONELLA w instalacjach budynków (wyd. I 2009 r.)	30 zł
29	Jak korzystać z podzielników kosztów ogrzewania. Poradnik użytkownika lokalu (wyd. I, październik 2009 r.)	20 zł
30	Charakterystyka energetyczna budynków + CD (wyd. I, luty 2010 r.)	65 zł
31	Projektowanie instalacji ciepłej wody w budynkach mieszkalnych (wyd. 2011 r.)	63 zł
32	WĘZŁY CIEPLINE w miejskich systemach ciepłowniczych (wyd. II, 2014 r.)	72 zł
33	Racjonalizacja zużycia energii w budownictwie mieszkaniowym (wyd.I, 2016 r.)	68 zł
34	Ogrzewanie podłogowe. Poradnik (wyd. I, 2020 r.)	80 zł
35	Instalacje w budynkach jednorodzinnych. Ogrzewanie, wentylacja, klimatyzacja i przygotowanie ciepłej wody + programy kalkulacyjne (wyd. I 2023 r.)	149 zł

Czasopisma:

Budownictwo i Prawo (kwartalnik)	– prenumerata w 2024 r.	152 zł
INSTAL (miesięcznik)	– prenumerata w 2024 r.:	
	– zwykła	450 zł
	– z CD na koniec roku	480 zł
	– ciągła (z CD na koniec roku)	380 zł
	– półroczna	240 zł
	– z całorocznym dostępem do archiwum	550 zł
	– dla studentów	240 zł
	– elektroniczna	380 zł

Koszty wysłania ponosi wydawca. Do podanych cen doliczamy podatek VAT - dla książek 5%, a dla czasopism 8%. Przy realizacji zamówienia doliczamy koszty wysłania 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
e-mail: wydawnictwo@informacjainstal.com.pl, redakcja@informacjainstal.com.pl**

**Więcej informacji na stronie
www.informacjainstal.com.pl**

INSTAL

Znajdź interesującą Cię książkę
Naszym hasłem jest – Teoria i
praktyka w instalacjach

Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna
w budownictwie”
02-674 Warszawa, ul. Marynarska 14,
pob. nr 397
kom. 601-231-235; 603-975-098

INSTAL

Wszystkie prawa zastrzeżone
Zakład Produkcji Drukarskiej i Graficznej 4000000
ul. Słowackiego 10, 01-644 Warszawa
tel. 22 628 11 11, 22 628 11 12
pob. 10, 01-644 Warszawa, ul. Słowackiego 10, 01-644
2008, 100 000000

Wszystkie prawa zastrzeżone
Zakład Produkcji Drukarskiej i Graficznej 4000000
ul. Słowackiego 10, 01-644 Warszawa
tel. 22 628 11 11, 22 628 11 12
pob. 10, 01-644 Warszawa, ul. Słowackiego 10, 01-644
2008, 100 000000



®

ZPUM

EKSPERT W REALIZACJI
PREIZOLOWANYCH SYSTEMÓW CIEPŁOWNICZYCH



Tysiące kilometrów ułożonych ciepłociągów!



Zakład Produkcyjno Usługowy Międzyrzecz
POLSKIE RURY PREIZOLOWANE Sp. z o.o.



WWW.ZPUM.PL