

# INSTAL

(429)

5

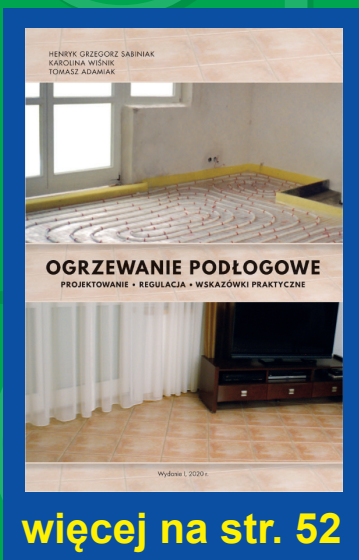
2021

MIESIĘCZNIK

CENA 30 ZŁ + 8% VAT ISSN 1640-8160



Numerus Primus  
inter Pares 2016



więcej na str. 52

## W NUMERZE:

PREDYKCJA ZUŻYCIA CIEPŁA W LOKALU  
MIESZKALNYM

CHARAKTERYSTYKI PROMIENIOWYCH  
SPRĘŻAREK PROCESOWYCH

PRZEPŁYW MIESZANIN GAZU ZIEMNEGO  
I WODORU SIECIĄ RUROCIĄGÓW

ANALIZA BUDOWY SIECI GAZOWEJ  
WYSOKIEGO CIŚNIENIA METODĄ  
WYKOPOWĄ I BEZWYKOPOWĄ

DOPIŁYW WÓD PRZYPADKOWYCH PRZEZ  
WŁAZ STUDZIENKI KANALIZACYJNEJ

SKRZYŻOWANIE PRZEWODÓW  
KANALIZACYJNYCH Z PRZESZKODAMI

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

RUBRYKI STAŁE:

ROZMOWY INSTAL-u

TAM BYLIŚMY

WIADOMOŚCI

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

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

**TRM PIPE SYSTEMS**



**Safe water supply.  
Even in difficult situations.**

Safe, fast and reliable.  
Your complete solution from  
planning to safe water supply.  
[www.trm.at](http://www.trm.at)

- 8** **CIĘPŁOWNICTWO**  
*Grzegorz Bartnicki, Bogdan Nowak*  
Możliwości predykcji zużycia ciepła w lokalu mieszkalnym za pomocą modeli autoregresji  
Possibilities of predicting heat consumption in a dwelling by autoregression models
- 15** **ŹRÓDŁA CIEPŁA I ENERGII ELEKTRYCZNEJ**  
*Konrad Wiśniewski*  
Nowe generacje ogniw krzemowych – technologia TOPCon  
TOPCon technology: The new generation of silicon solar cells
- 18** **SIECI I INSTALACJE GAZOWE**  
*Władysław Kryłłowicz, Kirill Kabatyk*  
Charakterystyki promieniowych sprężarek procesowych  
Performance curves of centrifugal process compressors
- 22**  
*Jolanta Szoplik, Marta Ciuksza*  
Analiza zmian w przepływie mieszanin gazu ziemnego i wodoru sieci rurociągów  
Analysis of changes in the flow of mixtures of natural gas and hydrogen in pipelines network
- 28**  
*Adam Kramża, Florian Piechurski*  
Analiza budowy sieci gazowej wysokiego ciśnienia metodą wykopową i bezwykopową w aspekcie ekonomicznym  
Economic analysis of a high-pressure gas network construction using the excavation and trenchless methods
- 39** **WODOCIĄGI I KANALIZACJA**  
*Martyna Piszczek*  
Innowacyjne rozwiązania GIS ograniczające straty wody  
Innovative GIS solutions to reduce water losses
- 41**  
*Bartosz Bogusławski, Piotr Sobczak, Anna Głowacka*  
Badanie dopływu wód przypadkowych do kanalizacji sanitarnej przez właz studzienki kanalizacyjnej  
Investigation of extraneous water inflow to separated sewage systems by hatch
- 44**  
*Aleksandra Mokrzycka-Olek*  
Skrzyżowania przewodów kanalizacyjnych z przeszkodami  
Sewer ductwork crossings with obstacles
- RUBRYKI STAŁE**
- 4** **Rozmowy Instal-u**  
Wypowiedź Anny Bogdan - Prezes Polskiego Związku Inżynierów i Techników Sanitarnych dla miesięcznika Instal
- 7** **Wiadomości**
- Tam byliśmy**
- 48**  
**51** Dobra energia i moc spotkań! Enex w sieci zakończony sukcesem!  
Rzeczywistość polskiego sektora wodociągowo-kanalizacyjnego w uwarunkowaniach europejskiej polityki zrównoważonego rozwoju – refleksje z e-konferencji Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody – WODA 2020  
Druga edycja studiów podyplomowych Systemy Bezpieczeństwa Zaopatrzenia w Wodę to okazja dla Ciebie

## KATEDRA INŻYNIERII WODY I ŚCIEKÓW POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ W GLIWICACH



zaprasza do wzięcia udziału w XIII Sympozjum Naukowo-Technicznym

## INSTALACJE BASENOWE

które odbędą się w dniach 29.09 do 1.10. 2021 r. w Beskidzie Śląskim

### TEMATYKA SYMPOZJUM

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

- rozporządzeń i norm dotyczących technologii basenowych i warunków sanitarnych,
- rozwiązań funkcjonalnych i budowlanych basenów oraz kąpielisk,
- instalacji do uzdatniania wody basenowej,
- instalacji wod-kan i c.o. w obiektach basenowych,
- rozwiązań urządzeń do ogrzewania wody basenowej,
- wentylacji i klimatyzacji obiektów basenowych,
- planowania i finansowania inwestycji sportowych /basenowych/,
- możliwości pozyskiwania środków dla współfinansowania inwestycji rekreacyjno-sportowych,
- oceny kosztów eksploatacji obiektów basenowych.

Do udziału w sympozjum zapraszamy przedstawicieli środowisk naukowych, projektantów, wykonawców, producentów i eksploataatorów związanych z problematyką instalacji basenowych.

**Zgłoszone referaty będą recenzowane i mogą być publikowane wybranych czasopismach.**

### PROPONUJEMY NASTĘPUJĄCE FORMY UDZIAŁU W SYMPOZJUM:

- uczestnictwo w sympozjum,
- przygotowanie i wygłoszenie referatu,

- przygotowanie i wygłoszenie referatu firmowego,
- prezentacja firmy,
- zamieszczenie ogłoszenia reklamowego w materiałach sympozjum,
- ekspozycja na stoisku firmowym

### KOMITET ORGANIZACYJNY

Anita ZAKRZEWSKA                      anita.zakrzewska@polsl.pl  
Joanna WYCZARSKA-KOKOT            joanna.wyczarska-kokot@polsl.pl  
Anna LEMPART                            anna.lempart@polsl.pl  
Florian PIECHURSKI                      florian.piechurski@polsl.pl

# 24 KONFERENCJA GAZTERM 2021

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

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



PATRONAT HONOROWY  
PREZYDENTA RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ  
ANDRZEJA DUDY

PARTNER GŁÓWNY  
KONFERENCJI

**PGNiG**

BRANŻOWY PARTNER  
KONFERENCJI

**Izba  
Gospodarcza  
Gazownictwa**

PARTNER MERYTORYCZNY  
KONFERENCJI

**DISE  
ENERGY**

PATRON MEDIALNY

**INSTAL**

ORGANIZATOR

studio | **4u**

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

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

# FORUM CIEPŁA i GAZU

**Rola paliw gazowych  
w procesie transformacji  
polskiego ciepłownictwa.**

22-24.06.2021

Warszawa

Airport Hotel Okęcie

PARTNER GŁÓWNY

**PGNiG**

ORGANIZATORZY

**CP** Izba Gospodarcza  
Ciepłownictwo Polskie

studio | **4u**

PARTNER MEDIALNY

**INSTAL**

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

BIURO ORGANIZACYJNE  
studio | 4u, 70-782 Szczecin, ul. Leśna Polana 17  
tel.kom.: +48 607 220 470, +48 602 365 879  
e-mail: biuro@forumcieplaigazu.pl

# Międzyzdroje

12-15 września 2021



Forum Ciepłowników Polskich  
Polish District Heating Forum

## TRANSFORMACJA

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



Izba Gospodarcza  
Ciepłownictwo Polskie

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



## Wypowiedź Anny Bogdan - Prezes Polskiego Związku Inżynierów i Techników Sanitarnych dla miesięcznika Instal

11.12.2020r. wybrano dr hab. inż. Annę Bogdan, profesora w Politechnice Warszawskiej na Prezesa Polskiego Związku Inżynierów i Techników Sanitarnych w kadencji 2020 - 2024. W poprzedniej kadencji Pani Anna Bogdan była Wiceprezes PZITS.

**Gratuluję wyboru i życzę powodzenia w podejmowanych inicjatywach.**

Dziękuję bardzo!

**Jak Pani ocenia obecną sytuację organizacyjno – finansową PZITS?**

Generalnie oceniam sytuację organizacyjno – finansową Zrzeszenia jako stabilną i stwarzającą perspektywy dalszego rozwoju. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych istnieje już od przeszło 100 lat, z tej przyczyny ma bardzo dobrze rozwiniętą strukturę. Oddziały PZITS są obecne w całej Polsce: Białymstoku, Bydgoszczy, Bielsko-Białej, Częstochowie, Gdańsku, Katowicach, Kielcach, Koszalinie, Krakowie, Lublinie, Łodzi, Olsztynie, Opolu, Poznaniu, Rzeszowie, Słupsku, Szczecinie, Tarnowie, Toruniu, Warszawie oraz Wrocławiu. Poprzez połączenie specjalności zawodowych członków PZITS (do Zrzeszenia mogą należeć: projektanci, wykonawcy, naukowcy, urzędnicy, pracownicy służb technicznych, przedstawiciele firm branżowych, studenci) tworzy się unikalna platforma wymiany doświadczenia i wiedzy.

Misją Zrzeszenia jest praca na rzecz społeczeństwa poprzez rozwój inżynierii sanitarnej i inżynierii środowiska służących ochronie zdrowia i środowiska przyrodniczego. Misja ta jest realizowana poprzez rozwijanie techniki i myśli technicznej, szerzenie wiedzy i postępu technicznego w dziedzinach objętych zakresem działania Stowarzyszenia, integracja środowiska, podnoszenie i weryfikacja kwalifikacji zawodowych członków Stowarzyszenia i innych osób w specjal-

nościach Stowarzyszenia oraz stała troska o przestrzeganie zasad etyki zawodowej swoich członków. Mamy zatem jeszcze przed sobą wiele do zrobienia w kolejnych latach, co jest możliwe dzięki wsparciu przeszło 3400 członków należących do PZITS.

**Jakie są plany PZITS na najbliższą przyszłość?**

Będziemy dalej płynąć kursem obranym za poprzedniej kadencji, kiedy to Zarząd Główny PZITS uchwalił „Strategię rozwoju PZITS w latach 2016 – 2024”. Dokument ten stawia przed nami kolejne cele i konkretne zadania organizacyjne, które ogólnie mają służyć podnoszeniu kompetencji naszych członków, ale również pozostałych branżystów zainteresowanych działalnością Zrzeszenia. Część zadań została już zrealizowana za poprzedniej kadencji Zarządu Głównego, część uległa modyfikacji wywołanej pandemią, jednakże generalnie kurs pozostał ten sam. Niezmiennie zostają trzy słowa kluczowe, które przyświecają naszej działalności:

- **Rozwój** - dążymy do ciągłego podnoszenia kwalifikacji zawodowych naszych Członków oraz wzmocnienia ich profesjonalizmu przy zachowaniu najwyższych standardów etycznych.
- **Zaangażowanie** - działamy aktywnie na rzecz tworzenia prawodawstwa umożliwiającego zachowanie zdrowia i komfortowego środowiska zewnętrznego i w budynkach, przy wykorzystaniu najnowszych technologii oraz wyników badań naukowych.
- **Współpraca** - dążymy do współdziałania ze wszystkimi osobami i organizacjami dzielącymi naszą misję.

PZITS organizuje konferencje, szkolenia, seminaria, zarówno poprzez sekcje branżowe przy Zarządzie Głównym, jak i w Oddziałach. W bieżącym roku, w dniach 18-19 listopada odbędą się „III Warsztaty pracy projektanta i rzeczoznawcy instalacji i sieci sanitarnych” (oczywiście w formule online), na które już teraz bardzo serdecznie zapraszamy. Warsztatom będzie towarzyszyć konkurs na najlepszą pracę dyplomową – zachęcamy studentów ostatniego roku, jak również absolwentów do śledzenia profili PZITS w me-

diach społecznościowych, gdzie na bieżąco publikowane są wszystkie informacje.

Od kilkudziesięciu lat jesteśmy aktywnym członkiem International Gas Union oraz REHVA – The Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning associations, która szczególnie w ostatnich miesiącach wspierała działalność inżynierów zajmujących się instalacjami w budynkach, publikując aktualizowane na bieżąco wytyczne dotyczące wentylacji i klimatyzacji w czasach pandemii COVID-19.

Jesteśmy również członkiem - założycielem Porozumienia Branżowego Na Rzecz Efektywności Energetycznej POBE. Porozumienie to aktywnie współpracuje z NFO-ŚiGW oraz branżowym Ministerstwem wspierając oraz inicjując działania na rzecz energooszczędności w budownictwie, a także działania mające na celu wyeliminowanie zanieczyszczenia powietrza zewnętrznego, emitowanego szczególnie przez indywidualne źródła ciepła niskiej jakości.

Zakres działalności PZITS jest bardzo szeroki – aby poznać nas lepiej, zapraszamy do lektury informacji, które znajdują się na naszej stronie internetowej [www.pzits.pl](http://www.pzits.pl)

**W 2001 roku na podstawie ustawy o samorządach zawodowych architektów oraz inżynierów budownictwa została powołana Polska Izba Inżynierów Budownictwa, która przejęła od PZITS zadania (w zakresie inżynierii sanitarnej), między innymi: nadawanie i pozbawianie uprawnień budowlanych, przeprowadzanie egzaminów na te uprawnienia. Używając nomenklatury sportowej był to cios prawie nokautujący dla PZITS – jak obecnie układają się stosunki między tymi organizacjami?**

W Zrzeszeniu nie patrzymy na tę sytuację tak dramatycznie 😊 Oczywiście utworzenie samorządów zawodowych spowodowało zmianę zakresu funkcjonowania PZITS, jednakże nie była to pierwsza zmiana, jaką musiało przejść Zrzeszenie w swojej 100-letniej historii, zatem w zmianach nie widzimy zagrożeń a szansę na lepszą współpracę z naszymi członkami i całym środowiskiem branżystów.

PIIB zrzesza osoby pełniące samodzielne funkcje techniczne w budownictwie, a do

PZITS mogą należeć również osoby, które nie posiadają uprawnień budowlanych, a są mocno związane z naszą branżą. Zatem zakres przynależności do naszego Zrzeszenia jest znacznie szerszy.

Współpraca między Polską Izbą Inżynierów Budownictwa a PZITS układa się bardzo dobrze. Formalne jej ramy stanowi porozumienie, które było aktualizowane w 2020 r. W tym porozumieniu strony wyrażają dalszą chęć współpracy na rzecz środowiska inżynierów m.in. poprzez szerzenie wiedzy o problemach budownictwa oraz rozwoju techniki i jej twórcach, opiniowanie aktów normatywnych dotyczących budownictwa, a także interpretacji przepisów prawa z zakresu budownictwa. Przede wszystkim do kompetencji Zrzeszenia należy przygotowywanie kandydatów ubiegających się o uprawnienia do pełnienia samodzielnych funkcji technicznych w budownictwie poprzez organizowanie kursów przygotowawczych, jak również współpraca z PIIB w zakresie przygotowywania pytań branżowych na pisemne i ustne egzaminy na uprawnienia budowlane.

Bezpośrednia współpraca odbywa się głównie na poziomie Izb Okręgowych i Oddziałów PZITS, których członkowie znają się bezpośrednio i mają wypracowane formy

wspólnego działania wypełniające zarówno misję PZITS, jak i cele PIIB.

**Oprócz funkcji Prezesa PZITS pełni Pani również obowiązki profesora w Politechnice Warszawskiej (Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska) - czy funkcje te nie będą ze sobą kolidowały, chociażby w zakresie „czasowym”?**

Mam szczęście, że zarówno w Politechnice Warszawskiej, jak i w Zrzeszeniu, pracuję w fantastycznych zespołach, w których wspieramy się wzajemnie. Przede wszystkim uważam jednak, że uczelnia i stowarzyszenia naukowo-techniczne to nie są jednostki konkurujące ze sobą a dopełniające swoją działalność. W uczelni kształcimy studentów z pewnych podstaw, które umożliwią im start w praktyce zawodowej, Zrzeszenie natomiast umożliwia edukację ustawiczną i dalszy rozwój młodych ludzi - niejako towarzyszy im od momentu zakończenia studiów przez cały okres kariery zawodowej. Świat inżynierów zmienia się bardzo szybko, począwszy od legislacji koniecznej do zatrzymania zmian klimatycznych na Ziemi, poprzez innowacyjne technologie, ale i również coraz wyższe wymagania samych użytkowników budynków. Słowo „inżynier” pochodzi

z języka francuskiego (ingenieur) i służy do określenia osoby twórczej, otwartej, wynalazcy, a więc osoby ciągle uczącej się, rozwijającej umysłowo. Aby być dobrym inżynierem trzeba ciągle uczyć się i rozwijać zawodo-  
wco, co umożliwia właśnie PZITS.

**Jeżeli można, chciałbym na zakończenie zapytać o Pani zainteresowania poza zawodowe.**

Przyznam, że moim największym zainteresowaniem poza zawodowym jest praca w Zrzeszeniu. Bardzo wierzę w misję PZITS i potrzebę działań, które realizujemy, zatem Zrzeszeniu poświęcam większość czasu po pracy w Uczelni i nie traktuję działalności w Zrzeszeniu jako kolejny obowiązek zawodowy. Dodatkowo w PZITS i dzięki PZITS poznałam wiele fantastycznych osób, część z nich została również moimi przyjaciółmi. Dla mnie działalność w PZITS jest harmonijnym połączeniem rozwoju zawodowego, aktywności społecznej, realizacji zainteresowań osobistych, a także możliwością nawiązywania i rozwijania relacji z ludźmi.

**Dziękuję za rozmowę**

Janusz Wróblewski  
Redaktor Naczelny Instal

## WŁADZE PZITS KADENCJI 2020 – 2024

### Prezes

Anna Bogdan

### Zarząd Główny

#### PREZYDIUM:

Jan Pawełek – wiceprezes (O. Kraków)  
Wojciech Ratajczak – wiceprezes (O. Wielkopolski)  
Paweł Stańczak – wiceprezes (O. Warszawa)  
Adrianna Chmura – sekretarz (O. Rzeszów)  
Sylvia Prabucka – skarbnik (O. Białystok)  
Mariusz Woźniarski – zastępca skarbnika (O. Gdańsk)  
Urszula Jóźwik – członek (O. Białystok)  
Ryszard Dela – członek (O. Olsztyn)

### Członkowie Zarządu Głównego:

Krzysztof Korniak – Figa (O. Kraków)  
Adrianna Chmura (O. Rzeszów)  
Andrzej Pieniążek (O. Kielce)  
Elżbieta Kowalczyk (O. Częstochowa)  
Florian Piechurski (O. Katowice)  
Jan Pawełek (O. Kraków)  
Krzysztof Stelągowski (O. Łódź)  
Mariusz Woźniarski (O. Gdańsk)  
Paweł Stańczak (O. Warszawa)  
Piotr Fryszak (O. Tarnów)  
Ryszard Dela (O. Olsztyn)

Sylvia Prabucka (O. Białystok)  
Urszula Jóźwik (O. Białystok)  
Wojciech Majchrzak (O. Częstochowa)  
Wojciech Ratajczak (O. Wielkopolski)  
Zbigniew Kilanowski (O. Toruń)  
Dariusz Roszak – zastępca członka (O. Częstochowa)  
Lech Margel – prezes (O. Białystok)  
Janusz Bujak – prezes (O. Bydgoszcz)  
Hieronim Spizewski – prezes (O. Bielsko-Biała)  
Zbigniew Cierpiat – prezes (O. Częstochowa)  
Piotr Korczak – prezes (O. Gdańsk)  
Ewa Dworska – prezes (O. Katowice)  
Małgorzata Janiszewska – prezes (O. Kielce)  
Kazimierz Szymański – prezes (O. Koszalin)  
Małgorzata Duma-Michalik – prezes (O. Kraków)  
Tomasz Cholewa – prezes (O. Lublin)  
Bronisław Hillebrand – prezes (O. Łódź)  
Leszek Gryczko – prezes (O. Olsztyn)  
Grzegorz Marczyk – prezes (O. Opole)  
Jan Lemański – prezes (O. Wielkopolskiego)  
Leszek Kaczmarczyk – prezes (O. Rzeszów)  
Tadeusz Bruzda – prezes (O. Słupsk)  
Bartosz Bogusławski – prezes (O. Szczecin)  
Andrzej Fedor – prezes (O. Tarnów)  
Paweł Piotrowiak – prezes (O. Toruń)  
Bogdan Nowak – prezes (O. Warszawa)

Andrzej Dziubek – prezes (O. Dolnośląski)

### Główna Komisja Rewizyjna

Krzysztof Janicka Mazur – przewodnicząca (O. Poznań)  
Maria Duma – zastępca przewodniczącej (O. Kraków)  
Mirosław Lewandowski – sekretarz (O. Gdańsk)  
Alicja Krymska (O. Toruń)  
Alicja Kaczmarczyk (O. Tarnów)  
Jolanta Jagucka – zastępca członka GKR (O. Katowice)

### Główny Sąd Koleżeński

Mikołaj Książkiewicz – przewodniczący (O. Poznań)  
Eliza Mańkowska – zastępca przewodniczącego (O. Warszawa)  
Katarzyna Grabowska – sekretarz (O. Gdańsk)  
Bożena Babiarz (O. Rzeszów)  
Kazimierz Kudlik (O. Kraków)  
Alfred Zgoda – zastępca członka GSK (O. Kielce)

### Delegat PZITS do Rady Krajowej FSNT-NOT

Tadeusz Bruzda (O. Słupsk)  
Andrzej Ślusarczyk – zastępca delegata (O. Tarnów)

# Dobra energia i moc spotkań! Enex w sieci zakończony sukcesem!

**– Warto tutaj być, niezależnie od formy. Enex to zawsze szeroka grupa odbiorców – Michał Łodziński LG. – Cieszymy się, że Targi Kielce wyszły z inicjatywą takiego spotkania i my, jako firmy możemy przedstawić swoją ofertę klientom – Jarosław Wyrzykowski Sunroof. Czy coś podsumuje lepiej targi Enex w sieci niż pozytywne opinie wystawców? Po raz kolejny targi Odnawialnych Źródeł Energii okazały się sukcesem i, choć w zmienionej formie, przyciągnęły zarówno firmy, jak i zwiedzających.**

Rok 2020 był dla branży odnawialnych źródeł energii w Polsce przełomowy. Wzrost sprzedaży zanotowały mikroinstalacje fotowoltaiczne, pompy ciepła cieszą się coraz większym zainteresowaniem wśród konsumentów. Zmiany na rynku odczuwają producenci, dystrybutorzy i instalatorzy. Rok 2021 zapowiada się równie intensywnie, dlatego Targi Kielce postanowiły, mimo pandemii, stworzyć miejsce, gdzie branża będzie mogła zaprezentować swoje produkty, a specjaliści podsumować miniony rok.

Enex w sieci okazał się sukcesem! W wirtualnej odsłonie targów Odnawialnych Źródeł Energii wzięło udział 21 prelegentów reprezentujących największe firmy i stowarzyszenia związane z branżą OZE. Wydarzenie, które odbyło się w dniach 28 – 29 kwietnia br. obejrzało 2228 osób z całej Polski.

## Panele fotowoltaiczne w natarciu

Energetyczne wydarzenie podzielono na trzy bloki tematyczne. Podczas energetycznego talk-show prowadzonego przez dziennikarzystę portalu Globenergia rozma-

wiano między innymi o dalszych losach programu Mój Prąd czy ustawie mocowej. Poruszono także tematy dotyczące przyszłości odnawialnych źródeł energii.

Jednak sercem programu były rozmowy dotyczące nowych urządzeń i rozwiązań dla branży OZE. Ta gałąź gospodarki rozwija się niezwykle szybko, więc odpowiadanie na potrzeby rynku i konsumentów jest niezwykle ważne. Wiedzą to zarówno producenci, jak i instalatorzy, szukający innowacyjnych, ale także wydajnych rozwiązań.

W panelu dotyczącym fotowoltaiki i elektroenergetyki udział wzięli przedstawiciele największych firm. Wśród prelegentów pojawili się m.in. przedstawiciele firm: SolarEdge, SBF Polska PV, Fronius, LG, Corab, Nomitech, Jean Muller, KENO, Sunprofi, Solgen i GoodWe. Jak na targi przystało firmy zaprezentowały premierowe produkty m.in. dachy solarne, ograniczniki przepięć czy bloczki balastowe. Nie obyło się także bez dyskusji. Wśród poruszonych tematów pojawiły się te dotyczące nowych falowników i optymalizacji dla małych dachów oraz nowych serii modułów. Prelegenci dokonali także przeglądu dostępnych konstrukcji, a także sposobów na zabezpieczenie systemów PV przed przepięciami. Rozmawiano również o kodeksach sieciowych NC RfG.

## Nowości na rynku pomp ciepła

Targi Enex w sieci to także pompy ciepła i energooszczędne techniki budowlane. Wśród prelegentów tego panelu pojawili się m.in. Grzegorz Burek (GLOBenergia), Rafał Januskiewicz (Viessman), Małgorzata Smuczyńska (NIBE), Andrzej

Oczko (GALMET), Magdalena Sawicka-Balcerzak (Daikin), Jakub Kapuśniak (DEFRO), Kamil Rosa (Immergas), Damian Błaszczak (AX Technology Sp. z o.o.).

Ekspert debatowali o tym, jakie rozwiązania energetyczne są najbardziej wydajne, a także które z nich przyniosą największe oszczędności w przyszłości. Wyjaśnili także, na czym opiera się praca pomp ciepła oraz, jakimi parametrami kierować się podczas wyboru danego urządzenia.

Zaprezentowano także nowe rozwiązania, takie jak gruntowe pompy ciepła czy pompy typu woda/powietrze, a także magazyny energii.

## Narody dla najlepszych w branży

Tradycją targów są nagrody. Tym razem także ich nie zabrakło. Podczas wydarzenia rozstrzygnięto konkurs „Dobre praktyki w dobrych rękach”, w którym wyróżnia się firmy za najlepsze realizacje energetyczne i ekologiczne w Polsce.

**Statuetkę Enex Award otrzymały produkty, które swoją innowacyjnością zmieniają rynek OZE. W tym roku komisja nagrodziła zarówno rozwiązania dotyczące elektromobilności, jak i fotowoltaiki i pomp ciepła. Wyróżniono urządzenia, ale także podzespoły wpływające na lepsze oraz bardziej wydajniejsze funkcjonowanie produktów.**

Emisja dostępna była na stronach [www.miastoze.pl](http://www.miastoze.pl) oraz [www.targi Kielce.pl/enex](http://www.targi Kielce.pl/enex)

Emisja dostępna była w mediach społecznościowych [www.facebook.com/GLOBenergia](http://www.facebook.com/GLOBenergia) oraz [www.facebook.com/TargiENEX](http://www.facebook.com/TargiENEX) ■



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

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

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

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

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

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

[redakcja@informacjainstal.com.pl](mailto:redakcja@informacjainstal.com.pl), [wydawnictwo@informacjainstal.com.pl](mailto:wydawnictwo@informacjainstal.com.pl)



**Komitet Naukowy oraz Komitet Organizacyjny  
VI Konferencji Naukowej**

**„Bezpieczeństwo energetyczne – filary i perspektywa rozwoju”**  
w imieniu organizatorów:

Instytutu Polityki Energetycznej im. Ignacego Łukasiewicza,  
Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza oraz  
Zakładu Ekonomii Wydziału Zarządzania Politechniki Rzeszowskiej  
im. Ignacego Łukasiewicza  
we współpracy ze Studenckim Kołem Naukowym „Eurointegracja”

**serdecznie zaprasza do zgłaszania udziału  
w VI edycji Konferencji Naukowej**



**Konferencja odbędzie się w dniach 13-14 września 2021 r.  
w formule hybrydowej (stacjonarnej oraz zdalnej – online)  
na Politechnice Rzeszowskiej im. I. Łukasiewicza  
Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów**

Celem wydarzenia jak co roku będzie wniesienie wkładu w dyskusję naukową i ekspercką dotyczącą polityki energetycznej, bezpieczeństwa energetycznego oraz szeroko pojętego sektora energii.

Planujemy, aby tematyka VI edycji Konferencji stanowiła kontynuację podjętej we wcześniejszych edycjach dyskusji naukowej o polityce dostaw gazu ziemnego, ropy naftowej i wodoru, elektromobilności, energetyce wiatrowej offshore, cyberbezpieczeństwie i bezpieczeństwie informacji w sektorze energetycznym, stabilności systemów zaopatrzenia w energię, surowce i paliwa w aspekcie współczesnych zagrożeń sabotażowych i terrorystycznych, energetyce jądrowej, odnawialnych źródłach energii, nowych technologiach w sektorze energetycznym, a także rozpoczęcie dyskusji na temat usług elastyczności i wirtualnych elektrowni.

W poprzednich pięciu edycjach Konferencji udział wzięło **1 tys. uczestników** reprezentujących **50 ośrodków naukowych**, około **4 tys. studentów** oraz blisko **140 tys. internautów**.

Gościliśmy wielu przedstawicieli administracji publicznej, a także reprezentantów spółek energetycznych.

> Wideo-podsumowanie V Konferencji (2020)

Zapraszamy do przysyłania formularzy zgłoszeniowych zawierających abstrakt referatu/wystąpienia, posteru naukowego. Prosimy też o zgłoszenia stacjonarnego udziału biernego (bez wystąpienia).

Formularz zgłoszeniowy:

[www.institutpe.pl/konferencja2021/formularz-zgloszeniowy-2021](http://www.institutpe.pl/konferencja2021/formularz-zgloszeniowy-2021)

Zgłoszenia przyjmujemy do **23 sierpnia 2021 r.** – czynny udział stacjonarny lub online oraz do **10 września 2021 r.** – bierny udział stacjonarny.

Artykuły naukowe przygotowane przez uczestników konferencji zostaną opublikowane w **punktowanych czasopismach naukowych**, po otrzymaniu pozytywnych recenzji naukowych.

[www.institutpe.pl/konferencja2021/publikacja-artikulow-2021](http://www.institutpe.pl/konferencja2021/publikacja-artikulow-2021)

Biorąc pod uwagę sytuację epidemiologiczną, **planujemy ponownie zastosować środki ostrożności**, które obowiązywały w trakcie ubiegłorocznego wydarzenia. Podczas VI Konferencji użyte zostaną m.in. **bezdotykowy czynniki pomiaru temperatury, ozonowanie przekazywanych dokumentów, cyrkulacja powietrza dzięki systemowi wentylacji nawiewno-wywiewnej** czy dezynfekcja dłoni dzięki **licznym stanowiskom dezynfekcyjnym**. W przypadku konieczności planujemy ponownie zastosować **roboty mobilnego z lampami sterylizującymi UV-C**.

> Wideo-podsumowanie – Zabezpieczenia V Konferencja (2020)

**Patronat honorowy udzieliły m.in.:** Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, Narodowa Agencja Poszanowania Energii, Polska Izba Magazynowania Energii, Komisja ds. Energii, Klimatu i Aktywów Państwowych, Przewodniczący Komisji Gospodarki i Rozwoju, Komisja Cyfryzacji, Innowacji i Nowoczesnych Technologii, Wojewoda Podkarpacki, Rektor Politechniki Rzeszowskiej im. I. Łukasiewicza.

**Patronat medialny nad VI Konferencją objęli m.in.:** Polska Agencja Prasowa Biznes, BiznesAlert.pl, Centrum Informacji Rynku Energii (cire.pl), Polskie Radio Rzeszów S.A., Green-News.pl, WysokieNapiecie.pl, Biomasa, ISBnews, GlobEnergia.pl, Portal Stoczniowy, GospodarkaPodkarpacka.pl, Miesięcznik Instal, Energetyka, Napędy i Sterowanie, Wiadomości Naftowe i Gazownicze, CNG-LNG.pl, Nowa Energia, Smart-Grids.pl, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Energetyka Wodna, Gazeta Politechniki, Mój Rzeszów, Radio Centrum, TVP3 Rzeszów, Forum Polskiej Gospodarki, Warsaw Institute Review, Gram w zielone, Wprost.

**Szczegółowe informacje o Konferencji znajdują się na stronie internetowej:**

[www.institutpe.pl/konferencja2021](http://www.institutpe.pl/konferencja2021)

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

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

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

**Książkę wydał i rozpowszechnia:**

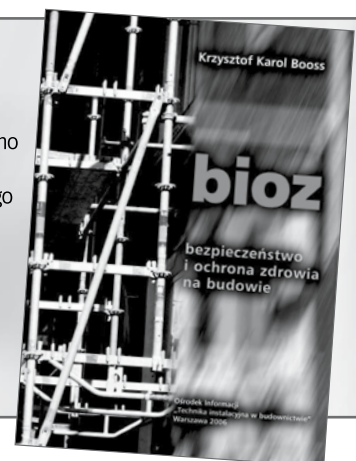
**Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”**

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

**e-mail: [redakcja@informacjainstal.com.pl](mailto:redakcja@informacjainstal.com.pl)**

**[www.informacjainstal.com.pl](http://www.informacjainstal.com.pl)**

**Cena książki 35 zł + VAT**



# Możliwości predykcji zużycia ciepła w lokalu mieszkalnym za pomocą modeli autoregresji

Possibilities of predicting heat consumption in a dwelling by autoregression models

GRZEGORZ BARTNICKI, BOGDAN NOWAK

DOI 10.36119/15.2021.5.1

W artykule opisano możliwości wykorzystania modeli ARIMA i XGBoost do predykcji zużycia ciepła w mieszkaniach budynku wielorodzinnego. W oparciu o dane pomiarowe zużycia ciepła w mieszkaniach dwóch zespołów budynków z okresu 2016-2020 opracowano modele ARIMA i XGBoost do predykcji zużycia ciepła w okresach miesięcznych, a do obliczeń wykorzystano środowisko R. Wyniki zaprezentowano w artykule dla wybranych mieszkań w postaci tabelarycznej i rysunków. Stwierdzono, że modele ARIMA wykazują dużą dokładność, nie są jednak skuteczne w przypadku gwałtownych zmian pojedynczych obserwacji. Do zastosowań opisanych w artykule wymagają też jeszcze dalszych badań. XGBoost jest algorytmem znacznie bardziej zaawansowanym, a w konsekwencji istnieje znacznie więcej parametrów modelu, które należy ustawić i później zoptymalizować. Ten aspekt będzie przedmiotem dalszych prac badawczych, gdyż pomimo oczekiwania takiego rezultatu, wykorzystanie tego algorytmu nie dało dużo lepszych przybliżeń wyniku do wartości rzeczywistych niż modele ARIMA.

*Słowa kluczowe: sztuczna inteligencja, uczenie maszynowe, modelowanie predykcyjne*

The article describes the possibilities of using the ARIMA and XGBoost models to predict heat consumption in dwellings in a multi-family building. Based on the measurement data from the period 2016-2020 of heat consumption in dwellings in two building complexes, ARIMA and XGBoost models were developed to predict heat consumption in monthly periods, and the R environment was used for the calculations. The results are presented in the article for selected apartments in the form of tables and figures. ARIMA models were found to be good, but not effective for rapid changes in single observations. The applications described in the article also require further research. XGBoost is a much more advanced algorithm, and consequently there are many more model parameters that need to be set and optimized later. Therefore, this aspect will be the subject of further research, because despite the expectation of good results, the use of this algorithm did not give much better prediction for rapid changes than the ARIMA models.

*Keywords: artificial intelligence, machine learning, predictive modeling*

## Wstęp

W warunkach klimatu Polski budynki wymagają wyposażenia w instalację grzewczą, zapewniającą odpowiednie warunki temperaturowe w okresie obniżonej temperatury powietrza zewnętrznego. Systemy zaopatrzenia w ciepło wykorzystują w tym celu zasoby energii pierwotnej, co z jednej strony stwarza określoną presję na środowisko, wyczerpując jego zasoby, z drugiej generuje koszty dla użytkowników tego systemu. Nadchodzące lata zapowiadają kolejne zmiany prowadzące do zmniejszania śladu węglowego, znaczącej redukcji zużycia energii, rezygnacji ze spalania węgla, wdrażania nowych technologii, wykorzystania na

szeroką skalę odnawialnych źródeł energii oraz przede wszystkim zmiany myślenia o środowisku i człowieku jako jednym z jego elementów i współużytkowników, a nie jedynym eksploatatorze bogactw naturalnych i środowiska [2, 3, 10, 12, 16]. Temu celowi służyć ma też poprawa efektywności energetycznej. W społeczeństwie, w którym wycofano z obiegu dopiero w 1996 r. (czyli tylko 25 lat temu) bilety Narodowego Banku Polskiego wg wzoru z 1948 r. o nominale 100 zł (wprowadzone do obiegu po wymianie złotego w 1950 r.), na których na rewersie kilkanaście dymiących kominów miało świadczyć o kierunku dynamicznego rozwoju polskiej gospodarki opartej na spalaniu węgla (mierzonego w tamtych czasach

m.in. ilością zużytej energii i rosnącym wydobyciem węgla przez polskie kopalnie), obecną sytuację i wyzwania stawiane na najbliższe lata należy nazwać rewolucją energetyczną, nie tylko dla przedsiębiorstw wykorzystujących lub produkujących energię czy jej nośniki, ale również dla społeczeństwa, które nie zawsze jeszcze zauważa problem konieczności szybkiej transformacji energetycznej. Nie w pełni też został wykorzystany czas na zmiany ewolucyjne, przy których łatwiej zapanować nad siłami inercji. Z punktu widzenia mieszkańców budynków jako końcowych użytkowników energii, problem ten w ostatnim roku został przysłonięty przez epidemię wywołaną przez wirus SARS-Cov-2, a częściowo przez

dr inż. Grzegorz Bartnicki – Katedra Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza, Politechnika Wroclawska, <https://orcid.org/0000-0002-4482-6950>; e-mail: [grzegorz.bartnicki@pwr.edu.pl](mailto:grzegorz.bartnicki@pwr.edu.pl)

dr inż. Bogdan Nowak – Katedra Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza, Politechnika Wroclawska, <https://orcid.org/0000-0002-9764-5555>; e-mail: [bogdan.nowak@pwr.edu.pl](mailto:bogdan.nowak@pwr.edu.pl)

działania osłonowe mające na celu ograniczenie wzrostu cen energii elektrycznej, jak również przez spadek popytu na energię i paliwa wywołany epidemią. Problem będzie jednak coraz bardziej zauważalny we wszystkich dziedzinach gospodarczych i społecznych, ze względu na powszechność korzystania z energii i jej nośników. Początkowy brak dużego tempa zmian ma również dobre strony, gdyż można w ten sposób wykorzystać doświadczenia wdrożone w innych krajach czy regionach i ustrzec się ich błędów oraz trudności towarzyszących fazie badań i pilotażu.

Zaistniałe w tych okolicznościach potrzeby w świecie techniki i technologii prowadzą do różnego typu działań korzystających zarówno z dotychczasowych zasobów wiedzy, doświadczeń, dobrych praktyk [1, 13, 16, 18, 22], jak też przede wszystkim skłaniają do rozwoju wiedzy, wdrażania innowacji, tworzenia nowych narzędzi analitycznych czy służących poznawaniu i przewidywaniu rzeczywistości. Zauważając ten problem do systemów zaopatrzenia w ciepło budownictwa mieszkaniowego (które ma znaczący udział w krajowym zużyciu energii i emisji CO<sub>2</sub>) coraz większe znaczenie będą mieć narzędzia prognostyczne, wykorzystujące różnego typu algorytmy analizy danych historycznych i bieżących, umożliwiające prognozowanie zapotrzebowania na ciepło w różnej perspektywie czasowej [5, 7, 9, 19, 21]. W perspektywie transformacji systemów zaopatrzenia w ciepło (systemów ciepłowniczych) 2-giej i 3-ciej generacji (3GDH) w rozwiązania zero lub niskoemisyjne 5-tej a przynajmniej 4-tej generacji (4GDH, 5GDHC) [3, 13] niezbędne będą narzędzia prognostyczne wspomagające np. akumulację ciepła odpadowego, które będzie mogło być w ten sposób efektywnie wykorzystane czy transfer ciepła pomiędzy obiektami należącymi do tego samego systemu. Również tego typu narzędzia są przydatne do diagnozowania stanów awaryjnych, szukania możliwości oszczędzania energii czy zarządzania popytem. Z wyników badań [4] wynika, że w badanym przez tego Autora osiedlu zużycie ciepła przez mieszkania jest dwukrotnie większe niż wynikałoby to z teoretycznych obliczeń. Predykcja zużycia ciepła w poszczególnych lokalach czy całym budynku może zarówno służyć do doskonalenia układów sterowania pracą źródła ciepła, sygnalizować nieprawidłowości w systemie lub wskazywać tych użytkowników i te instalacje, które są odmienne, niekoniecznie z powodu uwarunkowań ustalanych przez ich

użytkownika, ale również może w efekcie niepoprawnego ich działania, prowadzącego do obniżenia efektywności energetycznej. Autor [25] podkreślił, że prognozy o charakterze naukowym muszą opierać się na dobrze sformułowanych teoriach i poddawać się falsyfikacji poprzez empiryczną weryfikację.

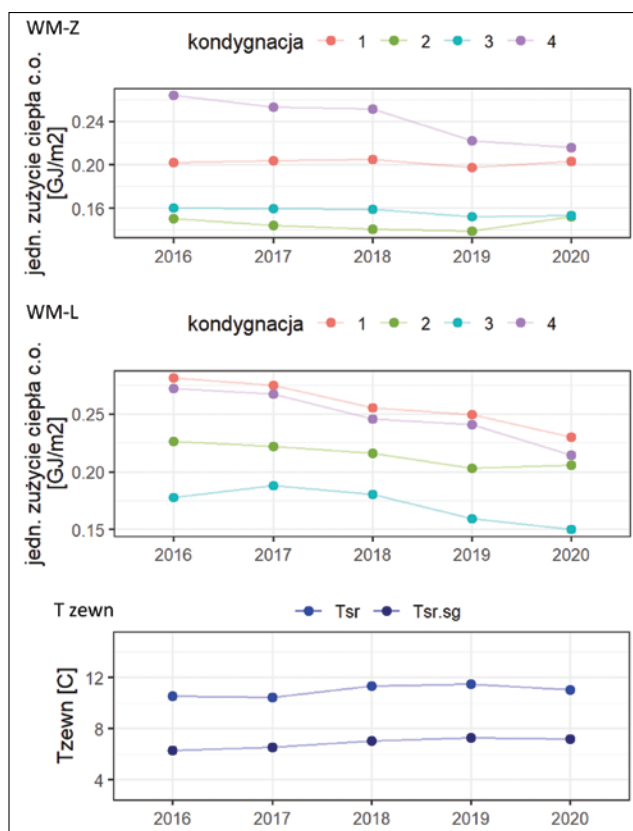
### Składnik stochastyczny w rzeczywistym zużyciu ciepła

Modele wykorzystywane do obliczania (chwilowego) zużycia ciepła wiążą tę wielkość z konstrukcją przegród budowlanych, ich powierzchnią oraz warunkami wewnętrznymi reprezentowanymi przez temperaturę powietrza wewnętrznego (zakładając brak ich zindywidualizowania) oraz warunkami pogodowymi zredukowanymi do temperatury zewnętrznej. Norma [23], która opisuje metody obliczania strat ciepła oraz sposób obliczenia zapotrzebowania na moc cieplną dla typowych przypadków w warunkach projektowych nie uwzględ-

Obecnie obserwuje się nie tylko postawy zmierzające do ograniczenia zużycia ciepła (a w konsekwencji kosztów), ale również oczekiwania dokładnie odwrotne – możliwość zapewnienia warunków podwyższonego komfortu cieplnego, co najczęściej przyjmuje formę utrzymania wyższej niż projektowa wartość temperatury powietrza wewnętrznego czy oczekiwania wydłużenie sezonu grzewczego [6] na cały rok, lub przynajmniej zapewnienie długiego okresu przejściowego, umożliwiającego korzystanie z ogrzewania w okresach, w których ono jest już wyłączane. Decydowanie przez użytkowników ogrzewania o warunkach jego działania (nie zawsze nawet świadome) prowadzi do znacznego zindywidualizowania zużycia ciepła zarówno w zakresie wielkości, jak i profilu (dobowego, miesięcznego i rocznego) zużycia ciepła na potrzeby ogrzewania pomieszczeń oraz ograniczenia powiązania tych wielkości z warunkami zewnętrznymi [1, 4, 5, 6, 17]. We współczesnych budynkach mieszkalnych,

**Rys. 1**  
Średnie jednostkowe zużycie ciepła [GJ/m<sup>2</sup>] w latach 2016-2020 (zasoby WM – L i WM – Z) dla lokali mieszkalnych zlokalizowanych na poszczególnych kondygnacjach oraz średnia temperatura zewnętrzna (1) dla całego roku; (2) tylko dla okresu sezonu grzewczego (styczeń-maj, październik-grudzień)

**Fig. 1.** Average unit heat consumption [GJ / m<sup>2</sup>] in 2016-2020 (for the building complexes WM – L and WM – Z) for dwellings located on different floors and the average outside temperature (1) for the whole year; (2) for the heating season (January-May, October-December)



nia zysków ciepła, jak było to w sposób pośredni i mocno uproszczony przyjęte np. w poprzedzającej ją normie [24], czy też innych czynników wpływających na działanie systemu zaopatrzenia w ciepło. Rzeczywiste zużycie ciepła jest procesem znacznie bardziej skomplikowanym, na który wpływ ma szereg czynników, w tym indywidualne preferencje i oczekiwania.

które spełniają wymagania aktualnych warunków technicznych lub w budynkach starszych, które zostały poddane termorenowacji, wpływ na zużycie ciepła zarówno lokalu, jak też całego budynku, poza temperaturą powietrza zewnętrznego, mają także inne parametry, takie jak zyski ciepła od nasłonecznienia, urządzeń AGD, osób korzystających z lokalu, zwierząt

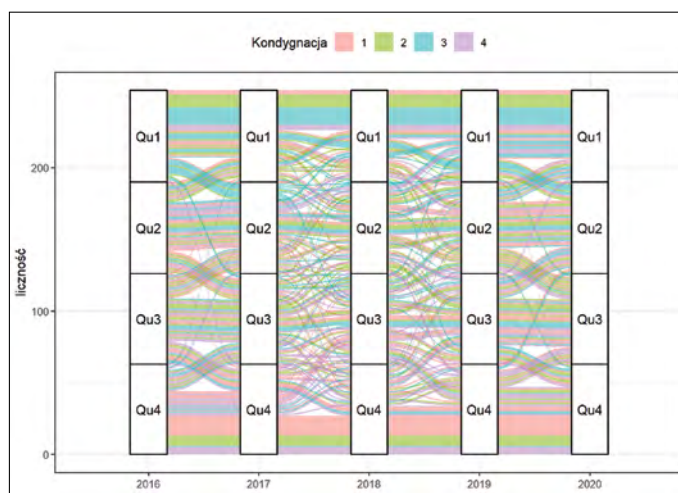
itp., sposób użytkowania lokalu, wyposażenie w dodatkowe instalacje i urządzenia (chłodzenie, oczyszczanie powietrza) i inne. Te czynniki mają również charakter losowy, tak jak warunki atmosferyczne występujące w danym okresie roku. Od marca 2020 r. na bilans energii w budynkach mieszkalnych wpływ ma również stan epidemii COVID-19. Lockdown, nauka i praca zdalna spowodowały zwiększenie liczby osób przebywających w budynku, szczególnie w okresie przedpołudniowym. Jest to widoczne w zużyciu ciepła w postaci ciepłej wody, ale również na cele ogrzewania. Należy jednak też mieć na uwadze, że część społeczeństwa (pracownicy handlu, służby zdrowia, służby mundurowe itp.) pracuje wg niezmiennych prawie zasad.

Na rys. 1 przedstawiono średnie jednostkowe zużycie ciepła wyznaczone w oparciu o pomiary przeprowadzone w dwóch grupach budynków mieszkalnych (WM-L i WM-Z) zlokalizowanych we Wrocławiu, w zależności od kondygnacji, na której znajduje się mieszkanie. Pod pierwszą kondygnacją mieszkalną (1) znajduje się nieogrzewany garaż podziemny, nad ostatnią – docieplony stropodach. Pomiary przeprowadzone zostały na przestrzeni 5 lat w mieszkaniach zlokalizowanych w zasobach wspólnot mieszkaniowych znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie. Dodatkowo, na rys. 1 zamieszczono średnie wartości temperatury zewnętrznej, które zostały określone w oparciu o dane IMGW-PIB pochodzące ze stacji meteorologicznej zlokalizowanej najbliżej osiedla, którego dotyczą badania. Pomimo zauważalnego wzrostu średniej temperatury zewnętrznej w 2018 r. w porównaniu z 2017 r., w zasobach wspólnoty WM-Z spadek jednostkowego zużycia ciepła obserwuje się wyłącznie dla kondygnacji 2. W zasobach WM-L widoczny jest spadek dla mieszkań na wszystkich kondygnacjach, choć w różnej skali. Warto również zauważyć, że w 2020 r. w zasobach WM-L dla kondygnacji 2. nastąpił wzrost średniego jednostkowego zużycia ciepła, podczas gdy dla pozostałych zauważalny jest spadek. Jak zaproponowano to w [5], w budynku mieszkalnym zasadne jest i możliwe wyodrębnienie grup mieszkań jednorodnych, dla których obserwowane w czasie zmiany zużycia ciepła mają podobny charakter. W mieszkaniach ujętych w grupie mieszkań jednorodnych występowało inne zużycie ciepła wyrażone w jednostkach bezwzględnych, jednak przebieg zmienności (profil zużycia) był zbliżony. Podział na takie grupy uwzględnia kondygnację, na której znajduje się mieszkanie,

wielkość mieszkania, liczbę pokoi, preferencje mieszkańców w zakresie utrzymywanej temperatury wewnętrznej, a nawet warunki termiczne utrzymywane w sąsiadujących z nim mieszkaniach. Zapewnia równocześnie zgromadzenie większej liczby danych do analizy trendu zmian, utwierdzając w ten sposób predykcję zużycia ciepła pojedynczego mieszkania (np. w przypadku stwierdzenia awarii ciepłomierza) [5].

W oparciu o zgromadzone dane przeprowadzona została analiza trendu ("skłonności") użytkowników poszczególnych mieszkań do ograniczenia lub nadmiernego zużycia ciepła na cele ogrzewania i stabilności tej cechy w kolejnych latach. Wykorzystano w tym celu analizę kwantyli sumarycznego zużycia ciepła w sezonie. Najpierw uporządkowano zbiór mieszkań w kolejności od najmniejszego zużycia ciepła do największego i zbadano następnie przynależność każdego lokalu do poszczególnych kwantyli w kolejnych latach (Qu1: 0-25%, Qu2: 25-50%, Qu3: 50-75%, Qu4: 75-100%). W ten sposób, wykorzystując dane pomiarowe z lat 2016-2020 dla obu zespołów budynków mieszkalnych (ZM-L i ZM-Z) przeprowadzone zostało badanie stopnia zindywidualizowania zużycia ciepła na cele ogrzewania w poszczególnych mieszkaniach, odseparowując go od warunków pogodowych. Wyniki tej analizy graficznie przedstawiono na rys. 2. Zauważyć można, że lokale „bardzo oszczędne” (Qu1 2016) trafiły w kolejnym roku do grupy „oszczędne” (Qu2 2017), a nawet do grupy „podwyższone zużycie” (Qu3 2017). W kolejnych latach taka zmienność jest również obserwowana. Istnieje jednak przede wszystkim spora grupa lokali, które przez cały okres badań pozostawały w zbiorze „oszczędnych” (Qu1) i takich, które pozostawały w zbiorze „duże zużycie” (Qu4).

**Rys. 2**  
Migracja mieszkań pomiędzy wyodrębnionymi kwantylami Q1-Q4 w latach 2016-2020 (zasoby WM - L) z zaznaczeniem kondygnacji, na której zlokalizowane jest mieszkanie  
*Fig. 2 Migration of dwellings between the separated quantiles Q1-Q4 in 2016-2020 (building complex WM - L) with the floor on which the dwelling is located*



Zarówno wyniki analizy przedstawione na rys. 1, jak i na rys. 2 potwierdzają, że w badanych zespołach budynków mieszkalnych zużycie ciepła na potrzeby ogrzewania pomieszczeń w znacznym stopniu zależy od indywidualnych oczekiwań użytkowników, a powiązanie tej wielkości z warunkami pogodowymi (temperaturą zewnętrzną) – choć wciąż bardzo istotne – podlegać może pewnemu ograniczeniu (tym bardziej, im ta temperatura jest wyższa [6]). Można też w tych budynkach wyodrębnić grupy mieszkań, w których zużycie ciepła ma podobny charakter. Dopuszczenie takiej możliwości pozwala na wykorzystanie większej liczby danych dla predykcji zużycia ciepła pojedynczego mieszkania niż gdyby tylko korzystać z jego danych [5].

Odrębnym zagadnieniem jest model, który może być wykorzystany do predykcji zużycia ciepła na ogrzewanie w mieszkaniu budynku wielorodzinnego. Rozwój technik komputerowych i narzędzi matematycznych udostępnił różne pakiety obliczeniowe wykorzystujące bardziej lub mniej złożone algorytmy. Wybór modelu i jego parametrów zależy też od charakteru opisywanego zjawiska, jak i rodzaju danych wykorzystywanych do obliczeń. Aby porównać te możliwości, wykorzystano do obliczeń środowisko R oraz modele ARIMA i XGBoost.

## ARIMA – dane historyczne jako szereg czasowy

Modele ARIMA są autoregresyjnymi zintegrowanymi modelami średniej ruchomej do prognozowania szeregów czasowych. Składają się z procesu autoregresyjnego (AR), gdzie każda wartość jest liniową kombinacją poprzednich wartości), procesu średniej ruchomej (MA) i stopnia integracji (I). Przy predykcji dane są traktowane jako szereg czasowy. Głównym źródłem informacji są dane historyczne uporządkowane

w czasie. Modele ARIMA umożliwiają wprowadzenie dodatkowych regresorów, np. temperatury zewnętrznej czy wielkości zużycia z mieszkań podobnych.

Modele tego typu znajdują z powodzeniem zastosowanie w prognozowaniu również innych mediów, jak choćby zużycie c.w. [11] czy pobór paliwa gazowego [7].

W ramach badań opracowane zostały trzy modele ARIMA. W pierwszym (oznaczonym jako Predict.1) wprowadzono dodatkowe regresory w postaci zużycia ciepła w pięciu mieszkaniach podobnych. O stopniu podobieństwa decydowała wartość współczynnika korelacji wyznaczona dla zdekomponowanych szeregów czasowych. W modelu tym również została zastosowana transformacja Boxa-Coxa, przy czym wybór wartości  $\lambda$  opierał się na wizualnej ocenie dopasowania modelu do zbioru uczącego. W przyszłych badaniach planowane jest rozwinięcie zagadnienia wyboru najkorzystniejszej wartości  $\lambda$ .

W drugim modelu (oznaczonym jako Predict.2) pominięto regresory zewnętrzne, zaś transformacja Boxa-Coxa przeprowadzona była z tymi samymi parametrami jak w modelu pierwszym (Predict.1).

Ostatnie rozwiązanie (oznaczone jako Predict.3) to najprostszy model ARIMA, przy czym zrezygnowano zarówno z transformacji danych wejściowych, a także z regresorów zewnętrznych.

W wszystkich trzech modelach szereg czasowy został zdefiniowany z sezonowością roczną, a wybór parametrów modelu ARIMA ( $p$ ,  $q$ ,  $d$ ) został przeprowadzony w oparciu o algorytm automatycznego wyznaczania tych parametrów. Wszystkie analizy zostały wykonane w środowisku R, modele obrazowano stosując pakiet *features*.

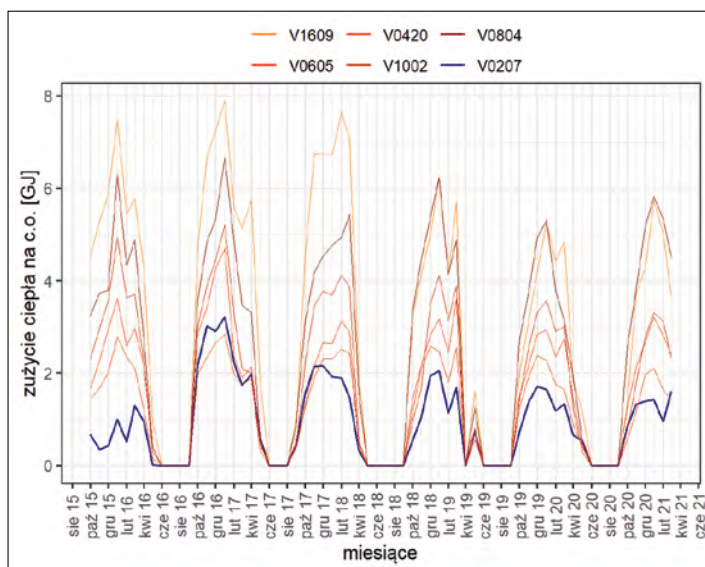
**Tab. 1** Rzeczywiste i prognozowane zużycie ciepła w trzech okresach rozliczeniowych (miesiącach) uzyskane w oparciu o różne modele ARIMA

**Tab. 1.** Real heat consumption and forecast in three periods (months) obtained on the basis of various ARIMA models

Ozn	Okres	Rzeczywiste zużycie ciepła [GJ]	Wartości przewidywane w oparciu o Predict.1 [GJ]	Wartości przewidywane w oparciu o Predict.2 [GJ]	Wartości przewidywane w oparciu o Predict.3 [GJ]	Dokładność najlepszej predykcji
V0624	01.2021	1,3	1,35	1,17	<b>1,32</b>	2%
	02.2021	0,91	1,26	0,76	<b>0,85</b>	-7%
	03.2021	0,82	<b>0,65</b>	0,54	0,6	-21%
V0803	01.2021	3,29	3,39	2,94	<b>3,35</b>	2%
	02.2021	3,15	<b>2,8</b>	2,5	2,63	-11%
	03.2021	2,91	2,31	2,62	<b>3,03</b>	4%
V1621	01.2021	3,82	3,25	3,6	3,62	-5%
	02.2021	1,67	2,77	2,35	<b>2,35</b>	41%
	03.2021	0,4	2,02	<b>1,96</b>	1,96	390%
V0207	01.2021	1,42	1,84	<b>1,6</b>	1,88	12%
	02.2021	0,94	1,54	<b>1,06</b>	1,17	13%
	03.2021	1,6	1,2	1,22	<b>1,54</b>	-4%

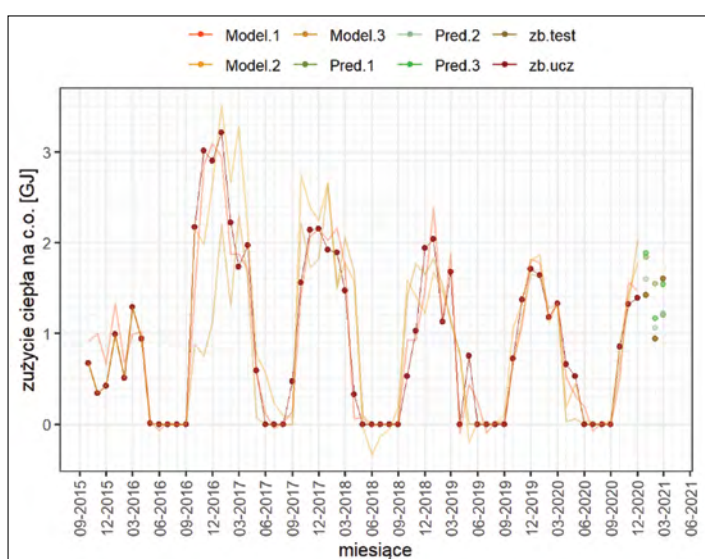
**Rys. 3** Porównanie wybranego mieszkania (V0207) z mieszkaniem należącym do tej samej kategorii

**Fig. 3** Comparison of the selected apartment (V0207) with apartments belonging to the same category of heat consumption profile for central heating



**Rys. 4** Trzy warianty modeli ARIMA dla wybranego mieszkania (V0207) wraz z wynikami predykcji

**Fig. 4** Three variants of ARIMA models for a selected apartment (V0207) with prediction results



Dodatkowo zestawiono jeszcze summaryczne zużycie ciepła w okresie trzech miesięcy (dla których opracowane były

prognozy) z wynikami uzyskanymi z modeli predykcyjnych. I tak:

- V0624 – najlepsze dopasowanie modelem Predict.1 – dokładność 7%,
- V0803 – najlepsze dopasowanie modelem Predict.3 – dokładność – 4%,
- V1621 – najlepsze dopasowanie modelem Predict.2 – dokładność 34%,
- V0207 – najlepsze dopasowanie modelem Predict.2 – dokładność – 2%.

Dokładność modeli dla okresu 2-3 miesięcy można uznać za dobrą, a nawet bardzo dobrą. Od modeli tego typu trudno zresztą oczekiwać, aby uzyskano prognozę równą wartości rzeczywistej. Dla pojedynczego mieszkania jest to trudne, gdyż czynniki losowe mogą powodować znaczące zmiany warunków użytkowania mieszkania czy zachowań lokatorów. O ile też postawiony cel badawczy ma swoje uzasadnienie, trudno uzasadnić potrzebę tak trafnych prognoz dla pojedynczego mieszkania, nawet dla zastosowań opisanych w [5]. Systemem zaopatrzenia w ciepło wielorodzinne

budynku mieszkalnego rozpatrywany zawsze jest jako całość, a w takiej skali osiągnięta dokładność wydaje się wystarczająca.

Modele ARIMA wykazują dużą dokładność, nie są jednak skuteczne w przypadku gwałtownych zmian pojedynczych obserwacji, co uwidoczniło się na przykładzie mieszkania V1621. W dalszych badaniach należy rozważyć celowość ustalania prognozowanego zużycia ciepła w oparciu o średnią lub średnią ważoną z wyników uzyskanych z poszczególnych modeli. Wartościowe będzie również zaproponowanie procedury wyboru stopnia skomplikowania modelu ARIMA. Wstępne analizy wskazują, że istotnym czynnikiem wpływającym na wybór może być wartość współczynnika korelacji dla mieszkań podobnych. Na tym etapie badań i w oparciu o uzyskane wyniki, można wstępnie już stwierdzić, że zwiększanie liczby mieszkań podobnych w macierzy regresorów zewnętrznych powyżej 5 nie przynosi istotnej poprawy prognoz.

### XGBoost – zaawansowane narzędzie

XGBoost (Extreme Gradient Boosting), który jest pochodną klasycznych drzew decyzyjnych i lasów losowych, jest dosyć nowym algorytmem (2014/2016 r.) wykorzystywanym do predykcji [8, 25]. Wprowadzony został bardzo szybko do programów i środowisk obliczeniowych, w tym do środowiska R, ze względu na jakość i szybkość uzyskiwanych w ten sposób prognoz. Algorytm został stworzony jako klasyfikator i narzędzie regresji, nie zaś jako system prognozowania szeregów czasowych. Badania i ich zastosowania wykazały jednak, że dzięki odpowiedniej obróbce wstępnej danych i ich przygotowaniu, możliwe jest użycie tego algorytmu również do predykcji [20, 25]. W badanym przypadku dotyczącym zużycia ciepła na potrzeby c.o. dane historyczne zostały potraktowane jako zestaw danych nie indeksowanych w czasie, a okres rozliczeniowy (miesiąc) jest traktowany jako jedna z wielu zmiennych objaśniających. Takie ujęcie powoduje, że procedura jest bardziej odporna na brakujące pojedyncze dane oraz umożliwia łatwiejsze prognozowanie wartości dla pojedynczych okresów, które nie sąsiadują ze sobą (brakujące pomiary dla określonego miesiąca (np. w efekcie awarii ciepłomierza w mieszkaniu [5])).

XGBoost jest algorytmem znacznie bardziej zaawansowanym, a w konsekwencji istnieje znacznie więcej parametrów modelu, które należy ustawić, a dalej

– zoptymalizować. Ten aspekt będzie przedmiotem dalszych prac badawczych. Prezentowane na rys. 5 wyniki zostały uzyskane po zastosowaniu strojenia modelu. Zdefiniowane zostały zakresy dla 7 wybranych parametrów modelu, a następnie na tak zakreślonej przestrzeni losowo wybierane było  $n$  zestawów parametrów. Tych parametrów nie może być zbyt mało, bo wówczas wylosowane mogą zostać zestawy z jednego "narożnika" zdefiniowanej dla modelu przestrzeni. Większa liczba iteracji daje natomiast szansę na rozłożenie wylosowanych zestawów parametrów po całej przestrzeni. Zwiększanie liczby iteracji znacząco wpływa jednak na czas prowadzonych obliczeń. Do badań przyjęto 3 modele, dla różnych iteracji:

- xgb.1 – 60 iteracji,
- xgb.2 – 560 iteracji,
- xgb.3 – 860 iteracji.

### Dyskusja wyników

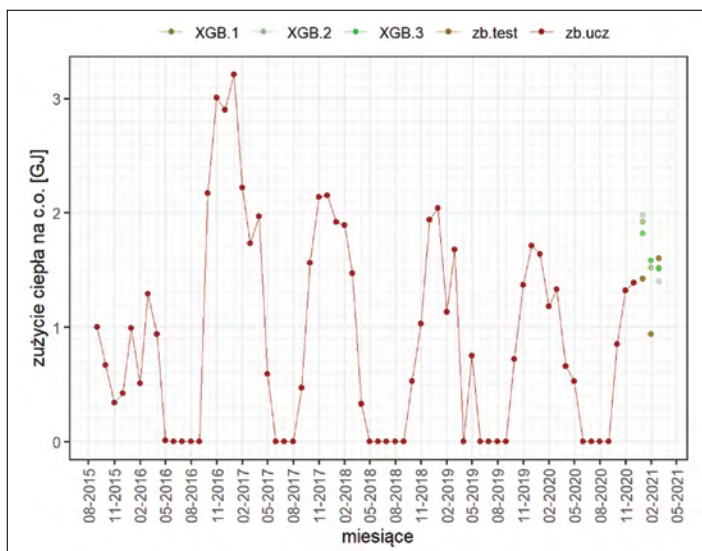
Przedstawione w tab. 1 i 2 wyniki wskazują, że oszacowanie zużycia ciepła w mieszkaniu budynku wielorodzinnego za pomocą predykcji modelami ARIMA i XGBoost może zarówno przekraczać rzeczywiście zmierzone wartości, jak i to, że takie oszacowanie może być mniejsze. W zależności od przyjętego algorytmu modelu, jak i jego parametrów uzyskano różną dokładność modelu. Model ARIMA okazuje się mało skuteczny w przypadku gwałtownych zmian pojedynczych obserwacji. Wykorzystanie algorytmu XGBoost nie dało również oczekiwanej poprawy prognozy, choć wartości uzyskane z predykcji są nieznacznie bardziej zbliżone do wartości rzeczywistych wykorzystanych do oceny jej trafności. Należy pamiętać, że w tego typu modelowaniu nie można

**Tab. 2 Rzeczywiste i prognozowane zużycie ciepła w trzech okresach rozliczeniowych (miesiącach) uzyskane w oparciu o różne modele XGBoost**

**Tab. 2. Real heat consumption and forecast in three periods (months) obtained on the basis of various XGBoost models**

Ozn.	Okres	Rzeczywiste zużycie ciepła [GJ]	Wartości przewidywane w oparciu o XGB.1 [GJ]	Wartości przewidywane w oparciu o XGB.2 [GJ]	Wartości przewidywane w oparciu o XGB.3 [GJ]	Dokładność najlepszej predykcji
V0624	01.2021	1,3	1,24	1,23	<b>1,27</b>	-2%
	02.2021	0,91	<b>1,04</b>	1,05	1,08	14%
	03.2021	0,82	<b>0,85</b>	0,86	0,88	4%
V0803	01.2021	3,29	<b>3,05</b>	2,95	2,97	-7%
	02.2021	3,15	2,63	<b>2,92</b>	2,55	-7%
	03.2021	2,91	<b>2,2</b>	1,78	2,14	-24%
V1621	01.2021	3,82	3,09	<b>3,11</b>	3,08	-19%
	02.2021	1,67	<b>2,57</b>	2,6	2,59	54%
	03.2021	0,4	1,86	1,86	<b>1,85</b>	363%
V0207	01.2021	1,42	1,92	1,98	<b>1,82</b>	28%
	02.2021	0,94	<b>1,52</b>	1,58	1,58	62%
	03.2021	1,6	<b>1,52</b>	1,4	1,51	-5%

**Rys. 5 Model XGBoost dla wybranego mieszkania (V0207) wraz z wynikami predykcji**  
**Fig. 5 XGBoost model for a selected apartment (V0207) with prediction results**



mówić o najlepszym modelu opisującym analizowany szereg czasowy w ogóle, ale co najwyżej o modelu najlepszym z przyjętych do analizy i oceny. Model będzie zawsze tylko pewnym przybliżeniem opisywanego zjawiska i przede wszystkim należy go oceniać z punktu widzenia oczekiwanej dokładności uzyskanej predykcji. Z punktu widzenia celu, jakim jest prognozowanie zużycia ciepła w poszczególnych mieszkaniach budynku wielorodzinnego, taka dokładność nie musi wcale osiągać wartości poniżej tzw. dopuszczalnego błędu obliczeń inżynierskich (w czasach braku współcześnie stosowanych komputerów i narzędzi obliczeniowych przyjmowanego jako 10%), chociaż wartość 390% czy 363% musi zastanawiać. Przypadek ten dotyczy jednak bardzo małego rzeczywistego zużycia ciepła w mieszkaniu, w którym wcześniej tak małych wskazań raczej nie obserwowano, i dla miesiąca, który charakteryzuje się dość zmiennymi warunkami temperaturowymi. Uzyskany z prognozy większy wynik mieści się w wartościach obserwowanych czy prognozowanych dla innych lokali dla tego okresu sezonu grzewczego. Należy mieć na uwadze, że tego typu prognozy są i będą przede wszystkim przydatne z punktu widzenia analizy całego systemu tj. całego budynku. Ważne jest więc, aby dla wszystkich mieszkań nie utrzymywał się ten sam trend błędu np. jako duże zawyżenie lub jako duże niedoszacowanie dla wszystkich mieszkań równocześnie.

Opracowane modele i uzyskana ich jakość pokazują, że zasadne jest kontynuowanie tego typu badań oraz szukanie określonego czynnika, zmiennej lub parametru modelu, który może być predyktorem takiego gwałtownego wahnięcia prognozy (i znaczącej rozbieżności pomiędzy predykcją i wartością rzeczywistą, rzędu kilkuset procent). Może to być błąd modelu, ale również błąd danych pomiarowych. Najważniejszym wnioskiem jest jednak to, że już najprostsze modele wykazują dużą przydatność (np. przy rozliczaniu zużycia ciepła [5] i uzupełnianiu brakujących danych w przypadku awarii układów pomiarowych, analizie zjawisk zachodzących w systemie zaopatrzenia w ciepło, diagnostyce poprawności działania systemu itp.), nie wymagają zbyt wielu danych wejściowych, a dane historyczne niemal zawsze są dostępne. Modele tego typu nie angażują czasowo, nie wymagają też dużej mocy obliczeniowej. Dodatkowo, są dość proste w implementacji w różnych środowiskach obliczeniowych /aplikacjach (Matlab, R, Python itp. ).

Porównując modele ARIMA i XGBoost, te drugie mają jeszcze tą dodatkową zaletę, że zawierają pakiety i procedury, które pozwalają ocenić i zwizualizować wpływ poszczególnych zmiennych na wynik końcowy (na wynik prognozy). Jest to ważne zagadnienie w uczeniu maszynowym, które co do zasady uniemożliwia lub utrudnia interpretację wyników (inaczej niż przykładowo w regresji liniowej). Poza prawie oczywistą zależnością zużycia ciepła od temperatury zewnętrznej, w ten sposób można zidentyfikować i wykazać inne parametry wpływające na zużycie ciepła w mieszkaniu budynku wielolokalowego (kondygnacja budynku, "skłonności" użytkowników poszczególnych mieszkań do ograniczenia lub nadmiernego zużycia ciepła i przynależność lokalu do określonego kwantyla Q1-Q4 itp.). Taka funkcjonalność modelu może być np. przydatna na etapie kodyfikowania (np. zapisania określonego algorytmu w regulaminach rozliczania kosztów, tak aby np. skłaniały też one użytkowników do racjonalnego użytkowania energii i jej oszczędzania).

Istotne przy budowie modelu jest przyjęcie jego parametrów, które w przypadku modelu XGBoost są określane zmiennymi objaśniającymi, a w modelu ARIMA – regresorami. W obu przypadkach opisanych w artykule modeli zostały uwzględnione jako taki parametr tylko mieszkania podobne (5 lokali mieszkalnych). W przypadku XGBoost (ponieważ algorytm ten nie zachowuje indeksowania w czasie) uwzględniono dodatkowo również miesiąc, którego dotyczy zużycie ciepła. Nie uwzględniono natomiast czynnika jakim jest temperatura zewnętrzna. Wynikało to z założenia, że jeśli temperatura zewnętrzna ma istotny wpływ na zużycie ciepła na ogrzewanie pomieszczeń, to został on już zdyskontowany w zużyciu ciepła w mieszkaniach podobnych. Wprowadzenie dodatkowo temperatury zewnętrznej jako parametru modelu (obok mieszkań podobnych) byłoby działaniem nieprawidłowym, gdyż z punktu widzenia metodyki tworzenia modeli, nie wprowadza się dodatkowej zmiennej silnie skorelowanej z inną zmienną, już obecną w modelu. Wprowadzenie do modelu dwóch zmiennych silnie ze sobą skorelowanych, zbytecznie komplikuje model, a dodatkowo często może przyczynić się do problemów z takim modelem (przypadkowe błędy, przeuczenie itp.). Uzasadnieniem takiego podejścia jest też i to, aby model był oparty na parametrach już dostępnych (np. dla administratora nieruchomości), a w szczególności również łatwo dostępnych w przyszłości. O ile łatwo dostępne są

wartości temperatury zewnętrznej w ujęciu historycznym, to nie można już tego samego powiedzieć o ich prognozie dla przyszłego okresu. Również inne parametry mogą być trudne do precyzyjnego ustalenia. Dla zarządcy nieruchomości problemem może być nawet ustalenie liczby osób w lokalu, nie wspominając o charakterze użytkownika mieszkania (np. na potrzeby własne, wynajem, częściowa działalność usługowa, akademik itp.).

## Wnioski

Różnego typu układy pomiarowe montowane w systemach zaopatrzenia w ciepło umożliwiają zbieranie i gromadzenie danych historycznych opisujących zużycie ciepła przez cały system lub poszczególne jego elementy (w przypadku budynków mieszkalnych – mieszkania i lokale).

Dostęp do tych danych pomiarowych jest coraz łatwiejszy, problemem jest natomiast brak ich wykorzystywania przez zarządców nieruchomości, zainteresowanych wyłącznie bieżącym konserwowaniem systemu i rozliczeniem kosztów jego utrzymania pomiędzy użytkownikami. Zużycie ciepła w lokalach mieszkalnych zapisywane jest w pamięci ciepłomierzy. Szczytowane jest w określonej częstotliwości przez zarządcę i wykorzystywane do rozliczeń kosztów, a później zazwyczaj archiwizowane. Z danych indeksowanych w czasie można natomiast wyznaczać trend oraz profil sezonowości i te dane w sposób zindywidualizowany uwzględnić w prognozie dla danego mieszkania. Trend i sezonowość dla konkretnego mieszkania mogą być zupełnie inne niż wynika to z uśrednionego profilu dla danej klatki schodowej, piętra czy całego budynku. Wykorzystując dostępne narzędzia matematyczne do analizy szeregów czasowych możliwe jest prognozowanie w oparciu o taki zbiór danych historycznych brakującego lub przyszłego zużycia ciepła, co pozwala na zarządzanie popytem, jak i daje np. możliwość tworzenia algorytmów do regulacji systemem, aby jak najbardziej odpowiadał potrzebom użytkowników, a jednocześnie gwarantował odpowiednią efektywność energetyczną. W przyszłości mogą być więc tego typu modele wykorzystywane też do całościowego zarządzania energią systemu i do transferu ciepła/energii pomiędzy lokalami z nadwyżką ciepła (zyski ciepła) i lokalami z jego niedoborem. Opisano w artykule tylko przykładowe modele, dla konkretnej grupy budynków i mieszkań. Jak podkreślono to w dyskusji wyników, wymagają jeszcze dalszych prac i badań,

tak aby można było też określić metody ustalania parametrów modelu, jego złożoność czy rodzaj algorytmu, który powinien być wykorzystany do jak najlepszego opisu szeregu czasowego o określonych cechach, przedstawiające zużycie ciepła w mieszkaniu na cele ogrzewania. Już teraz można jednak stwierdzić celowość kontynuacji tego typu badań, jak i kierunków wykorzystania ich wyników. Pomimo tego, że prowadzić to może do jeszcze większego skomplikowania układów regulacji elementów instalacji, to pozwoli jednocześnie dostosować ich działanie do indywidualnych potrzeb budynku i poszczególnych jego użytkowników. Ten kierunek badań widoczny jest zarówno w publikacjach dotyczących szeroko rozumianej inżynierii środowiska np. [11, 20], jak i w pracach dotyczących systemów zaopatrzenia w ciepło np. [3, 4, 5, 6, 7, 9]. Predykcja zużycia ciepła w lokalach mieszkalnych może również być wykorzystywana do diagnostyki stanów awaryjnych i szybkiego wykrywania nieprawidłowości w działaniu instalacji czy jej układów pomiarowych. Nietypowość może być zarówno cechą indywidualną danego lokalu czy grupy lokali, ale również np. sygnalizować niską efektywność energetyczną rozwiązań zastosowanych na etapie projektu lub budowy instalacji lub po prostu jej awarie.

Opisane w artykule badania potwierdzają, że przy prognozowaniu zużycia ciepła w lokalach mieszkalnych należy brać pod uwagę nie tylko temperaturę zewnętrzną, ale również inne parametry, które wpływają na bilans energii. Dla uzyskania dobrej jakości modelu duże znaczenie może mieć wyodrębnienie grup mieszkańców, w których zużycie ciepła ma podobny charakter oraz poprawne przypisanie mieszkańca, dla którego budowany jest model do wyodrębnionej grupy. Jak zilustrowano to na rys. 2, zawsze należy się liczyć, że charakterystyka zużycia ciepła w danym lokalu może ulegać zmianom, a lokal może "przenieść się" do innej grupy.

W badaniach opisanych w artykule skupiono się na modelach najprostszyc, trzeba mieć na uwadze, że są też inne, jeszcze bardziej złożone algorytmy,

zaczynając od modeli ARFIMA-GARCH a na głębszych sieciach neuronowych kończąc. W zasadzie i one nie są trudne do zaimplementowania (dostępne są pakiety darmowe oraz takie, które są przystosowane do szybkiego użycia). Zwykle jednak interpretacja wyników i wyjaśnienie wyników w oparciu o dane wejściowe jest utrudnione, co stanowi pewną barierę w ich wdrażaniu.

#### LITERATURA:

- [1] Adamski M., Myszkowska A., Rozliczanie kosztów ogrzewania na przykładzie wybranego mieszkania, *Budownictwo i Inżynieria Środowiska* 9/2018, s. 7-14.
- [2] Ashina S., Nakata T. (2008) Energy-efficiency strategy for CO<sub>2</sub> emissions in a residential sector in Japan. *Applied Energy*, 85 (2-3), pp. 101-114.
- [3] Baldwinsson I., Development of Community Heat Supply System towards Increased Sustainability, Doctoral Thesis, Department of Management Science & Technology Graduate School of Engineering, Thoku University, August 9, 2016.
- [4] Bandurski K., Wpływ użytkowników na bilans energetyczny budynków mieszkalnych – badania i modelowanie, Rozprawa doktorska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej, Poznań 2021.
- [5] Bartnicki G., Nowak B., Predykcja zużycia ciepła w lokalu mieszkalnym na podstawie danych historycznych z ciepłomierzy mieszkaniowych, *INSTAL* 12/2020, s. 15-20. DOI: 10.36119/15.2020.12.2
- [6] Bartnicki G., Nowak B., Koniec sezonu grzewczego a efektywność energetyczna instalacji odbioru ciepła, *INSTAL* 4/2020, s. 2-11. DOI: 10.36119/15.2020.4.1
- [7] Bartnicki G., Nowak B., Model ARIMA w prognozowaniu zużycia gazu w cyklach miesięcznych. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*. 2018, nr 103, s. 145-158. DOI: 10.24425/123712
- [8] Chen T., Guestrin C. (2016), XGBoost: A Scalable Tree Boosting System [w:] Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining – KDD '16, ACM Press, New York 2016, s. 785-794.
- [9] Dell'Isola M., Ficco G., Canale L., Paella B. I., Puglisi G., An IoT Integrated Tool to Enhance User Awareness on Energy Consumption in Residential Buildings, *Atmosphere* 10/2019 (743). DOI:10.3390/atmos10120743
- [10] Dudziński K., Nowa dyrektywa wzmocnia możliwości oszczędnego gospodarowania ciepłem w budynkach mieszkalnych, *INSTAL* 2/2019, s. 26-28.
- [11] Gajda J., Bartnicki G., Burnecki K., Modeling of water usage by means of ARFIMA-GARCH

processes, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 512, 15 December 2018, s. 644-657

- [12] Harvey L.D.D., *A Handbook on Low-Energy Buildings and District-Energy Systems*, Earthscan, London – Sterling VA 2006.
- [13] IEA, *Promoting Energy Efficiency Investments. Case studies in the residential sector*, OECD/IEA and AFD, 2008
- [14] Krzyśko M., Wołyński W., Górecki T., Skorzybut M., *Systemy uczące się. Rozpoznawanie wzorców, analiza skupień i redukcja wymiarowości*, WNT, Warszawa 2008.
- [15] Levermore G.J., *Building energy management systems: applications to low-energy HVAC and natural ventilation control*, E & FN Spon, 2000.
- [16] Michalak P., *Badania efektywności energetycznej budynku użyteczności publicznej wykorzystujące odnawialne źródła energii*, Rozprawa doktorska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH, Kraków 2009.
- [17] Michnikowski P., Szczechowiak E., *Rozliczanie kosztów ogrzewania lokali uzależnione od rzeczywistego zużycia energii dla ogrzewania w budynkach wielorodzinnych*, *Rynek Energii* 6/2013.
- [18] Nikolaou T., Kolokotsa D., Stavrakakis G., *Review on methodologies for energy benchmarking, rating and classification of buildings*, *Advances in Building Energy Research* 5/2011, s. 53-70. DOI:10.1080/17512549.2011.582340
- [19] Nowak B., Bartnicki G., *Prognozowanie przedziału czasowego z maksymalnym w ciągu doby zużyciem gazu przez kotłownię. Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*. 2019, nr 109, s. 93-109. DOI: 10.24425/znigsme.2019.130166
- [20] Osman A. A., Ahmed A. N., Chow M. F., Huang Y. F., El-Shafie A., *Extreme gradient boosting (Xgboost) model to predict the groundwater levels in Selangor Malaysia*, *Ain Shams Engineering Journal*, dostęp online, 22 January 2021
- [21] Ozmen, A., Yilmaz, Y. i Weber, G.W., *Natural gas consumption forecast with MARS and CMARS models for residential users*, *Energy Economics* 70/2018, s. 357-381. DOI: 10.1016 / j.eneco.2018.01.022
- [22] Pelsmakers S., *The environmental design pocketbook*, RIBA Publishing, London 2015.
- [23] PN-EN 12831:2006 *Instalacje ogrzewcze w budynkach – – Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego*.
- [24] PN-B-03406:1994 *Ogrzewnictwo – – Obliczanie zapotrzebowania na ciepło pomieszczeń o kubaturze do 600 m<sup>3</sup>*
- [25] Wójcik F., *Prognozowanie dziennych obrotów przedsiębiorstwa za pomocą algorytmu XGBoost – studium przypadku*, *Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*, Nr 375, Katowice 2018, s. 121-140.



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



# Nowe generacje ogniw krzemowych – technologia TOPCon

TOPCon technology: The new generation of silicon solar cells

KONRAD WIŚNIEWSKI

## Wstęp

Rok 2020 jest kolejnym, w którym całkowita moc w źródłach fotowoltaicznych na świecie przekroczyła 100 GW (dokładnie 107 GW). Wg Międzynarodowej Agencji Energetycznej już w 2022 roku, głównie dzięki przyspieszeniu inwestycji w UE (z niemal 20 do 28 GW/rok) przyrost mocy PV wyniesie 150 GW. Wg danych i prognoz Instytutu Energetyki Odnawialnej w 2020 roku niemal 2,3% światowych i 13% europejskich inwestycji zostało zrealizowanych w Polsce. Wg najnowszej prognozy IEO łączna moc instalacji fotowoltaicznych w Polsce wzrośnie z niemal 4 GW na koniec 2020 roku do ponad 8 GW w 2022 roku i 15 GW w 2025 roku.

Tak duże zapotrzebowanie i konkurencja na rynku wymuszają poszukiwanie nowych technologii krzemowych (w ciągu najbliższej dekady technologie krzemowe będą dalej dominować na rynku), których parametry pozwolą na uzyskanie jeszcze niższych cen energii produkowanej przez moduły fotowoltaiczne. Nowa generacja ogniw krzemowych, która zmieni dotychczasowy obraz rynku pojawi się przed 2025 rokiem. Właśnie teraz producenci ogniw fotowoltaicznych, biorąc pod uwagę postęp technologiczny i możliwości producentów modułów, podejmują decyzje o inwestycjach w tzw. „GigaFabryki” (o zdolnościach produkcyjnych powyżej 1 GW/rok).

Linie produkcyjne wydajności rzędu kilku GW/rok są już od kilku lat standardem w Chinach. Pozwoliło to chińskim producentom ogniw na przekroczenie 80% w rynku światowym, a to spowodowało, że UE straciła rynek ogniw (produkcja ogniw w UE w 2020 roku stanowiła tylko 2,2% mocy zainstalowanej w UE), a wraz nim

rynek modułów PV. Przechodzenie na nową technologię stanowi szansę na odwrócenie niekorzystnego dla Europy trendu.

Przy „gigawatowej” skali inwestycji wybór technologii jest sprawą kluczową. Ostateczny wybór technologii w fotowoltaice jest wypadkową wielu argumentów związanych z dojrzałością technologii, dostępnością dostawców urządzeń, obwarowaniami patentowymi i potencjałem do dalszego rozwoju, możliwościami pozyskania materiałów i zawarcia długoterminowych kontraktów, a także z innymi kwestiami ekonomicznymi, czy nawet politycznymi. Przed takim wyborem stoi pierwszy 5 nowych GigaFabryk rozwijanych obecnie w UE, w tym polska GigaFabryka realizowana przez Giga PV S.A. Nawet jeżeli wybór, co do samego typu ogniw, które trzeba będzie wprowadzać na europejski rynek w latach 2024/2025, nie jest w praktyce aż tak szeroki (z pewnością nie jest oparty na nowinkach medialnych), to warto szerzej przybliżyć dylematy z tym związane.

W perspektywie średnioterminowej w grę wchodzi w zasadzie dwie technologie (TOPCon i HJT) rozwijane od kilku lat w UE i mające za sobą światowe pierwsze wdrożenia. O ile technologia HJT jest szeroko opisana w literaturze branżowej, o tyle wiedza o technologii TOPCon nie jest powszechna.

## Od BSF, poprzez PERC, do TOPCon lub HJT – zdecydują koszty produkcji energii

W ostatnich latach odbyła się zmiana technologiczna w produkcji ogniw krzemowych. Dominująca w ostatnim dziesięcioleciu technologia BSF (ang. *Back Surface Field*), została wyparta przez technologię PERC (ang. *Passivated Emitter Rear*

*Cell*). Szacuje się, że do 2027 roku udział w rynku przestarzałej technologii będzie już pomijalnie mały. Pokazuje to bezwładność rynku, w którym w 2020 roku udziały ogniw wykonanych w technologii BSF stanowiły jedynie 20% (10 lat temu było to ponad 90%). Technologiczna „zmiana warty” nie przebiega jednak zawsze tak samo. Zależy ona m. in. od tego jak daleko posunięte są zmiany nowej technologii względem tej, która ustępuje jej miejsca. Dlatego kolejne skomercjalizowane innowacje będą jeszcze oparte o tradycyjną technologię krzemową, w tym technologie: HJT ang. *Heterojunction Technology* i TOPCon ang. *Tunnel Oxide Passivated Contacts*. Przewiduje się, że dopiero pod koniec tej dekady na rynku zaczną pojawiać się tzw. ogniwa tandemowe o bardziej skomplikowanych strukturach, łączące ze sobą różne technologie.

Istotny wkład w dynamiczny rozwój fotowoltaiki w ostatniej dekadzie miał model biznesowy europejskich dostawców technologii, którzy dekadę temu zaczęli proponować rozwiązania typu *turn key*. Polegały one na zagwarantowaniu danego poziomu sprawności ogniw przy wykorzystaniu specjalnie do tego celu dobranych urządzeń. Kontrahent miał więc pewność, że przy określonych kosztach będzie dysponował ogniwem słonecznym o uzgodnionych w umowie parametrach. Ułatwiło to znacząco tworzenie biznesplanów i spowodowało gwałtowny wzrost liczby olbrzymich fabryk ogniw krzemowych w miejscach gdzie produkcja ogniw była najtańsza, czyli w Chinach.

Obecnie Unia Europejska podejmuje działania, aby na jej terytorium odbudować zdolności produkcyjne, ale też kompetencje, które wcześniej łatwo zostały oddane krajom azjatyckim. Największym zainteresowaniem wśród producentów

Konrad Wiśniewski - specjalista ds. technologii fotowoltaicznej, Instytut Energetyki Odnawialnej, konsultant ds. badań i rozwoju w Giga PV S.A.  
Adres do korespondencji: kwisniewski@ieo.pl

ogniw krzemowych cieszą się wymienione już technologie HJT oraz TOPCon. Ogłoszone w latach 2019-2020 medialne zapowiedzi powstania nowych fabryk ogniw wykonanych w tych technologiach przekroczyły 15 GW (około 12 GW – HJT, 5 GW – TOPCon).

Wprowadzane w tych technologiach innowacje w gruncie rzeczy opierają się na prostych ideach. Dalsze doskonalenie procesów wykorzystywanych w technologiach krzemowych jest praktycznie niemożliwe, dlatego próbuje się na ogniwa krzemowe nakładać dodatkowe warstwy (o bardzo konkretnych właściwościach), licząc na to, że dzięki nim końcowe parametry urządzeń będą jeszcze lepsze.

Ostateczny rachunek ekonomiczny sprowadza się więc do tego, czy korzyści z zastosowania nowych rozwiązań będą większe niż koszty poniesione na zakup nadmiarowych urządzeń, ich obsługę oraz na potrzebne materiały. Na przykład jeśli zwiększymy sprawność ogniwa z 20% do 21%, ostateczna ilość energii otrzymana przez ogniwo wzrośnie o 5% (1/20). Jeśli więc to podwyższenie sprawności nie podnosi kosztów inwestycji o więcej niż 5% (czyli około 25 mln zł dla fabryki 1GW), można się spodziewać, że wdrożone innowacje miały sens ekonomiczny.

Oczywiście nowe procesy produkcyjne nie muszą koniecznie podnieść sprawności ogniwa. Ostatecznie o tym jakie ogniwa trafią na rynek decyduje nie ich sprawność, a ich koszt w przeliczeniu na ilość energii, które są one w stanie dostarczyć. A to będzie zależeć np. od grubości płytki krzemowej użytej do produkcji ogniw (im cieńsza tym mniejszy koszt ogniwa), materiału użytego na elektrody (dzisiaj w większości jest to srebro i wciąż szuka się zamienników), tempa degradacji ogniwa i wielu innych czynników.

### Rozwój i kluczowe cechy technologii TOPCon

Koszty wytworzenia energii mogą zdecydować o tym, że technologia TOPCon ma szansę bardzo szybko zastąpić dominującą dzisiaj technologię PERC. Technologia TOPCon po raz pierwszy została opisana w 2013 roku przez Fraunhofer ISE (dla porównania pierwsze pomysły dotyczące technologii HJT powstawały już w latach 80-siątych). Postęp technologiczny spowodował, że dziś sprawności ogniw otrzymanych komercyjnie przekraczają 24,5%, co przekracza możliwości obecnie dominującej technologii PERC.

Technologia TOPCon nie wpływa znacząco na strukturę ogniwa, a stosunkowo

mały CAPEX potrzebny do jej implementacji czyni z niej bardzo interesujący wariant brany pod uwagę przez inwestorów. Główną modyfikacją wprowadzoną do ogniwa w tej technologii jest dodatkowa warstwa selektywna, która niweluje straty wywołane przepływem prądu w okolicach metalowych elektrod. Pozwala to nie tylko zwiększyć sprawność, ale też stosować również tzw. płytki krzemowe typu n (domieszkowane fosforem zamiast borem), które z mniejszym stopniem ulegają degradacji. W dalszej części tego artykułu omówiono budowę ogniwa TOPCon oraz przedstawione zostaną najważniejsze procesy wykorzystywane do ich produkcji.

### Budowa ogniwa PV TOPCon

Podstawową częścią typowego ogniwa (rys. 1) słonecznego typu TOPCon, stanowiącą jednocześnie około 50% kosztów całego urządzenia, jest cienka płytka krzemowa o grubości około 180µm. W tej technologii jest ona domieszkowana fosforem, który dostaje się do wnętrza płytki na drodze dyfuzji, poprzez wygrzewanie płytki w piecu w temperaturze 900°C w obecności trichlorku fosforu ( $\text{POCl}_3$ ). Dzięki temu uzyskuje się tzw. płytkę krzemową „typu n”.

Górną część płytki domieszkuje się borem (B), otrzymując w ten sposób warstwę „typu p”, zwaną emiterym. Dzięki temu procesowi tworzy się złącze p-n niezbędne do funkcjonowania ogniwa słonecznego. Na tak przygotowane ogniwo nanoszone są kolejne warstwy pozwalające na zminimalizowanie strat oraz zmniejszenie defektów i niedoskonałości w strukturze ogniwa. Są to warstwy: tlenku aluminium ( $\text{AlO}_x$ ), azotku krzemu ( $\text{SiN}_x$ ) oraz tlenku krzemu ( $\text{SiO}_x$ ), a także warstwa krzemu polikrystalicznego. Dwie pierwsze wymienione warstwy, nanoszone przy pomocy metody PECVD (*Plasma Enhanced*

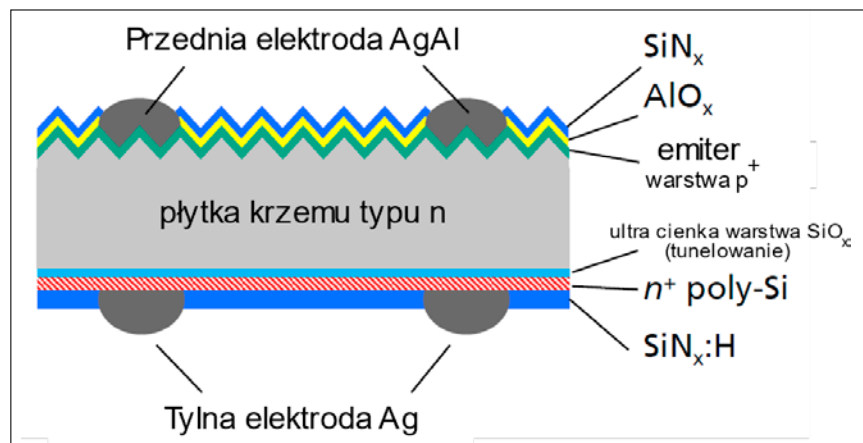
*Chemical Vapour Deposition*) występują również w technologii PERC i służą do pasywacji powierzchni emitera oraz stanowią powłokę antyrefleksyjną zmniejszającą straty na odbicie promieniowania słonecznego. Ich grubość, to około 100nm, która jednak wystarcza do nadania ogniwom krzemowych ich charakterystycznego niebieskiego koloru.

Główną innowacją w technologii TOPCon jest ultracienka warstwa tlenku krzemu, której grubość wynosi jedynie 1,5 nm. Pozwala to na przepływ elektronów przez tę warstwę przy pomocy zjawiska tunelowania (stąd nazwa technologii). Dzięki temu unika się strat przy elektrodach i na tylnej powierzchni ogniwa związanych z tzw. rekombinacją nośników prądu. Właściwa kontrola grubości nanoszonego tlenku jest kluczowa do uzyskania satysfakcjonujących parametrów ogniwa słonecznego. Tlenek jest nanoszony termicznie w reaktorze w metodzie LPCVD (*Low Pressure Chemical Vapour Deposition*), która następnie służy do naniesienia 250-300nm warstwy krzemu polikrystalicznego silnie domieszkowanego na typ n. Ta warstwa m.in. chroni tlenek, który może zostać w łatwy sposób zniszczony w późniejszym procesie wypalania (ang. *firing*) elektrod, w którym temperatura sięga 760°C.

Elektrody, obecnie głównie wykonane ze srebra, nakłada się metodą sitodruku (ang. *screen printing*). Uzyskanie właściwych past potrzebnych do wytwarzania elektrod (z mniejszą zawartością srebra), wykorzystanie niskotemperaturowych sposobów ich nakładania oraz kontrola wzrostu warstwy tlenku są kluczowe w kontekście dalszego rozwoju technologii TOPCon.

### Zastawienie typowych cech i parametrów ogniw TOPCon

Rozwój technologii TOPCon postępuje, a parametry techniczne (a w szczególności



Rys.1. Schemat budowy ogniwa TOPCon

ści ekonomiczne), wykonanych przy jej pomocy ogniw, ulegają systematycznie poprawie. Tym niemniej warto zestawić typowe ich parametry wyjściowe, które mogą zdecydować o tym, że TOPCon-y staną się wiodącą, komercyjną technologią w latach 2025-2030.

Moduły oparte na technologii n-TOP-Con mają szereg korzystnych parametrów i dają szereg przewag konkurencyjnych:

- Posiadają sprawność wynoszącą ponad 20%;
  - Mają wyższą wydajność i żywotność niż moduły p-type;
  - Mogą być produkowane na tych samych liniach produkcyjnych co moduły PERC, co oznacza, że producenci modułów nie muszą ponosić kosztów przezbrajania swoich linii;
  - Opierają się w większości na znanych i przetestowanych rozwiązaniach – technologia ogniw PERC;
  - Koszt procesu ich wytwarzania jest porównywalny z modułami opartymi na ogniwach typu PERC;
  - Mogą być łatwo dostosowane do pojawiających się technologii tandemowych;
  - Mają bardzo niski współczynnik degradacji, wynoszący jedynie około 1% w pierwszym roku i 0,4% w kolejnych latach:
- eliminacja tzw. defektu bor-tlen;
  - odporność na LID (Light Induced Degradation);
  - Mają tą samą efektywność pracy przy słabym świetle, jak również w warunkach nasłonecznienia pod różnymi kątami;
  - Charakteryzują się szeroką odpowiedzią spektralną umożliwiającą pozyskiwanie wyższej mocy w pochmurne dni;
  - Mają niski współczynnik temperaturowy rzędu 0,32%/°C;
  - Można je produkować w wariantach zarówno jednostronnych jak też dwustronnych (szkło-szkło);
  - Mają mniejszą podatność na zanieczyszczenia metaliczne krzemu;
  - Mogą być również produkowane przy ułożeniu ogniw „na zakładkę” (ang. shingled);
  - Wykorzystują wieloprzewodowe (ang. multiwire) połączenia ogniw, ograniczając dzięki temu efekt samo-zacieśniania ogniw.

Atrakcyjne parametry technologii TOPCon łączą w sobie dorobek w zakresie rozwoju znajdującej się obecnie w szczycie swojego rozwoju technologii PERC i najbardziej dojrzałych rozwiązań technologii nowej generacji.

## Podsumowanie

Ogniwa TOPCon, z uwagi na ich korzystne dla odbiorcy parametry techniczne (trwałość, stabilność) i ekonomiczne (niski koszt produkcji energii) są najpoważniejszymi kandydatami do zastąpienia ogniw PERC w najbliższych kilku latach. Sposób ich produkcji jest efektywny, a przeszkody technologiczne, które ograniczają dzisiaj ich udział w światowym rynku, wydają się być możliwe do pokonania. Ze względu na niższe od konkurencyjnych ogniw HJT koszty produkcji oraz łatwość ich wykorzystania w ogniwach tandemowych, mają one szansę zdominować rynek fotowoltaiczny nawet po 2030 roku.

## Podziękowania

Autor dziękuje bardzo prof. Ryszardowi Tytko, prezesowi firmy Eco Investment sp. z o.o. za interesujące materiały, rozmowy i zaangażowanie, które były inspiracją do powstania tego artykułu.

W artykule wykorzystano dane pochodzące m.in. z analiz udostępnionych przez Giga PV S.A.



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

Instytut Energetyki Odnawialnej

## 20-letnie doświadczenie w branży OZE

- zaawansowane analizy ekonomiczne
- doradztwo techniczne i inwestycyjne
- najnowsze dane rynkowe
- międzynarodowe programy badawcze
- raport "Rynek Fotowoltaiki w Polsce 2021"
- studia podyplomowe "Energetyka Odnawialna dla Biznesu"

W 2020 roku obroty na rynku fotowoltaiki przekroczyły 10mld zł. Zgodnie z analizami IEO, aby w kolejnych latach utrzymać tę tendencję niezbędne będzie połączenie fotowoltaiki z bojlerami elektrycznymi i magazynami ciepła. Natomiast kolektory słoneczne wraz z magazynami będą najtańszym zeroemisyjnym źródłem ciepła w ciepłownictwie systemowym.

- Grzegorz Wiśniewski, prezes IEO.  
kontakt: [biuro@ieo.pl](mailto:biuro@ieo.pl)

# Charakterystyki promieniowych sprężarek procesowych

Performance curves of centrifugal process compressors

WŁADYSŁAW KRYŁŁOWICZ, KIRIŁ KABAŁYK

DOI 10.36119/15.2021.5.2

W artykule poruszono zagadnienie charakterystyk pracy promieniowych sprężarek procesowych (pracujących w instalacjach chemicznych oraz sprężarek gazu ziemnego). Opisano kształt charakterystyki sprężarki, proces tworzenia charakterystyki sprężarki wielostopniowej oraz pole pracy sprężarki według norm ISO oraz API. Poruszono zagadnienie pompowania oraz szczegółowo omówiono zjawisko dławienia w sprężarce promieniowej.  
*Słowa kluczowe: sprężarka promieniowa procesowa, charakterystyka, granica pompowania, granica dławienia*

Performance curves of process centrifugal compressors (operating in chemical installations) and pipeline compressors were analyzed. The performance curve shape of the multistage compressor and its operational range were described according to ISO and API standards. The phenomenon of surge and choke in the radial compressor was considered.

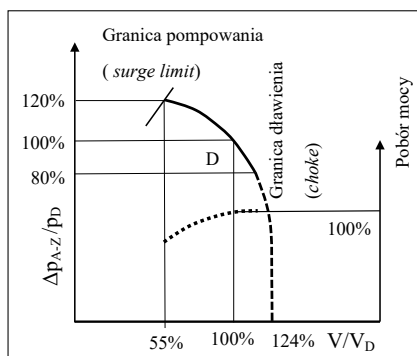
*Keywords: centrifugal proces compressor, performance curve, surge limit, choke limit*

## Wstęp

Pod pojęciem sprężarek procesowych (ang. *proces compressors*, por. Lüdtke [8]), rozumiemy, niezależnie od sposobu działania, sprężarki przeznaczone do pracy w instalacjach przemysłu petrochemicznego, gazu ziemnego oraz chemicznego. W zdecydowanej większości przypadków sprężają one czynniki gazowe różne od powietrza.

Zależność pomiędzy parametrem opisującym przyrost ciśnienia w sprężarce (może nim być np. bezwymiarowy spręż  $\Pi = p_Z/p_A$ ) a przepływem (wyrażanym strumieniem objętości  $V$  bądź strumieniem masy  $\dot{m}$ ) nazywamy charakterystyką przepływową sprężarki. Pełna charakterystyka sprężarki obejmuje również przebieg poboru mocy, tak jak to pokazano na rys. 1. Niekiedy uzupełniamy ją o przebieg sprawności, np. sprawności politropowej  $\eta_m$ .

Powyższy przypadek dotyczy napędu o stałej prędkości obrotowej (silnikiem elektrycznym synchronicznym lub asynchronicznym). Użyteczny zakres pracy sprężarki jest obszarem pomiędzy dwoma granicami: po lewej stronie mamy tzw granicę pompowania (ang. *surge limit*), a po prawej granicę dławienia (ang. *choke* lub *capacity limit*). Natomiast aktualny punkt pracy sprężarki (ang. *operatio-*



**Rys. 1.** Typowa charakterystyka sprężarki promieniowej we współrzędnych zredukowanych  $\Delta p_A-Z/p_D - V/V_D$  wg Dresser-Rand [12]. Symbol D oznacza punkt projektowy, ang. *design point* lub *rated point*.

**Fig. 1.** Typical performance curve of centrifugal compressor in coordinates  $\Delta p_A-Z/p_D - V/V_D$  acc. to Dresser-Rand [12]. D-design point (or rated point)

*nal point*) jest określony poprzez przecięcie charakterystyki sprężarki z krzywą oporów instalacji.

W niniejszym artykule nie omawiane będą sprężarki zintegrowane z przekładnią (ang. *geared compressors*) a jedynie sprężarki procesowe jednowałowe. Należą one do dwu rodzajów: sprężarki zainstalowane w tłoczniach gazu ziemnego (ang. *pipeline compressors*) oraz sprężarki pracujące w instalacjach chemicznych.

Wszystkie sprężarki procesowe powinny spełniać co do konstrukcji i własności ruchowych wymogi normy API 617 [13] lub niemal identycznej normy PN-EN-ISO 10439 [14].

## Kształt charakterystyki sprężarki wielostopniowej

Sprężarkę promieniową projektujemy jako wielostopniową tylko wtedy, gdy wysoki przyrost entalpii gazu wymaga nadmiernej prędkości obwodowej  $u_2$  koła wirnikowego. W każdym innym przypadku korzystniejsze jest rozwiązanie jedno-stopniowe. Ograniczenia prędkości obwodowej koła wirnikowego  $u_2$  wynikają z:

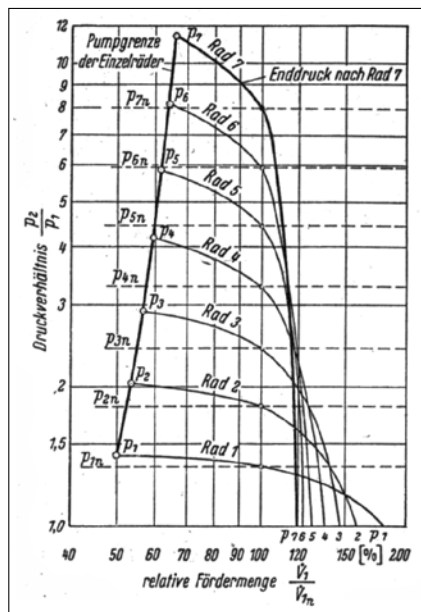
- problemów wytrzymałościowych,
- innych czynników, np. bezpieczeństwo lub potencjalne zużycie erozyjne,
- dopuszczalnych liczb Macha.

W przypadku sprężarek procesowych stosujemy, ze względów bezpieczeństwa, relatywnie niskie sprężę stopni i związane z tym niskie prędkości obwodowe. Przykładowo, sprężarka gazu syntezowego, opisana w [6], sprężająca gaz od ciśnienia 25,5 do 210,9 barów (spręż  $\Pi = 8,6$ ) ma aż 25 stopni w trzech kadłubach. Średni spręż stopnia do tylko  $\Pi_{sr} = 1,09$ , maksymalny 1,12. Prędkości obwodowe nie przekraczają wartości 240-244 m/s.

Podobnie dwustopniowa sprężarka pracująca w tłoczni gazu opisana w rozdziale trzecim ma w punkcie projektowym prędkość obwodową  $u_2 = 214,4$  m/s (maksymalna prędkość obwodowa 250,14 m/s). Spręż pierwszego stopnia wynosi  $\Pi = 1,205$ .

W przypadku sprężarek gazu ziemnego nie ma zazwyczaj problemu z liczbami Macha, ponieważ stała gazowa jest duża (dla czystego metanu  $R = 518,35$ ), a więc i prędkości dźwięku są wysokie - dla warunków otoczenia  $a = \text{ok. } 445$  m/s. Przykładowo, obwodowa liczba Macha  $Ma_{u,2} = u_2/a_2$  dla koła pierwszego stopnia wspomnianej powyżej sprężarki wynosi jedynie 0,481. Natomiast liczby Reynoldsa są na ogół duże, co sprzyja osiągnięciu wysokiej sprawności (patrz Strub, Bonciani i Borer [11]).

Jeżeli budujemy sprężarkę wielostopniową, to kształt jej charakterystyki finalnej jest na skutek zmian gęstości całkowicie odmienny od charakterystyk jej poszczególnych stopni. Na rys. 2 przedstawiono według Eckerta [2] klasyczny przykład charakterystyki siedmiostopniowej izotermicznej sprężarki promieniowej o sprężu projektowym  $\Pi = 8$ , przy czym spręż projektowy pojedynczego stopnia wynosi  $\Pi_1 = 1,347$ . Sprężarka pracuje przy stałej prędkości obrotowej.



**Rys. 2.** Charakterystyka siedmiostopniowej sprężarki promieniowej we współrzędnych  $\Pi - (V_1/V_{1n})$  wg Eckerta [2]. Zachowano oryginalny system oznaczeń;  $p_{in}$  - ciśnienia absolutne w punktach projektowych (niem. *nominal*),  $V_1/V_{1n}$  - względny strumień objętości na ssaniu. *Pumpgrenze* - granica pompowania.

**Fig. 2.** Performane curves of a seven-stage centrifugal compressor in coordinates  $\Pi - V_1/V_{1n}$  acc. to Eckert [2]. Original german nomenclature is used: *p<sub>in</sub>*-absolute pressure at design point,  $V_1/V_{1n}$  - relative volume flow at inlet. *Pumpgrenze* - surge limit

Widzimy, że im więcej stopni, tym charakterystyka staje się bardziej stroma. Przy przepływach  $V_i > V_{1n}$  największe sprężenie otrzymujemy na pierwszym stopniu, później maleją one stopniowo, a nawet mogą osiągnąć wartości mniejsze od 1 - czynnik ulega w nich rozprężeniu! Natomiast dla przepływów mniejszych od projektowego sytuacja jest odwrotna - największy spręż osiągamy w ostatnim stopniu. Widzimy, że użyteczny zakres pracy całej sprężarki mieści się w granicach 0,66 do 1,2 przepływu projektowego i jest znacznie węższy od zakresu pracy pojedynczego stopnia (0,5 do 1,75).

Na rys. 3 przedstawiono według normy ISO 10439 [15] oraz API 617 [13] pole pracy sprężarki napędzanej turbiną parową bądź gazową - czyli sprężarki pracującej przy zmiennej prędkości obrotowej. Ze względu na to, że jak dotąd (2021 r.) nie ma oficjalnego polskiego tłumaczenia obu tych norm, zdecydowano się na zastosowanie polskiej terminologii w wersji stosowanej w jednostce autorów pracy na podawanie odpowiedniego terminu angielskiego. Współrzednymi są: praca właściwa sprężania (*specific compression work*, lub inaczej *head*), w kJ/kg oraz strumień objętości na ssaniu (*inlet volume flow*). Na rysunku naniesiono odpowiednie charakterystyczne prędkości obrotowe oraz obie linie ograniczeń: granicę pompowania oraz granicę dławienia dla zmiennych obrotów.

Punkt projektowy sprężarki (ang. *rated point* lub *design point*) odpowiada prędkości obrotowej oznaczonej jako projektowa (100%). Natomiast normalny punkt pracy (*normal operating point*) jest związany

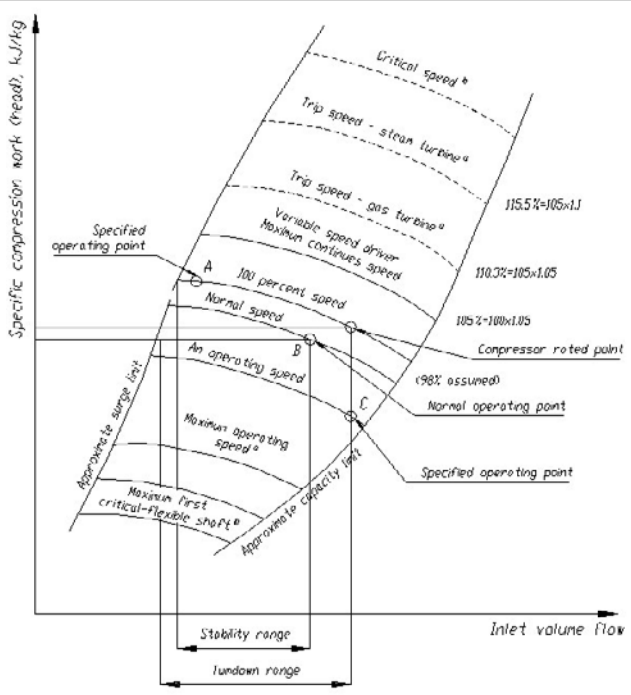
z wymogami instalacji, w której pracuje sprężarka. Aby zachować pewną rezerwę sprężu oraz wydatku, normalny punkt pracy leży na prędkości obrotowej określonej jako normalna (*normal operating speed*) równej ok. 98% prędkości projektowej. Powszechnie przyjmuje się, że maksymalna ciągła prędkość napędu (ang. *variable speed driver maximum continuous speed*) jest jedynie 5% większa od prędkości projektowej, ale stwarza to rezerwę mocy równą trzeciej potędze stosunku prędkości, to jest  $1,05^3 = 1,157$ , czyli ponad 15%. Warto zauważyć, że prędkość wyzwolenia (*trip speed*), przy której zaczyna działać samoczynny regulator bezpieczeństwa jest różna dla turbiny parowej i gazowej (odpowiednio *trip speed steam turbine drive* oraz *trip speed gas turbine drive*).

Wyspecyfikowane punkty kontrolne A i C określają zakres stabilnej pracy (*stability range*) oraz zakres do wyłączenia (*shutdown range*). Spośród nich jedynie zakres „*turn-down range*” ma praktyczne znaczenie, ponieważ jest podawany w standardyzowanych arkuszach danych sprężarki wg. API.

Dolna i górna krzywe ograniczające pole pracy są krzywymi pierwszej i drugiej prędkości krytycznej (odpowiednio *maximum first critical speed* oraz *critical speed (second)*) dla wałów elastycznych (*flexible shaft*).

Charakterystyki sprężarek procesowych są ustalane w wyniku testów przeprowadzanych w oparciu o standardowe procedury na stanowiskach badawczych (np. według normy ISO 5389 [15]). Obecnie istnieją już możliwości numerycznego

**Rys. 3.** Pole pracy sprężarki o zmiennej prędkości obrotowej według ISO 10439 [15] (brak jest oficjalnego polskiego tłumaczenia normy). **Fig. 3.** Typical operating map for a centrifugal compressor with variable speed acc. to API Standard 617. Official polish translation does not exist.



wyznaczania charakterystyk wielostopniowych sprężarek promieniowych, patrz m.in. Danilishyn [1]. Z powodu ograniczonej dokładności wyniki takich obliczeń służą obecnie głównie do sporządzania charakterystyk ofertowych (ang. *predicted performance curves*).

### Krytyczne zjawiska przepływowe – pompowanie i dławienie

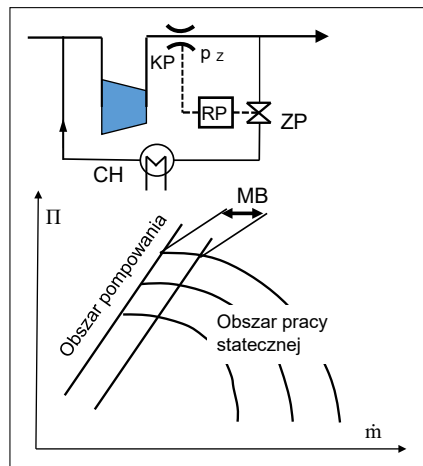
Zjawisko pompowania jest dobrze znane eksploatatorom sprężarek. Polega ono na pulsacyjnej pracy maszyny, czemu towarzyszy podwyższony poziom drgań. Długotrwałe pompowanie nieodmiennie powoduje poważną awarię sprężarki. Dlatego też każda sprężarka wyposażona jest w układ przeciwpompażowy, którego ideę przedstawiono na rys. 4.

Jeżeli dla danej prędkości obrotowej zdławimy sprężarkę tak dalece, że przekraczamy granicę pompowania i znajdziemy się w obszarze pracy niestatecznej, to regulator RP otwiera zawór przeciwpompażowy ZA. W wyniku tego spada ciśnienie tłoczenia i maszyna wychodzi z pompowania. Jednak w praktyce otwieramy zawór ZA o wiele wcześniej, zostawiając pewien margines bezpieczeństwa MB. Jego szerokość jest zależna od:

- szybkości otwierania zaworu ZA,
- przepustowości zaworu i jego instalacji.

Ponieważ margines bezpieczeństwa zawęża nam użyteczny zakres pracy sprężarki, to zawór ZA powinien mieć możliwie małą statą czasową.

W przypadku sprężarek procesowych (w tym oczywiście i gazowych) zawór ZA połączony jest ze ssaniem sprężarki – tak,



Rys. 4. Idea układu przeciwpompażowego: ZA – zawór antypompażowy (ang. *antisurge valve*), KP – kryza pomiarowa, RP – regulator przeciwpompażowy, CH – chłodnica, MB – margines bezpieczeństwa (ang. *security margin*).

Fig. 4. The idea of an antisurge system. ZA – anti-surge valve, KP – flow measuring device, RP – anti-surge regulator, CH – gas cooler, MP – security margin.

aby nie upuszczać gazu do otoczenia. Elementem koniecznym staje się zabudowa chłodnicy CH, celem utrzymania temperatury gazu na ssaniu na odpowiednio niskim poziomie. Niejednokrotnie linia przeciwpompażu służy również do rozruchu oraz włączania sprężarki do instalacji.

Zagadnienie pompowania sprężarki promieniowej jest szeroko opisywane w literaturze przedmiotu (m. in. Pampreen [9], Gundlach [3], Eckert [2]).

zupełnie odmiennie wygląda wiedza użytkowników sprężarek na temat drugiej linii ograniczenia - linii dławienia, czyli krzywej maksymalnego przepływu. Jak widzimy na rys. 1, krzywa ciśnienia załamuje się przy odpowiednio dużym przepływie – sprężarka osiąga maksimum wydajności przy ciśnieniu spadającym do zera. Przyczyną tego jest osiągnięcie lokalnej prędkości dźwięku na wlocie do pierwszego koła wirnikowego lub czasami na wlocie do dyfuzora ułotkowanego pierwszego stopnia (patrz Lüdtkę [8]). Skutkami pracy sprężarki w obszarze dławienia są:

- silne drgania wzbudzone falami uderzeniowymi,
- przeciążenie struktury mechanicznej wirnika.

Zagadnienie pracy sprężarki w obszarze dławienia było poruszane w pracach Sorokesa [10] oraz Kurza [7]. Badania te służyły głównie wyjaśnieniu stopnia ryzyka związanego z dynamiką ułotkowania sprężarki. Stwierdzono jednak, że przy odpowiedniej konstrukcji koła ryzyko awarii może być w istotny sposób zmniejszone.

Poniżej zostanie omówiony problem nadmiernego przeciążenia dwustopniowej sprężarki pracującej w tłoczni gazu. Jest to bardzo nowoczesna dwustopniowa sprężarka napędzana turbiną gazową o maksymalnej mocy ok. 25 MW. Maksymalna prędkość obrotowa to 8085 obr/min, minimalna 4300. Zakresy ciśnienia to:

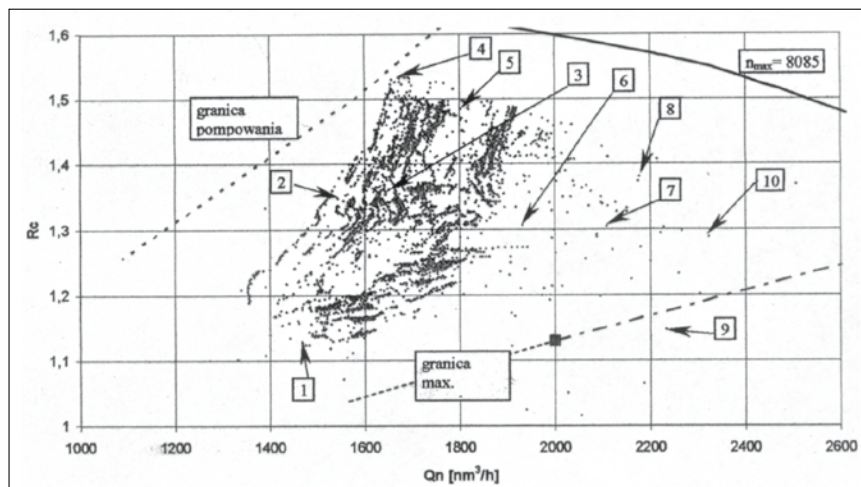
minimalne 3,5 MPa (odstawienie), maksymalne ok. 9,2 MPa (odstawienie).

Na rys. 5 przedstawiono pole pracy tej sprężarki z naniesionym zbiorem 5600 punktów pracy. Widzimy jednak, że tylko nieliczne wychodzą poza granicę dławienia. Przykładem jest punkt 9, odpowiadający ciśnieniu ssania 6,53 MPa i ciśnieniu tłoczenia 7,48 MPa (spręż 1,14), prędkość obrotowa  $n = 5667$  obr/min. Dla tego punktu moment obrotowy drugiego stopnia wynosi 12630 Nm. Dla punktu 10, leżącego wewnątrz dopuszczalnego pola pracy, moment ten wynosi 9427 Nm, pomimo tego, że spręż jest równy 1,28. Widzimy zatem co oznacza praca w przeciążeniu. Jako kryterium obciążenia wybrano moment obrotowy drugiego stopnia, ponieważ jego dyfuzor okazał się krytycznym pod względem wytrzymałościowym elementem struktury mechanicznej maszyny.

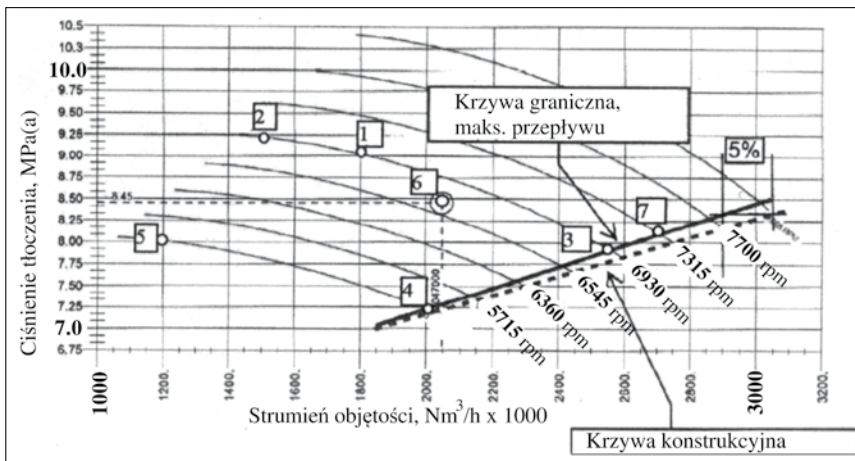
Charakterystyka firmowa tej sprężarki we współrzędnych ciśnienie tłoczenia [MPa] - strumień objętości na wlocie [ $\text{Nm}^3/\text{h} \cdot 1000$ ] jest zamieszczona na rys. 6. Naniesiono szereg punktów charakterystycznych oraz położenie konstrukcyjnej granicy dławienia i granicy dławienia ustawionej po badaniach odbiorczych. Punkty pracy 1,2,3 leżą na tej samej krzywej prędkości obrotowej równej  $n = 6930$  obr/min. Momenty dyfuzora dla tych punktów wynoszą odpowiednio: 1835, 3974 oraz 13405 Nm, co jest oczywiście zgodne z przebiegiem poboru mocy przedstawionym na rys. 1.

Natomiast dla punktu nr 7, odpowiadającemu prędkości obrotowej 7315 obr/min moment osiąga maksimum i wynosi aż 15775 Nm. W punkcie 7 spręż maszyny wynosi 1,28.

Analizując rys. 6 zauważamy, że wzdłuż linii maksymalnego dopuszczalnego przepływu (punkty 4,3,7) moment obrotowy na dyfuzorze systematycznie rośnie,



Rys. 5. Pole pracy sprężarki gazu ziemnego z zaznaczonymi, wybranymi punktami pracy (wg [5]).  
Fig. 5. Operating map of a pipeline compressor with specified operating points [5].



Rys. 6. Charakterystyka firmowa sprężarki gazu ziemnego z naniesionymi charakterystycznymi punktami pracy (wg [5]).

Fig. 6. Original performance curves of a compressor from fig. 5 with specified operating points [5].

osiągając przy prędkości obrotowej 7315 obr./min bardzo dużą wartość. Przy dalszym wzroście obrotów, dla parametrów na ssaniu równych  $p=6,4$  MPa i  $T=288$  K ( $5^{\circ}\text{C}$ ) szybko przekroczymy maksymalną dopuszczalną moc turbiny (25 MW).

A zatem długotrwała praca w pobliżu granicy ciśnienia stwarza ryzyko awarii mechanicznej sprężarki.

## Podsumowanie

W artykule przedstawiono wybrane zagadnienia eksploatacji sprężarek promieniowych procesowych. Problematyka granicy dławienia oparta o własne analizy jest prawdopodobnie po raz pierwszy opisana w literaturze polskojęzycznej.

Autorzy mają nadzieję, że przyjęta konwencja tłumaczenia określeń anglojęzycznych będzie pomocna przy posługiwaniu się obcymi normami. Uważamy jednak, że normy te powinny być przetłumaczone na język polski i że powinno być przyjęte jednolite nazewnictwo techniczne. Z zamieszczonej analizy wynika, że w dziedzinie własności eksploatacyjnych sprężarek promieniowych pozostało w kraju jeszcze dużo do zrobienia.

## PIŚMIENICTWO

- [1] Danilishyn A., Kozhukov Y., Malev K.G., 2017, *The Task of validation of gas-dynamic characteristics of a multistage centrifugal compressor for a natural gas booster compressor station*, AIP Conference Proceedings 1876(1): 120046 and Oil and Gas Engineering Conference (OGE- 2017).
- [2] Eckert B., Schnell E., 1961, *Axial und Radial-Kompressoren*, wyd. drugie, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- [3] Gundlach W., 1955, *Poglądowa analiza współpracy sprężarki i odbiornika*, Archiwum Budowy Maszyn, tom II, z.4 str. 395-407.
- [4] Kryłłowicz W., 1993, *Udoskonalenie metody wyznaczania charakterystyk sprężarek promieniowych i jej weryfikacja eksperymentalna na przykładzie sprężarek jedno- i wielostopniowych*, praca niepublikowana IMP PŁ Nr. 1241, Łódź.
- [5] Kryłłowicz W., 2008, *Krytyczna analiza zaleceń eksploatacyjnych kompresorów w tłocznich gazu* ..., praca niepublikowana IMP PŁ (zbiór zastrzeżony) Nr.1590, Łódź.
- [6] Kryłłowicz W., Kozanecki Z., Kabałyk K., Świder P., 2017, *Technical and Aerodynamical Aspects of a High Pressure Synthesis Gas Turbocompressor Modernization*, Proc. of 12th European Conference on Turbomachinery Fluid Dynamics and Thermodynamics ETC 12, Paper ID : ETC 2017-171, Stockholm, Sweden.
- [7] Kurz R., Marechale R.K., Fowler E., 2016, *Operation of centrifugal Compressors at choke conditions*, 2016 Asia Turbomachinery & Pump Symposium, Singapore.
- [8] Lüdtke K.H., 2004, *Process Centrifugal Compressors. Basics, Function, Operation, Design, Application*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- [9] Pampreen R.C., 1993, *Compressor Surge and Stall*, Concepts ETI, Inc., Wilder, Vermont USA.
- [10] Sorokes J., Miller H., Koch J., 2006, *The Consequences of Compressor Operation in Overload*, 35th Turbomachinery Symposium, Houston, Texas A&M University.
- [11] Strub R.A., Bonciani C.J., Borer M.V., Casey S.L., 1987, *Influence of the Reynolds Number on the Performance of Centrifugal Compressors*, Transactions of the ASME, Journal of Turbomachinery 109, str.541-544.
- [12] *Turbocompressors.Applications. Selections. Limitations*, 1992, Dresser-Rand. Turbo Products Division, Olean, New York, wydawnictwo własne firmy Dresser-Rand.
- [13] API Standard 617, 2002: *Axial and Centrifugal Compressors and Expander-compressors for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services*, seventh edition., July 2002.
- [14] PN-EN ISO 10439, 2003, *Przemysł naftowy, chemiczny i gazowy – sprężarki wirowe*, Polski Komitet Normalizacyjny.
- [15] ISO 5389,2005, *Turbocompressors. Performance Test Code*.

# Racjonalizacja zużycia energii w budownictwie mieszkaniowym

Autorzy: Tomasz Cholewa, Alicja Siuta-Olcha  
Warszawa 2016

Wydawca: Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”



Ocena efektywności energetycznej oraz kosztów z tytułu ogrzewania i przygotowania c.w.u. w systemach grzewczych stosowanych w budynkach wielorodzinnych to tytuł rozdziału w książce dr inż. Tomasza Cholewy i dr inż. Alicji Siuta – Olcha pt. "Racjonalizacja zużycia energii w budownictwie mieszkaniowym".

Rozdział ten zawiera też przykład analizy techniczno – ekonomicznej trzech rodzajów systemów ogrzewania i przygotowania ciepłej wody, które obecnie najczęściej występują w budynkach wielorodzinnych. **Przedstawiony materiał jest pomocny do określenia efektywności energetycznej budynku.**

Cała książka ukazuje praktyczne możliwości zmniejszania zużycia energii w budynkach mieszkalnych poprzez modernizację systemów ogrzewania i przygotowania ciepłej wody oraz poprzez edukację mieszkańców w tym zakresie. W pracy przedstawiono szereg wyników długoterminowych badań eksploatacyjnych, umożliwiających określenie i sprawdzenie wpływu różnych przedsięwzięć modernizacyjnych na zużycie energii, szczególnie w istniejących budynkach wielorodzinnych.

Do każdego rozpatrywanego przypadku starano się wybrać reprezentatywną grupę budynków, aby zakres przeprowadzonych prac modernizacyjnych pozwolił, w możliwie jednoznaczny sposób, pokazać wpływ danego działania modernizacyjnego na zużycie ciepła w danej grupie budynków, a nie był tylko przypadkowym wynikiem otrzymanym dla pojedynczego obiektu. Każdy przykład poprzedzony jest krótkim wstępem teoretycznym, który w przystępny sposób wprowadza Czytelnika w zakres tematyczny danego zagadnienia, jak również przedstawia wyniki badań oraz osiągnięcia innych Autorów, odnoszące się do racjonalizacji zużycia energii w sektorze mieszkaniowym.

Z tego też względu publikacja przydatna może być projektantom i wykonawcom systemów grzewczych oraz administratorom budynków.

Książka została wydana w twardej oprawie w formacie B5, objętość 214 stron. Cena 1 egz. 64 zł + 5% VAT.

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

e-mail: wydawnictwo@informacjainstal.com.pl, redakcja@informacjainstal.com.pl

# Analiza zmian w przepływie mieszanin gazu ziemnego i wodoru siecią rurociągów

Analysis of changes in the flow of mixtures of natural gas and hydrogen in pipelines network

JOLANTA SZOPLIK, MARTA CIUKSZA

DOI 10.36119/15.2021.5.3

W pracy analizowano wyniki symulacji przepływu gazu, mieszanin gazu i wodoru (15% lub 30% objętościowych) lub czystego wodoru w sieci gazociągów niskiego ciśnienia. Obliczenia przeprowadzono na podstawie danych o rzeczywistym obciążeniu sieci gazem ziemnym wysokometanowym dla czterech wybranych temperatur otoczenia. Analizowano wyniki rozkładu nadciśnienia mieszanin gazu z wodorem lub czystego wodoru w rurociągach sieci dla maksymalnej wielkości nadciśnienia strumienia wprowadzanego do sieci, a następnie dla każdej mieszaniny i temperatury otoczenia dobrano wielkość minimalnego nadciśnienia strumienia zasilającego sieć. Wyniki badań opracowano w postaci zależności umożliwiającej oszacowanie wielkości minimalnego nadciśnienia strumienia w zależności od udziału wodoru w mieszaninie. Wykazano, że w przypadku transportu wodoru lub mieszanin gazu i wodoru zwiększa się obciążenie sieci, co wymaga zwiększenia nadciśnienia strumienia na wejściu do sieci, które może być nawet większe od maksymalnego nadciśnienia dopuszczalnego dla sieci niskiego ciśnienia.  
*Słowa kluczowe: sieć gazowa niskiego ciśnienia, symulacje przepływu, transport wodoru lub mieszanin gazu, rozkład nadciśnienia w sieci*

The study analyzed the results of simulating the flow of gas, gas mixtures and hydrogen (15% or 30% by volume) or pure hydrogen in the low pressure gas pipeline network. The calculations were made on the basis of data on the actual network load with high-methane natural gas for four selected ambient temperatures. The results of the overpressure distribution of gas-hydrogen or pure hydrogen mixtures in the network pipelines were analyzed for the maximum value of the overpressure of the stream fed to the network, and then for each mixture and the ambient temperature, the value of the minimum overpressure of the stream supplying the network was selected. The test results were compiled in the form of a relationship that allows the estimation of the minimum flow overpressure depending on the hydrogen content in the mixture. It has been shown that when transporting hydrogen or gas-hydrogen mixtures, the network load increases, which requires an increase in the overpressure of the stream at the entrance to the network, which may be even greater than the maximum overpressure allowed for the low pressure network.

*Keywords: low pressure gas pipeline network, gas flow simulations, transport of hydrogen or gas mixtures, distribution of overpressure in the network*

## Wprowadzenie

Zwiększanie udziału energii ze źródeł odnawialnych w ogólnym bilansie energii wymaga poszukiwania nowych sposobów jej magazynowania. Jednym ze sposobów magazynowania energii jest zatłaczanie wodoru pozyskanego podczas elektrolizy wody za pomocą nadwyżek energii elektrycznej pochodzącej ze źródeł odnawialnych (słońca, wiatru), do gazociągów przesyłających gaz ziemny wysokometanowy. Badania wpływu wodoru, pozyskanego w technologii Power to Gas (PtG), magazynowanego w infrastrukturze gazu ziemnego

o dostarczanego odbiorcom końcowym są przedmiotem prac [1-7]. Zagadnienia analizowane w pracach można podzielić na dwie grupy. Pierwsza obejmuje analizę wpływu domieszek wodoru do gazu ziemnego na pracę urządzeń spalających paliwo gazowe i instalowanych u odbiorców (kuchenki, kotły i inne), natomiast drugą grupę zagadnień stanowią problemy wpływu wodoru na pracę urządzeń wspomagających transport i urządzenia do pomiaru wielkości strumienia gazu (reduktory, kompresory, gazomierze i inne).

Wodór, który pod względem właściwości fizykochemicznych bardzo różni się

od gazu ziemnego, istotnie zmienia parametry wytworzonej mieszaniny gaz ziemny – wodór. Zhao i wsp. [1] stwierdzili, że dodatek 15% objętościowych wodoru do gazu ziemnego nie wpływa niekorzystnie na pracę urządzeń kuchennych. Autorzy analizowali takie parametry, jak: czas zapłonu, charakterystyka płomienia, hałas spalania, temperatura palnika oraz emisje niespalonych składników. Jaworski i wsp. [2] na podstawie obszernych badań wpływu dodatku wodoru do gazu ziemnego na pracę urządzeń zasilanych gazem wykazali, że dodatek 23% lub 15% wodoru do gazu nie wpływa istotnie na bezpieczeństwo

dr hab. inż. Jolanta Szoplik prof.ZUT, <https://orcid.org/0000-0003-1020-1079>; mgr inż. Marta Ciuksza doktorantka w Szkole Doktorskiej ZUT, <https://orcid.org/0000-0002-0094-9297> – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej Katedra Inżynierii Chemicznej i Procesowej. Adres do korespondencji/ Corresponding author: Jolanta.Szoplik@zut.edu.pl



lub efektywne jego spalanie w tych urządzeniach, natomiast dodatek 36% wodoru do gazu zapewni utrzymanie odpowiedniej jakości mieszaniny dostarczanej odbiorcom. Gondal [3] wskazuje, że dodanie 2% wodoru do gazu ziemnego ma znikomy wpływ na pogorszenie jakości mieszaniny, natomiast zwiększenie udziału wodoru w mieszaninie do 10% może istotnie obniżyć jej parametry jakościowe. Według Autora zakres tolerancji urządzeń końcowych spalających gaz dla wodoru w mieszaninie wynosi 20-50%.

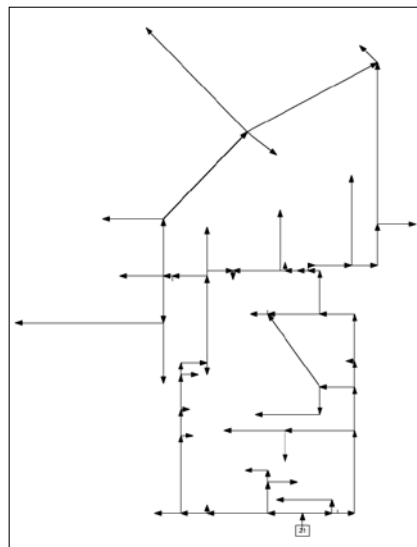
W przypadku badań wpływu wodoru na elementy infrastruktury systemu transportu gazu Gondal [3] wskazuje, że zagadnienie powinno być analizowane kompleksowo, bowiem elementem limitującym będzie urządzenie, które jest najbardziej wrażliwe na udział wodoru w mieszaninie. W przypadku sieci wysokiego ciśnienia takim elementem mogą być kompresory, które akceptują udział do 10% wodoru w mieszaninie, natomiast znacznie większa jest tolerancja wodoru (do 50%) przez elementy sieci dystrybucyjnej i magazyny. Jaworski i wsp. [2] podają, że udział wodoru w mieszaninie wynoszący 8% jest bezpieczny, biorąc pod uwagę prawidłową pracę urządzeń pomiarowych stosowanych w strefach zagrożonych wybuchem, natomiast 10% ze względu na dopuszczalną metodę przeliczania współczynnika ściśliwości, a 15% dodatek wodoru nie wpływa istotnie na pracę reduktorów średniego ciśnienia. Analiza wpływu wodoru lub biometanu do gazu ziemnego transportowanego siecią niskiego ciśnienia na parametry przepływu (wielkość strumienia, jego prędkość oraz nadciśnienie) analizowano w pracach [4-6]. Zdecydowana większość prac dotyczy analizy wpływu wodoru na pracę urządzeń spalających gaz, odmieňających gaz lub wspomagających transport gazu. Jednak porównywanie wyników badań uzyskanych w różnych krajach jest trudne, ponieważ wnioski słuszne w danym kraju (uzyskane dla danego składu gazu oraz materiałów, technologii i rozwiązań konstrukcyjnych) nie muszą być słuszne w innym kraju, dlatego też celowe jest prowadzenie własnych badań.

Celem pracy jest analiza zmian w przepływie gazu ziemnego, wodoru lub mieszanin gazu ziemnego i 15% lub 30% objętościowych wodoru na podstawie wyników symulacji przepływu wykonanych w programie GasNet. Do wyznaczenia strumienia wodoru lub mieszanin gazu ziemnego i wodoru zastosowano dane o rzeczywistym obciążeniu sieci niskiego ciśnienia w przyłączach sieci dla czterech wybranych temperatur otoczenia. Na pod-

stawie wyników symulacji przepływu w sieci analizowano rozkłady nadciśnienia strumieni w rurociągach sieci oraz dobiegano minimalne nadciśnienia strumienia zasilającego sieć, które opracowano w postaci zależności.

### Charakterystyka rurociągów niskiego ciśnienia i analiza zmienności obciążenia sieci

Fragment istniejącej sieci rurociągów do transportu gazu ziemnego wysokometanowego pod niskim ciśnieniem ilustruje rys. 1. Sumaryczna długość wszystkich gazociągów wykonanych z PE o średnicach nominalnych od 50 mm do 250 mm wynosi  $L = 3477$  m. Sieć zasilana jest za pomocą jednej stacji redukcyjnej średniego ciśnienia wejściowego Z1 i posiada 31 przyłączy, w których gaz pobierany jest



Rys. 1. Schemat sieci rurociągów niskiego ciśnienia  
Fig. 1. Scheme of a low pressure pipeline network

przez odbiorców komunalnych. Wielkość nadciśnienia strumienia gazu w rurociągach sieci niskiego ciśnienia może zmieniać się w przedziale od 1700 Pa do 2500 Pa, a prędkość gazu w rurociągu powinna być mniejsza niż 5 m/s.

W warunkach rzeczywistych sieć transportowany jest gaz ziemny wysokometanowy (NG). Na podstawie badań wstępnych [7] wykazano, że obciążenie sieci zależy od wybranych czynników kalendarzowych (miesiąc, dzień tygodnia, godzina doby i inne) oraz pogodowych (temperatura otoczenia, prędkość wiatru i inne). Na podstawie danych, charakteryzujących trzyletnie rzeczywiste obciążenie sieci we wszystkich przyłączach sieci opracowano indywidualne zależności wielkości strumienia gazu pobieranego w danym

przyłączy od temperatury otoczenia, przedstawianej w postaci wskaźnika liczby stopniodni  $S_d$ . Natomiast zmienność obciążenia sieci w funkcji godziny doby opracowano na podstawie danych ze stacji redukcyjnej, po przygotowaniu procentowego godzinowego zapotrzebowania na gaz w okresie doby [4-6].

Metodykę wyznaczania zależności do szacowania dobowego zapotrzebowania na gaz w danym przyłączy sieci przedstawiono na podstawie przykładowego, uproszczonego zestawu danych zestawionych w tabeli 1. Dobowe zapotrzebowanie na gaz ( $Q$ ) jest funkcją temperatury otoczenia  $T$ , którą można opisać modelem (1) [4-6]:

$$Q = a(18 - T) + b = a \cdot S_d + b \quad (1)$$

w którym:  $a$  oraz  $b$  – parametry modelu wyznaczone na podstawie rzeczywistego zapotrzebowania na gaz oraz temperatury otoczenia  $T$  [°C], natomiast  $S_d$  – wskaźnik liczby stopniodni obliczany dla założonej temperatury bazowej (w badaniach przyjmowano  $T_b = 18^\circ\text{C}$ ) i rzeczywistej temperatury otoczenia  $T$ . Wyraz wolny (parametr  $b$ ) w modelu (1) przedstawia zapotrzebowanie na gaz niezależne od temperatury otoczenia, który można wyznaczyć na podstawie danych o zapotrzebowaniu na gaz w okresie letnim. Stąd w celu oszacowania parametru  $b$  należy wielkość strumienia gazu pobieranego w okresie letnim ( $T \geq 18^\circ\text{C}$ ) podzielić przez liczbę dni tego okresu.

$$b = \frac{\sum(Q)_{I+II+III}}{\sum(n)_{I+II+III}} = \frac{163}{122} = 1,336 \quad (2)$$

Natomiast współczynnik  $a$  w modelu (1) przedstawia część zapotrzebowania na gaz zależną od temperatury  $T$  otoczenia. Na podstawie danych zestawionych w tabeli 1 wielkość parametru  $a$  wynosi:

$$a = \frac{\sum(Q)_{I+II+III} - (\sum(n)_{I+II+III} \cdot b)}{\sum(S_d)_{I+II+III}} = \frac{3391 - (708 \cdot 1,336)}{4505} = 0,543 \quad (3)$$

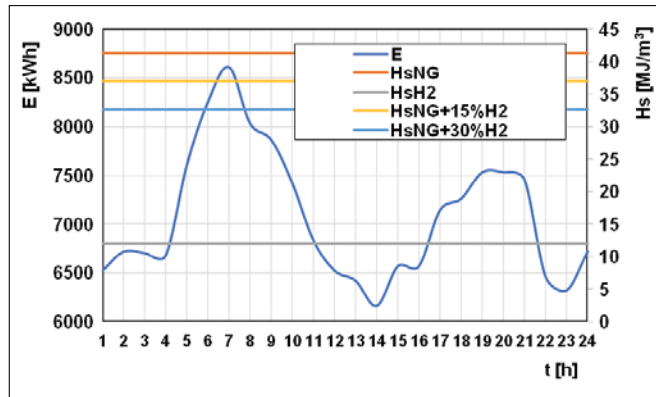
Na podstawie tak opracowanych zależności dla wszystkich przyłączy sieci wyznaczono dobowe zapotrzebowanie na gaz w zależności od temperatury otoczenia. Natomiast godzinowe zapotrzebowanie na gaz w każdym z przyłączy szacowano na podstawie dobowego zapotrzebowania na gaz w przyłączy i procentowego godzinowego przepływu gazu przez stację zasilającą.

Tabela 1. Przykładowe dane do szacowania parametrów modelu (1)

Table 1. Example data for estimating model parameters (1)

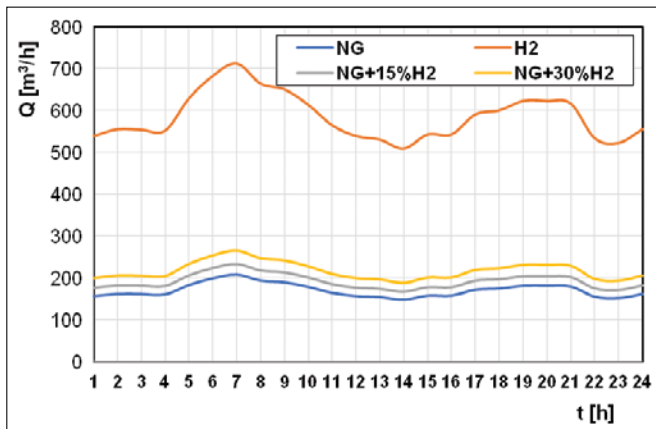
Nr okresu (miesiące)	$\Sigma(S_d)$ [°doba]	$\Sigma(n)$ [doba]	$\Sigma(Q)$ [m <sup>3</sup> ]
I (I ÷ VI)	2613	308	1912
II (VII ÷ VIII)	0	122	163
III (IX ÷ XII)	1892	278	1316
Suma:	4505	708	3391

czeń wielkości strumieni dla czterech przykładowych gazów o różnym udziale wodoru w mieszaninie ( $y_{H_2} = 0; 0,15; 0,3$  lub 1) w kolejnych godzinach doby o średniej temperaturze otoczenia  $T = -16^\circ\text{C}$ . Analizując wyniki zamieszczone na rys. 3 można zauważyć, że wielkość obciążenia sieci jest 3,4 razy większa w przypadku przesyłania wodoru w porównaniu do gazu ziemnego bez dodatku wodoru.



Rys. 2. Zmienność zapotrzebowania na energię E w kolejnych godzinach doby ( $T = -16^\circ\text{C}$ ) oraz wartość ciepła spalania  $H_s$  dla wybranych mieszanin gazu i wodoru  
Fig. 2. Variability of energy demand E in the following hours of the day ( $T = -16^\circ\text{C}$ ) and the value of heat of combustion  $H_s$  for selected natural gas and hydrogen mixtures

Godzinowe strumienie gazu ziemnego pobierane w przyłączych były podstawą do wyznaczenia zapotrzebowania na energię E w każdym przyłączy (równanie 4). Przyjmując, że siecią gazową dostarczana jest odbiorcom energia E [kWh] można oszacować wielkość strumienia  $Q_m$  (równanie 5) mieszaniny gazu ziemnego ( $y_{NG}$ ) i dowolnej ilości wodoru ( $y_{H_2}$ ) lub czystego wodoru ( $y_{H_2} = 1$ ). Na rys. 2 przedstawiono godzinową zmienność zapotrzebowania na energię w dniu o średniej temperaturze otoczenia  $T = -16^\circ\text{C}$  oraz zamieszczono wartości ciepła spalania gazu ziemnego  $H_{s(NG)} = 41,306$  [MJ/m<sup>3</sup>], wodoru  $H_{s(H_2)} = 12,09$  [MJ/m<sup>3</sup>] oraz wybranych mieszanin gazu ziemnego i wodoru dodawanego w różnych ilościach. Wielkość strumienia mieszaniny gazu ziemnego i wodoru zależy od udziału wodoru w mieszaninie i zwiększa się wraz ze wzrostem zawartości wodoru ( $y_{H_2}$ ). Na rys. 3 zamieszczono wyniki obli-



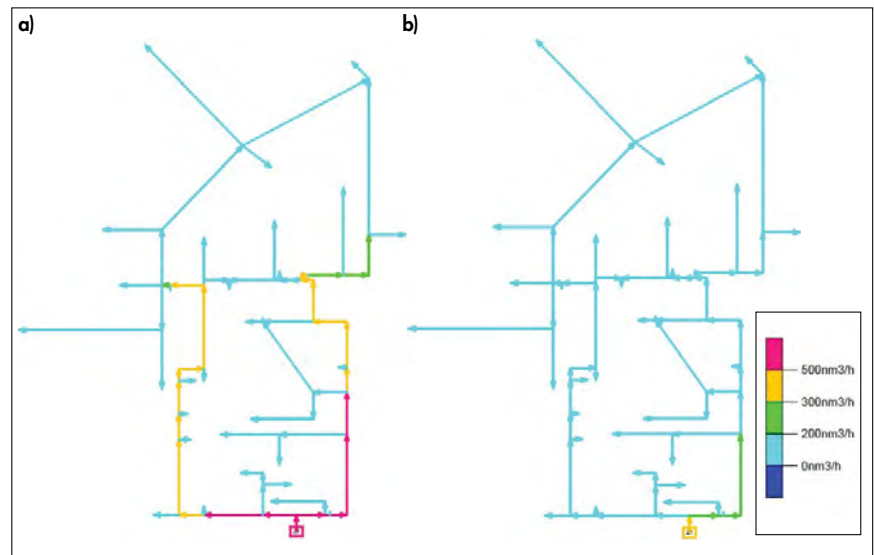
Rys. 3. Zmienność zapotrzebowania na gaz ziemny NG ( $y_{H_2} = 0$ ), wodór  $H_2$  ( $y_{H_2} = 1$ ) lub mieszaninę gazu ziemnego i wodoru w ilości 15% lub 30% ( $y_{H_2} = 0.15$  lub 0.30)  
Fig. 3. Variability of demand for natural gas NG ( $y_{H_2} = 0$ ), hydrogen  $H_2$  ( $y_{H_2} = 1$ ) or a mixture of natural gas and hydrogen at 15% or 30% ( $y_{H_2} = 0.15$  or 0.30)

$$E = Q_{NG} \cdot H_{s_{NG}} \quad (4)$$

$$Q_m = \frac{E}{H_{s_m}} = \frac{Q_{NG} \cdot H_{s_{NG}}}{H_{s_m}} = \frac{Q_{NG} \cdot H_{s_{NG}}}{(H_{s_{NG}} \cdot y_{NG}) + (H_{s_{H_2}} \cdot y_{H_2})} \quad (5)$$

## Analiza dynamiki gazu, wodoru lub mieszanin w rurociągach sieci

Dynamikę gazu w rurociągach sieci analizowano na podstawie wyników symulacji przepływu w stanie ustalonym wykonanych w programie GasNet dla różnych zestawów danych opisujących obciążenie sieci w zależności od temperatury otoczenia. Strumienie gazu oraz mieszanin gazu i wodoru lub czystego wodoru wyznaczono na podstawie rzeczywistego zapotrzebowania na gaz w każdym przyłączy sieci z rys. 1, opracowanych za pomocą modelu (1) oraz zależności (5).

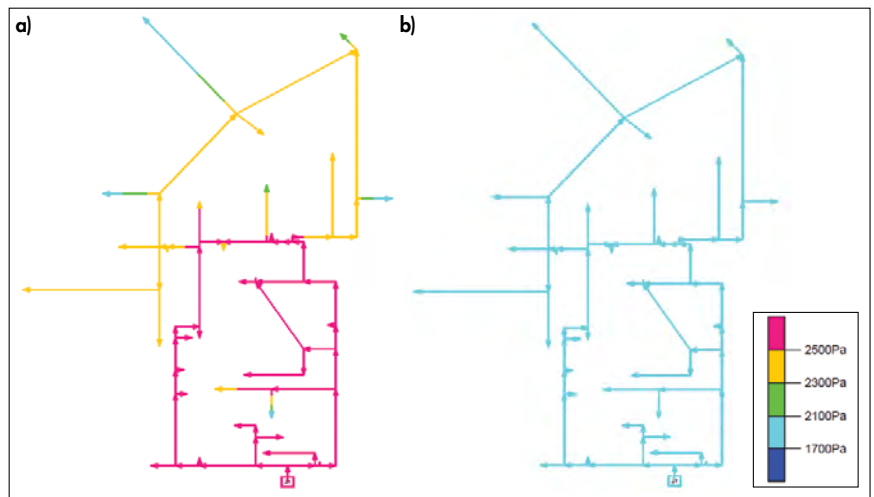


Rys. 4. Rozkład strumieni gazu w rurociągach sieci,  $T = -16^\circ\text{C}$ ; a) wyniki dla wodoru,  $Q_{(H_2)} = 1494$  m<sup>3</sup>/h; b) wyniki dla gazu ziemnego,  $Q_{(NG)} = 437$  m<sup>3</sup>/h  
Fig. 4. Distribution of streams in network pipelines,  $T = -16^\circ\text{C}$ ; a) results for hydrogen,  $Q_{(H_2)} = 1494$  m<sup>3</sup>/h; b) results for natural gas,  $Q_{(NG)} = 437$  m<sup>3</sup>/h

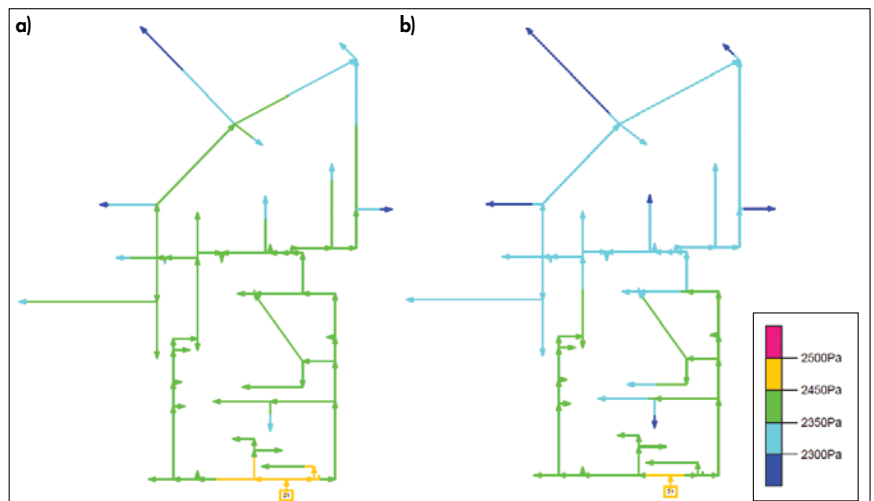
Symulacje przepływu gazu lub wodoru w rurociągach sieci wykonano dla maksymalnego (dopuszczalnego dla sieci niskiego ciśnienia) nadciśnienia strumienia zasilającego  $P_{we} = 2500$  Pa, a następnie wyznaczono minimalną wielkość nadciśnienia gazu w stacji redukcyjnej, zapewniającego transport gazu w całej sieci pod nadciśnieniem większym niż wartość minimalna (dopuszczalna w sieci niskiego ciśnienia)  $P_{min} = 1700$  Pa). Na rys. 4 zamieszczono wyniki obliczeń w postaci rozkładu strumieni gazu ziemnego lub wodoru we wszystkich rurociągach sieci

dla wybranego dnia o temperaturze otoczenia  $T = -16^{\circ}\text{C}$ . Wyraźnie większe (3,4 razy większe) obciążenie sieci jest obserwowane w przypadku transportu siecią czystego wodoru w porównaniu do gazu ziemnego wysokometanowego. Wzrost obciążenia sieci skutkuje wzrostem nadciśnienia strumieni w rurociągach sieci.

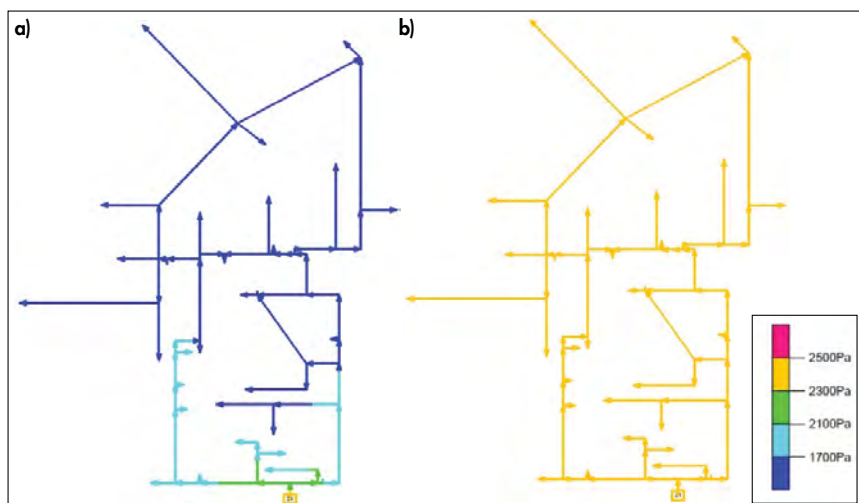
Na rys. 5 przedstawiono wyniki nadciśnienia gazu lub wodoru w rurociągach, uzyskane podczas symulacji przepływu w sieci przy maksymalnej wielkości nadciśnienia strumienia zasilającego sieć  $P_{we} = 2500\text{ Pa}$ . W przypadku transportu siecią wodoru (rys. 5a) w większości rurociągów nadciśnienie jest znacznie mniejsze niż nadciśnienie minimalne (1700 Pa), co pokazuje, że sieć ta nie ma zdolności do transportu wodoru do odbiorców (przyjmując limity nadciśnienia dla sieci gazowej niskiego ciśnienia) lub należy zwiększyć nadciśnienie strumienia w stacji redukcyjnej. Natomiast nadciśnienie strumieni gazu ziemnego we wszystkich rurociągach są większe niż 2300 Pa, co oznacza, że w sieci są jeszcze rezerwy przepustowości dla gazu ziemnego lub można obniżyć nadciśnienie strumienia zasilającego sieć. Dlatego też podczas symulacji przepływu wyznaczono najniższe nadciśnienie strumienia gazu ziemnego lub wodoru zasilającego sieć, ale wystarczające do transportu gazu do każdego przyłącza sieci pod nadciśnieniem większym niż 1700 Pa. Wyniki symulacji w postaci rozkładu nadciśnienia strumieni gazu ziemnego lub wodoru w rurociągach w dniu o temperaturze otoczenia  $T = -16^{\circ}\text{C}$  ilustruje rys. 6. Wykazano, że nadciśnienie wejściowe strumienia wodoru może być nawet 1,9 razy większe w porównaniu do nadciśnienia strumienia gazu ziemnego i jest znac-



Rys. 6. Rozkład nadciśnienia strumieni w rurociągach sieci,  $T = -16^{\circ}\text{C}$ ; a) wyniki dla  $\text{H}_2$ ,  $P_{we} = 3545\text{ Pa}$ ; b) wyniki dla gazu ziemnego NG,  $P_{we} = 1898\text{ Pa}$   
 Fig. 6. Distribution of gas overpressure in network pipelines,  $T = -16^{\circ}\text{C}$ ; a) results for  $\text{H}_2$ ,  $P_{we} = 3545\text{ Pa}$ ; b) results for natural gas NG,  $P_{we} = 1898\text{ Pa}$



Rys. 7. Rozkład nadciśnienia mieszaniny gazu ziemnego i wodoru w rurociągach sieci,  $T = -16^{\circ}\text{C}$ ,  $P_{we} = 2500\text{ Pa}$ ; a)  $Q_m = 489\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $y_{\text{H}_2} = 0.15$ , b)  $Q_m = 555\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $y_{\text{H}_2} = 0.3$   
 Fig. 7. Distribution of overpressure of a mixture of natural gas and hydrogen in the pipelines of the network,  $T = -16^{\circ}\text{C}$ ,  $P_{we} = 2500\text{ Pa}$ ; a)  $Q_m = 489\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $y_{\text{H}_2} = 0.15$ , b)  $Q_m = 555\text{ m}^3/\text{h}$ ,  $y_{\text{H}_2} = 0.3$



Rys. 5. Rozkład nadciśnienia strumieni w rurociągach sieci,  $T = -16^{\circ}\text{C}$ ,  $P_{we} = 2500\text{ Pa}$ ; a) wyniki dla wodoru  $\text{H}_2$ ,  $Q_{(\text{H}_2)} = 1494\text{ m}^3/\text{h}$ ; b) wyniki dla gazu ziemnego NG,  $Q_{(\text{NG})} = 437\text{ m}^3/\text{h}$   
 Fig. 5. Distribution of gas overpressure in network pipelines,  $T = -16^{\circ}\text{C}$ ,  $P_{we} = 2500\text{ Pa}$ ; a) results for hydrogen  $\text{H}_2$ ,  $Q_{(\text{H}_2)} = 1494\text{ m}^3/\text{h}$ ; b) results for natural gas NG,  $Q_{(\text{NG})} = 437\text{ m}^3/\text{h}$

nie większe niż maksymalne nadciśnienie dla sieci niskiego ciśnienia. Można więc stwierdzić, że w tym przypadku i przy zachowaniu warunków analogicznych jak dla transportu gazu ziemnego siecią niskiego ciśnienia nie można przesyłać wodoru w dniach o dużym zapotrzebowaniu na energię (np. w sezonie zimowym).

W celu oceny możliwości sieci do transportu mieszanin gazu ziemnego i wodoru wykonano symulację przepływu mieszanin o zadanym udziale wodoru w gazie ziemnym dla danych wejściowych charakteryzujących maksymalne pobory mieszanin w przyłączach sieci (w dniu o temperaturze  $T = -16^{\circ}\text{C}$ ). Wielkości strumieni mieszanin o udziale objętościowym wodoru  $y_{\text{H}_2} = 0,15$  lub  $0,3$  pobieranych we wszystkich przyłączach sieci wyznaczono na podstawie zależności (1) oraz (5).

Wyniki symulacji w postaci rozkładu nadciśnienia mieszanin gazu i wodoru w rurociągach sieci dla nadciśnienia strumienia zasilaającego  $P_{we} = 2500$  Pa zamieszczono na rys. 7. Dodanie do gazu ziemnego 15% lub 30% wodoru wpływa na wzrost strumienia mieszaniny transportowanej siecią, jednak przy maksymalnym nadciśnieniu strumienia na wejściu do sieci we wszystkich rurociągach sieci obserwuje się nadciśnienie większe niż 2300 Pa, co wskazuje na zdolność sieci do transportu mieszanin o takim składzie nawet przy dużym obciążeniu sieci w sezonie zimowym. Analogiczne wyniki symulacji, jednak uzyskane dla minimalnej wielkości nadciśnienia strumienia mieszaniny gazu i wodoru w ilości 15% lub 30% zamieszczono na rys. 8. Wykazano, że sieć można przesyłać mieszaniną gazu i wodoru ( $y_{H_2} < 30\%$ ) przy nadciśnieniu na wejściu do sieci znacznie mniejszym niż 2500 Pa, co w przypadku sieci polietylenowej i obecności w gazie wodoru ma znaczenie, gdyż zmniejsza przenikanie wodoru przez ścianki rurociągu.

Symulacje przepływu gazu lub jego mieszanin z wodorem, wykonane dla czterech wybranych temperatur otoczenia  $T =$

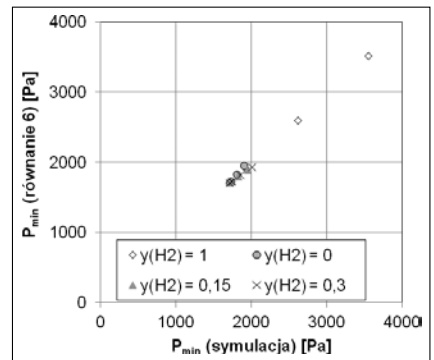
$-16, -4, 10$  oraz  $18^\circ\text{C}$  umożliwiły wyznaczenie minimalnych wartości nadciśnienia strumienia zasilaającego sieć. Rezultaty obliczeń zamieszczone na rys. 9 pokazują, że wzrost temperatury otoczenia oraz wielkości ciepła spalania wpływają na mniejsze obciążenie sieci, dzięki czemu nadciśnienie strumienia zasilaającego sieć także się zmniejsza.

Na podstawie wyznaczonych podczas symulacji minimalnych wartości nadciśnienia strumienia zasilaającego sieć opracowano równanie (6), na podstawie którego można oszacować wartość nadciśnienia na wejściu do sieci gazowej w zależności od składu mieszaniny oraz temperatury otoczenia  $T$  (średni względny błąd równania wynosi 1%, maksymalny 3%). Porównanie wartości minimalnego nadciśnienia strumienia wyznaczonego z równania (6) oraz uzyskanego podczas symulacji dla czterech temperatur oraz czterech rodzajów gazu ilustruje rys. 10.

$$P_{min} = aT^2 + bT + c \quad (6)$$

gdzie:

$$a = 1,464y_{H_2}^2 - 0,5154y_{H_2} + 0,1528 \quad (7)$$



Rys. 10.

Porównanie minimalnego nadciśnienia strumienia wyznaczonego z zależności (6) i uzyskanego podczas symulacji przepływu

Fig. 10. Comparison of the minimum overpressure of the stream determined from the dependence (6) and obtained during the flow simulation

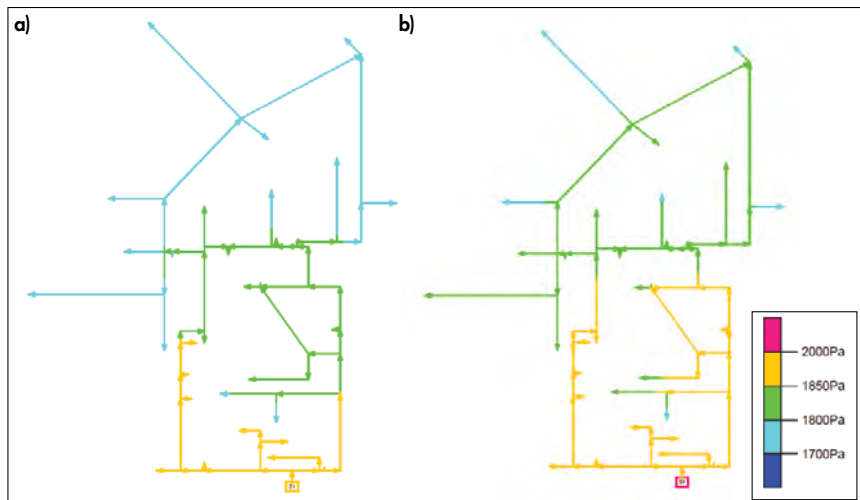
$$b = -71,589y_{H_2}^2 + 24,329y_{H_2} - 7,7496 \quad (8)$$

$$c = 843,43y_{H_2}^2 - 279,38y_{H_2} + 1794,3 \quad (9)$$

Utrzymywanie w sieci rurociągów wykonanych z PE możliwie najmniejszego nadciśnienia, zwłaszcza w przypadku dodawania do gazu ziemnego wodoru lub transportu czystego wodoru pozwala zmniejszyć ilość wodoru, która może przeniknąć przez ścianki gazociągów. Gaz ziemny, którego głównym składnikiem jest metan charakteryzuje się znacznie mniejszą wartością współczynnika przenikalności gazu niż wódór, stąd im większy udział wodoru w mieszaninie z gazem ziemnym, wyższe nadciśnienie w sieci oraz większa długość rurociągów sieci, tym większa objętość gazu przenika przez ścianki rurociągów. Objętość gazu  $V$  [ $\text{cm}^3$ ], który przenika przez ściankę rurociągu lub sieci o długości  $L$  [m], wykonanego z PE dla zadanego szeregu wymiarowego SDR i współczynnika przenikalności gazu  $K$  [ $\text{cm}^3/(\text{m MPa doba})$ ] dla wybranych wielkości nadciśnienia gazu  $P_{min}$  [MPa] w okresie  $t = 365$  dni wyznaczono z zależności [8]:

$$V = K\pi P_{min} tL(\text{SDR}) \quad (10)$$

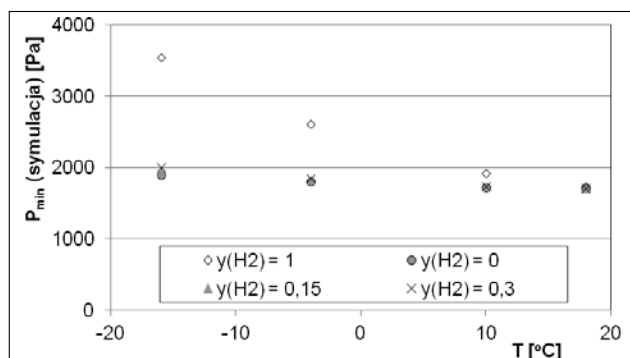
Wyniki obliczeń objętości wodoru lub metanu przenikających przez ścianki sieci rurociągów z rys. 1 dla wyznaczonych podczas symulacji wielkości minimalnego nadciśnienia w sieci w zależności od temperatury otoczenia zestawiono w tabeli 2. Znacznie większa wartość współczynnika przenikalności  $K$  dla wodoru oraz większe nadciśnienie gazu w sieci powodują, że większa objętość wodoru niż metanu przenika przez ścianki rurociągów sieci. Wyniki zamieszczone w tabeli 2 pokazują, że nie są to bardzo duże objętości, jednak biorąc pod



Rys. 8.

Rozkład nadciśnienia mieszaniny gazu ziemnego i wodoru w rurociągach sieci,  $T = -16^\circ\text{C}$ ; a)  $Q_m = 489$   $\text{m}^3/\text{h}$ ,  $y_{H_2} = 0,15$ ,  $P_{we} = 1942$  Pa, b)  $Q_m = 555$   $\text{m}^3/\text{h}$ ,  $y_{H_2} = 0,3$ ,  $P_{we} = 2004$  Pa

Fig. 8. Distribution of overpressure of a mixture of natural gas and hydrogen in the pipelines of the network,  $T = -16^\circ\text{C}$ ; a)  $Q_m = 489$   $\text{m}^3/\text{h}$ ,  $y_{H_2} = 0,15$ ,  $P_{we} = 1942$  Pa, b)  $Q_m = 555$   $\text{m}^3/\text{h}$ ,  $y_{H_2} = 0,3$ ,  $P_{we} = 2004$  Pa



Rys. 9.

Wykres zależności minimalnego nadciśnienia  $P_{min}$  strumienia zasilaającego sieć w funkcji temperatury  $T$   
Fig. 9. Graph of the dependence of the minimum overpressure  $P_{min}$  of the stream supplying the network as a function of temperature  $T$

uwagę, że jest to sieć niskiego ciśnienia a granice wybuchowości dla wodoru wyznaczają szerszy przedział, w którym powstaje mieszanina wybuchowa (od 4,1% do 74,2%), to może mieć znaczenie przy wprowadzaniu wodoru do sieci miejskiej.

**Tabela 2. Wyniki obliczeń objętości metanu lub wodoru, które przenikają przez ścianki rurociągów sieci z rys. 1**

**Table 2. Calculation results of the volume of methane or hydrogen that permeate through the walls of the pipelines of the network shown in Fig. 1**

K [cm <sup>3</sup> /(m MPa doba)]	H <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>	
	P <sub>min</sub> [Pa]	V [m <sup>3</sup> ]	P <sub>min</sub> [Pa]	V [m <sup>3</sup> ]
2.20			0.56	
T [°C]				
-16	3545	0.345	1898	0.0466
-4	2611	0.252	1800	0.0442
10	1918	0.185	1724	0.0423
18	1727	0.167	1704	0.0418

## Podsumowanie

Dodawanie wodoru do gazu ziemnego transportowanego siecią niskiego ciśnienia

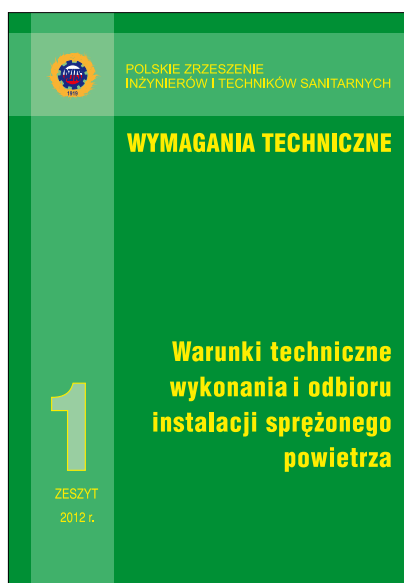
może być metodą zagospodarowania nadwyżek energii elektrycznej pochodzącej ze źródeł odnawialnych i ograniczania emisji gazów cieplarnianych. Jednak wprowadzanie do sieci gazowej innych paliw gazowych, znacznie różniących się właściwościami od gazu ziemnego, ma istotny wpływ na parametry pracy sieci i proces transportu gazu do odbiorców. Dodanie wodoru do gazu powoduje obniżenie ciepła spalania powstałej mieszaniny gaz – wodór, co skutkuje transportem większych strumieni mieszaniny przy znacznie większym nadciśnieniu w sieci i większą przenikalnością wodoru przez ścianki rurociągów wykonanych z PE. W przypadku transportu siecią czystego wodoru nadciśnienie wodoru w sieci może być znacznie większe niż dopuszczalne w sieci gazowej niskiego ciśnienia.

## LITERATURA

- [1] Zhao Y., McDomell V., Samuelsen S. Influence of hydrogen addition to pipeline natural gas on the combustion performance of cooktop

- burner. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2019, 44, 12239-12253
- [2] Jaworski J., Kukulska-Zajac E., Kułaga P. Wybrane zagadnienia dotyczące wpływu dodatku wodoru do gazu ziemnego na elementy systemu gazowniczego. *Nafta-Gaz*, 2019, 10, 625-632
- [3] Gondal I. A. Hydrogen integration in power-to-gas networks. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2019, 44(3), 1803-1815
- [4] Szoplík J., Stelmasińska P. Analysis of gas network storage capacity for alternative fuels in Poland. *Energy*, 2019, 172, 343 – 353.
- [5] Szoplík J. Application of Flow Simulation Results in the Calculation of Gas Networks. *Practical Aspects of Chemical Engineering: Selected Contributions from PAIC 2019*, 461-472
- [6] Szoplík J., Ciuksza M. Sterowanie przepływem gazu w sieci na podstawie wyników symulacji przepływu. *Instal*, 2020, 4, 17-21; DOI 10.36119/15.2020.4.3
- [7] Szoplík J. Forecasting of natural gas consumption with artificial neural networks. *Energy*, 2015, 85, 208 – 220.
- [8] Praca pod redakcją A. Barczyńskiego. *Sieci gazowe polietylenowe. Projektowanie, budowa, użytkowanie. SITPniG – Ośrodek Szkolenia i Rzeczoznawstwa w Poznaniu – Grupa Terenowa Rzeczoznawców, Poznań, 2006*

# Warunki techniczne wykonania i odbioru instalacji sprężonego powietrza



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

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

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

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

Cena 1 egz. 40 zł + 5% VAT

Sprzedaż prowadzi:

Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”

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



Jeszcze można zamawiać prenumeratę miesięcznika Instal na 2021 rok.

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

# Analiza budowy sieci gazowej wysokiego ciśnienia metodą wykopową i bezwykopową w aspekcie ekonomicznym

Economic analysis of a high-pressure gas network construction using the excavation and trenchless methods

ADAM KRAMŻA, FLORIAN PIECHURSKI

DOI 10.36119/15.2021.5.4

Budowa, rozbudowa i modernizacja gazociągów przesyłowych i dystrybucyjnych wysokiego ciśnienia ma kluczowe znaczenie dla krajowego oraz międzynarodowego systemu dystrybucji gazu. Inwestycje w sektorze transportu gazu ziemnego wiążą się z dużymi nakładami pieniężnymi, materiałowymi i godzinami robót. Przedmiotem niniejszej pracy jest analiza budowy sieci gazowych wysokiego ciśnienia metodą wykopów otwartych i bezwykopową pod względem ekonomicznym. W opracowaniu ukazano opis przedmiotowych metod wykonania robót budowlanych z uwzględnieniem stosowanych materiałów, urządzeń technologicznych oraz organizacji pracy na placu budowy. Analiza przedstawia projekty budowy gazociągu wysokiego ciśnienia DN200 o długości około 1814 m w miejscowości Z oraz DN500 o długości około 312 m w M. Na podstawie warunków technicznych i wymagań projektowych wykonania inwestycji przedstawiono zestawienia materiałów i surowców, urządzeń i maszyn budowlanych oraz wymaganych roboczogodzin na potrzeby budowy w technologii wykopu otwartego oraz bezwykopowej. Po przedstawieniu kosztów inwestycji oraz czynników mających zasadniczy wpływ na termin wykonania sieci gazowych porównano oba systemy wykonania robót. W niniejszej pracy poruszono zależności pomiędzy technologią budowy gazociągu wysokiego ciśnienia w zależności od panujących warunków terenowych, założeń projektowych i długości odcinka sieci a efektywnością i kosztami wykonania robót. Znaczenie tychże czynników zostało podniesione, aby na etapie planowania i projektowania inwestycji wybierać bardziej ekonomiczną technologię wykonania budowy.

*Słowa kluczowe: sieć gazowa, budowa wykopowa, budowa bezwykopowa, analiza kosztów budowy*

The construction, extension and modernization of high pressure gas transmission and distribution pipelines is crucial for the national and international gas distribution system. Investments in the natural gas transport sector involve large amounts of money, materials and working hours. The subject of this work is the analysis of the high pressure gas pipelines construction by the open excavation and trenchless method in economic terms. The study presents a description of the construction methods including materials, technological devices and work organization at the construction site. The analysis presents construction projects of the high-pressure gas pipeline DN200 with a length of about 1814 m in Z and DN500 with a length of about 312 m in M. Based on the technical conditions and design requirements for the investment, lists of materials and raw materials, construction equipment and machinery as well as the required man hours were presented for the construction in trench and trenchless technology. After presenting the construction costs and factors that significantly affect the deadline for gas pipelines both construction systems were compared. This work discussed the relationship between the technology for building a high pressure gas pipeline depending on the prevailing field conditions, design assumptions and the length of the pipeline section, and the efficiency and costs of carrying out the works. The significance of these factors has been raised to choose a more economical construction technology at the investment planning and design stage.

*Keywords: gas network, excavation construction, trenchless construction, construction cost analysis*

## Wprowadzenie

Rozwój gospodarczy, nowe technologie i stale rosnące zapotrzebowanie na energię elektryczną determinują zwiększanie się udziału efektywniejszych i bardziej ekologicznych źródeł energii. Stopniowo redukowane jest zużycie paliw stałych, które zastępowane są paliwem gazowym. Polski system gazowniczy opiera się głównie o pozyskiwany z importu gaz ziemny istniejącymi gazociągami oraz regazyfikowany w terminalu LNG w Świnoujściu gaz skroplony transportowany drogą morską. W związku z rosnącym

udziałem gazu w gospodarce na przestrzeni ostatnich lat, aby zapewnić dostawy do odbiorców indywidualnych oraz obiektów przemysłowych rozbudowywane są sieci gazowe przesyłowe i dystrybucyjne wraz z infrastrukturą gazową. Duża liczba realizowanych inwestycji na potrzeby transportu surowca sprawia, że budowa nowego uzbrojenia terenu musi być jak najbardziej efektywna, a czas robót i poniesione koszty zoptymalizowane. Do realizacji prac używane są coraz lepsze urządzenia, maszyny budowlane i technologie. Odpowiednia organizacja robót pozwala maksymalnie usprawnić proces budowlany, a stosowane materiały - zgodne

mgr inż. Adam Kramża, dr inż. Florian G. Piechurski <https://orcid.org/0000-0001-8065-962X> – Katedra Inżynierii Wody i Ścieków, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Politechnika Śląska Gliwice. Adres do korespondencji/Corresponding author: Florian.Piechurski@polsl.pl

z wymogami prawa i normami - minimalizują możliwość wystąpienia awarii podczas montażu i eksploatacji. Wszystkie działania na etapie planowania, projektowania i budowy inwestycji powinny być dobierane w taki sposób, aby zapewnić najkorzystniejsze w aspekcie ekonomicznym rozwiązania.

### Budowa sieci gazowej w/c DN200, L = 1814 m

Projektowana inwestycja zlokalizowana jest w miejscowości **Z**. Przedmiotowa budowa położona jest na terenach stanowiących łąki oraz pola uprawne. Obszar nie znajduje się w granicach wpływów eksploatacji górniczej oraz nie podlega ochronie przyrodniczej i nie jest wpisany do rejestru zabytków. Na terenie projektowanej budowy znajduje się rów melioracyjny oraz droga wewnętrzna utwardzona tłuczniem drogowym, z którymi występuje skrzyżowanie budowanego gazociągu. Na obszarze znajduje się również droga asfaltowa i zabudowania poza trasą budowanego rurociągu, istniejące uzbrojenie, takie jak: sieci gazowe czynne oraz wyłączone z użytku, podziemna sieć elektroenergetyczna i napowietrzne linie elektroenergetyczne.

Na potrzeby oceny warunków podłoża gruntowego przeprowadzono wierceńca wzdłuż trasy nowo budowanego gazociągu do głębokości 5,0 m p.p.t. przy użyciu wiertnicy mechanicznej. Pierwszą warstwą jest gleba o miąższości od 0,2 m do 0,4 m, pod którą zalegają średnio zagęszczone piaski średnie i gliny piaszczyste o konsystencji plastycznej oraz na głębokościach od 3,5 m do 5,0 m piaski grube z domieszką żwiru o stanie zagęszczonym. Zwierciadło wód gruntowych zlokalizowano na głębokościach od 2,8 m do 3,2 m p.p.t. Grunty na tym obszarze są gruntami wilgotnymi. Dla lokalizacji inwestycji głębokość przemarzania gruntu wynosi 1,0 m p.p.t. Nośność gruntów została zaliczona do grupy G3 – grunty bardzo wysadzinowe. Pod względem urabialności zalegające grunty należą do III-IV kategorii.

W oparciu o wykonane badania projektowaną inwestycję zaliczono do II kategorii geotechnicznej w prostych warunkach gruntowych. W gruncie nie występują utwory, które uniemożliwiłyby budowę gazociągów metodą wykopów otwartych lub bezwykopowo przewiertem HDD.

Realizowana inwestycja jest budową nowego odcinka gazociągu wysokiego ciśnienia wzdłuż istniejącego rurociągu pomiędzy istniejącymi zespołami zaporowo-upustowymi. Sieć gazowa zostanie włączona do czynnego gazociągu. Istniejący gazociąg docelowo - po wykonaniu inwestycji oraz przełączeniu - pozostanie w gruncie zasłepiony i unieczynniony. Strefa kontrolowana budowanego gazociągu wynosi 6 m. Zaprojektowano posadowienie gazociągu na głębokości 2,0 m p.p.t. na 10 cm podsypce piaskowej z zastosowaniem zasypki o grubości 20 cm. Na potrzeby wykonywania prac budowlanych przewidziano pas montażowy o szerokości 15 m.

W miejscach zmian kierunku gazociągu instalowane są fabrycznie wykonane łuki o odpowiednio wykształconych kątach i minimalnym promieniu gięcia  $5 \times DN = 1,0$  m. W przypadku kątów mniejszych od  $10^\circ$  stosuje się rury gięte na budowie o promieniach  $25 \times DN = 5,0$  m. Łączenie rur oraz kształtek realizowane jest poprzez spawanie elektryczne wykonywane przez wykwalifikowanych spawaczy. Roboty, a w szczególności wykonane spoiny montażowe, podlegają kontroli wizualnej oraz badaniom radiograficznym i ultradźwiękowym w pełnym zakresie budowanego gazociągu.

Po odbiorze prac spawalniczych wykonuje się badania połączeń oraz próby szczelności na ciśnienie  $p = 1,1 \text{ MOP}_{\text{wej}} = 6,93 \text{ MPa}$  i wytrzymałości na ciśnienie  $p = 1,5 \text{ MOP}_{\text{wej}} = 9,45 \text{ MPa}$ . Czas trwania prób hydraulicznych wynosi minimum 24 godziny. Przed przystąpieniem do prób rurociąg poddawany jest czyszczeniu.

Tabela 1. Dane techniczne gazociągu DN200 L=1814 m w Z  
Table 1. Gas pipeline technical data DN200 L=1814 m in Z

Średnica	DN200 (219,1x7,1) [mm]
Długość całkowita	1814 [m]
Izolacja	3LPE / 3LPP
<b>Parametry wytrzymałościowe:</b>	
Granica plastyczności	360 [MPa]
Wytrzymałość na rozciąganie	460 [MPa]
Rodzaj gazu	E (GZ-50) wysokometanowy
Maksymalne ciśnienie robocze	2,5 [MPa]

Ochroną antykorozyjną rur przewodowych jest fabryczna powłoka 3PLE – polietylenowa, a w przypadku budowy bezwykopowej 3LPP- polipropylenowa. Miejsca łączenia rur oraz kształtek po sprawdzeniu i odbiorach prac spawalniczych izoluje się rękawami termokurczliwymi oraz taśmami izolującymi. Wszystkie powłoki gazociągu podlegają badaniu jakości za pomocą wysonapięciowego defektoskopu.

W związku z włączeniem nowobudowanego gazociągu do czynnej sieci gazowej połączenie to wykonywane jest metodą hermetyczną bezpostojową – Williamsona.

Trasę budowanego gazociągu znakuje się za pomocą betonowych słupków oznaczeniowych w miejscach zmiany kierunku oraz taśmą ostrzegawczą na wysokości 40 cm nad rurociągiem na całej jego długości.

### Budowa sieci gazowej w/c DN500, L = 312 m

Inwestycja zlokalizowana jest w miejscowości **M**. Przedmiotowa budowa położona jest na terenach nieużytków stanowiących łąki oraz tereny rolnicze. Obszar nie znajduje się w granicach wpływów eksploatacji górniczej oraz nie podlega ochronie przyrodniczej i nie jest wpisany do rejestru zabytków. Na terenie projektowanej budowy znajduje się rów melioracyjny, droga gminna o nawierzchni asfaltowej oraz droga wewnętrzna utwardzona tłuczniem drogowym, z którymi występuje skrzyżowanie budowanego gazociągu. Na danym obszarze występuje istniejące uzbrojenie, takie jak: sieć gazowa, sieć elektroenergetyczna, sieć telekomunikacyjna, sieć wodociągowa, sieć kanalizacji sanitarnej i deszczowej oraz napowietrzne linie elektroenergetyczne i telekomunikacyjne.

Na potrzeby oceny warunków podłoża gruntowego przeprowadzono wierceńca wzdłuż trasy nowobudowanego gazociągu do głębokości 5,0 m p.p.t. przy użyciu wiertnicy mechanicznej. Pod warstwą gleby rozpoznano utwory czwartorzędowe. Pierwszą warstwą jest gleba o miąższości od 0,2 m do 0,5 m, pod którą zalegają średnio zagęszczone piaski drobne z domieszką żwiru, piaski drobne przewarstwione piaskiem średnim lub gliniastym, piaski gliniaste o konsystencji twardeplastycznej oraz na głębokościach od 4,3m do 5,0m piaski drobne i pylaste o stanie średnio zagęszczonym i zagęszczonym. Zwierciadło wód gruntowych zlokalizowano na głębokościach od 2,9 m do 3,3 m p.p.t. Grunty na danym obszarze są gruntami wilgotnymi. Dla danej lokalizacji inwestycji głębokość przemarzania gruntu wynosi 1,0 m p.p.t. Nośność gruntów została zaliczona do grupy G3 – grunty bardzo wysadzinowe. Pod względem urabialności zalegające grunty należą do III-IV kategorii. W oparciu o wykonane badania projektowaną inwestycję zaliczono do II kategorii geotechnicznej w prostych warunkach gruntowych. W gruncie nie występują utwory, które uniemożliwiłyby budowę gazociągów metodą wykopów otwartych lub bezwykopowo przewiertem HDD.

Realizowana inwestycja jest budową nowego odcinka gazociągu wysokiego ciśnienia w miejscu pierwotnie istniejącego odcinka wyłączanego z eksploatacji. Przedsięwzięcie polega na połączeniu istniejących sieci przez nowobudowany odcinek.

**Tabela 2. Dane techniczne gazociągu DN500 L=312 m w M**  
**Table 2. Gas pipeline technical data DN500 L=312 m in M**

Średnica	DN500 (508,0 x 12,5) [mm]
Długość całkowita	312 [m]
Materiał	Rury stalowe L415 MB bez szwu walcowane na gorąco przeznaczone do transportu mediów palnych
Izolacja	3LPE/3LPPP
<b>Parametry wytrzymałościowe:</b>	
Granica plastyczności	415 [MPa]
Wytrzymałość na rozciąganie	520 [MPa]
Rodzaj gazu	E (GZ-50) wysokometanowy
Maksymalne ciśnienie robocze	6,3 [MPa]

Budowana sieć gazowa jest prostym odcinkiem bez zmian kierunków i zastosowania łuków.

Łączenie rur, próby przy odbiorze, ochrona i oznakowanie trasy są identyczne jak dla gazociągu DN 200.

Włączenie nowobudowanego odcinka do sieci rozwiązane jest przez demontaż króćców zaślepiających unieczynnione rurociągi, przygotowanie ich do eksploatacji i połączenie przez spawanie.

### Zagospodarowanie terenu budowy

Budowa gazociągu wymaga wyznaczenia i przygotowania miejsc stanowiących składowiska materiałów, urządzeń oraz maszyn technologicznych. Część z nich pracuje na terenie wyznaczonego pasa montażowego wzdłuż trasy budowanego rurociągu. Transport materiałów na plac budowy wymaga przygotowania ciągów komunikacyjnych, aby potrzebne elementy mogły być dostarczane w miejsce montażu. Wykorzystywana powierzchnia w zależności od rodzaju terenu, właściciela oraz sposobu jego użytkowania wiąże się z opłatami z tytułu: powstałych uszkodzeń, wejścia na teren i zajęcia pasa drogowego lub obszaru Skarbu Państwa. Większa powierzchnia zajęcia skutkuje większymi nakładami na prace porządkowe i koniecznością odtwarzania naruszonych nawierzchni. W przypadku terenów zagospodarowanych, wykorzystywanych gospodarczo, umocnionych i ulepszonych będzie to miało szczególne znaczenie. W poniższych zestawieniach określono powierzchnie terenu przeznaczone na dany element placu budowy oraz związane z pracami ziemnymi. Na podstawie długości budowanych gazociągów, wymaganych szerokości wykopów i głębokości posadowienia porównywanych rurociągów określono podstawowe objętości i powierzchnie odkładu. Wyniki analizy przedstawiono na wykresach zależności powierzchni lub objętości od technologii wykonywanych robót. Zestawiono budowę gazociągów wysokiego ciśnienia DN200 o długości 1814m w Z i DN500 o długości 312 m w M.

### Budowa sieci gazowej w/c DN200, L = 1814 m

**Tabela 3. Teren budowy gazociągu DN200 L = 1814m Z**  
**Table 3. Gas pipeline construction site DN200 L = 1814 m in Z**

Teren budowy gazociągu DN200, L=1814 m			
Sposób wykonania robót		Wykop otwarty	Przewiert HDD
	Sposób zagospodarowania	Powierzchnia	Powierzchnia
1.	Miejsce składowania materiałów	450 m <sup>2</sup>	210 m <sup>2</sup>
2.	Powierzchnia zajęcia przez maszyny budowlane i komunikacja	5541 m <sup>2</sup>	2200 m <sup>2</sup>
3.	Powierzchnia pasa montażowego	27210 m <sup>2</sup>	10920 m <sup>2</sup>
4.	Wykopy otwarte – powierzchnia	1822 m <sup>2</sup>	98 m <sup>2</sup>
5.	Powierzchnia odkładu humusu (0,6m x 1,0m)	1090 m <sup>2</sup>	59 m <sup>2</sup>
6.	Powierzchnia odkładu ziemi z wykopu (1,0m x 2,0m)	3628 m <sup>2</sup>	196 m <sup>2</sup>
7.	Objętość wybranej ziemi	3644 m <sup>3</sup>	196 m <sup>3</sup>
<b>Sumaryczna powierzchnia placu budowy</b>		<b>35 023 m<sup>2</sup></b>	<b>11 448 m<sup>2</sup></b>

### Budowa sieci gazowej w/c DN500, L = 312 m

**Tabela 4. Teren budowy gazociągu DN500 L=312m M**  
**Table 4. Gas pipeline construction site DN500 L=312 m in M**

Teren budowy gazociągu DN500, L=312 m			
Sposób wykonania robót		Wykop otwarty	Przewiert HDD
	Sposób zagospodarowania	Powierzchnia	Powierzchnia
1.	Miejsce składowania materiałów	70 m <sup>2</sup>	40 m <sup>2</sup>
2.	Powierzchnia zajęcia przez maszyny budowlane, i komunikacja	312 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>
3.	Powierzchnia pasa montażowego	4 680 m <sup>2</sup>	320 m <sup>2</sup>
4.	Wykopy otwarte – powierzchnia	324 m <sup>2</sup>	12 m <sup>2</sup>
5.	Powierzchnia odkładu humusu (0,6m x 1,0m)	187 m <sup>2</sup>	8 m <sup>2</sup>
6.	Powierzchnia odkładu ziemi z wykopu (1,0m x 2,0m)	624 m <sup>2</sup>	24 m <sup>2</sup>
7.	Objętość wybranej ziemi	624 m <sup>2</sup>	24 m <sup>2</sup>
<b>Sumaryczna powierzchnia placu budowy</b>		<b>5 386 m<sup>2</sup></b>	<b>432 m<sup>2</sup></b>

Powierzchnia zagospodarowania terenu składa się przede wszystkim z pasa montażowego, który stanowi największy składnik całego placu budowy. Złożony jest z ciągu komunikacyjnego wzdłuż montowanego rurociągu, pracujących urządzeń technologicznych, maszyn budowlanych i wykopów otwartych wraz z powierzchnią odkładów ziemi i humusu. W przypadku metody bezwykopowej pas jest ograniczony do zagospodarowania podporami na całej długości budowanego odcinka sieci oraz sprzętem służącym do transportu i spawania rur. Porównując zestawione dane i wykresy dla poszczególnych metod, mniejszej powierzchni zajęcia terenu wymaga technologia bezwykopowa, a co za tym idzie minimalizuje czynności związane z odtwarzeniem terenu oraz ewentualnymi opłatami z tytułu jego uszkodzenia. Metoda przewiertu HDD w obu przypadkach, biorąc pod uwagę wymienione elementy, jest bardziej optymalną technologią budowy, ponieważ minimalizuje stopień ingerencji w otoczenie oraz wymaga mniejszej powierzchni montażowej. Porównywane inwestycje zlokalizowane są na terenach łąk i pól uprawnych. W przypadku budowy gazociągu w pasie terenów leśnych lub utwardzonych nawierzchniami betonowymi lub asfaltowymi mniejsza powierzchnia zajęcia oznaczać będzie niższe koszty i czas pracy.

### Koszty budowy

Wykonano kosztorysy budowy gazociągu w/c DN200 w Z oraz DN500 w M w technologii wykopów otwartych i przewiertu HDD. Do ich sporządzenia wykorzystano program kosztorysowy wraz z katalogami norm rzeczowych, aktualne zestawienia informacji o cenach materiałów budowlanych, stawkach robocizny kosztorysowej i pracy sprzętu budowlanego oraz indywidualne wyceny i kalkulacje firm usługowych oraz dystrybutorów materiałów. Kosztorysy dla danej inwestycji zostały uproszczone i przedstawione w poniższych zestawieniach elementów skalonych i składników (tab. 5-7). Całość na potrzeby analizy podzielono na trzy zasadnicze elementy:

- roboty ziemne i przygotowawcze obejmujące etap wykonania wykopów oraz odtwarzania do stanu pierwotnego zajętych powierzchni,
- roboty montażowe gazociągu złożone z prac spawalniczych, izolacyjnych i badań rurociągu,
- roboty montażowe pozostałe, których elementem jest przewiert HDD w przypadku metody bezwykopowej, wykonanie włączenia do czynnej sieci gazowej, montaż bypassu oraz słupka pomiarowego.

Na określone w kosztorysach nakłady finansowe składają się wykorzystane materiały, urządzenia, maszyny, sprzęt oraz





**Fot. 1.**  
Montaż rury gazociągu metodą wykopową  
*Pic.1. Installation of the gas pipeline with the excavation technique*



**Fot. 2.**  
Opuszczanie rury gazociągu do wykopu  
*Pic. 2. Lowering the gas pipeline into the trench*



**Fot. 3.**  
Rura gazociągu ułożona w wykopie  
*Pic. 3. Gas pipeline laid in a trench*



**Fot. 4.**  
I etap montażu - wiercenie pilotowe w metodzie bezwykopowej HDD  
*Pic. 4. 1st stage of assembly - pilot drilling, the HDD trenchless method*



**Fot. 5.**  
II etap montażu - rozwieranie z wciąganiem rury gazowej w metodzie przewiertu HDD  
*Pic. 5. Stage II of the assembly - reaming with pulling of the gas pipe in the HDD drilling method*

godziny pracy robotników. Ze względu na charakter przedmiotowej analizy nie uwzględniono w opracowanych kalkulacjach zysków z budowy inwestycji, kosztów intelektualnych, warunków szkodliwych oraz podatków.

W zestawieniach przedstawiono poszczególne elementy robót budowlanych wraz z całkowitym kosztem realizacji inwestycji w technologii wykopów otwartych oraz metodą przewiertu HDD.

### Budowa sieci gazowej w/c DN200, L = 1800 m w Z

**Tabela 5. Elementy scalone kosztorysu gazociągu w Z**  
*Table. 5. Integrated elements of the gas pipeline cost estimate in Z*

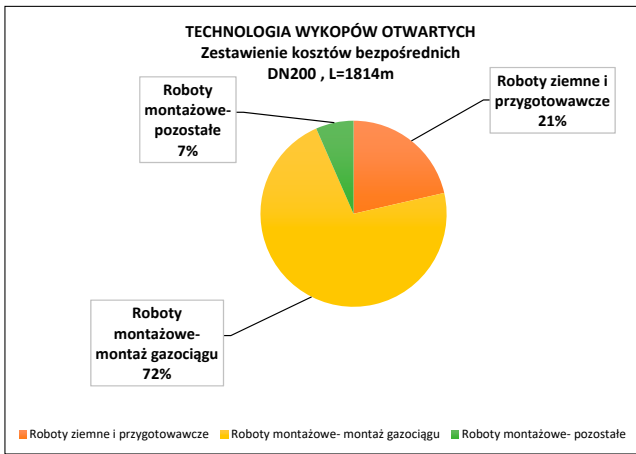
Elementy scalone kosztorysu DN200 L=1814m		
Sposób wykonania robót	Wykop otwarty	Przewiert HDD
Element	Wartość [zł]	Wartość [zł]
1. Roboty ziemne i przygotowawcze	295 110,57	18 857,56
2. Roboty montażowe – montaż gazociągu	992 733,92	968 311,28
3. Roboty montażowe – pozostałe	1 378 417,29	298 172,80
<b>SUMA KOSZTÓW BUDOWY</b>	<b>1 378 417,29</b>	<b>1 285 341,64</b>

Na podstawie opracowanych kalkulacji w przypadku budowy gazociągu DN200 o długości 1814 m można stwierdzić, iż dla obu technologii roboty montażowe gazociągu wymagają zbliżonych nakładów finansowych. Różnica w kosztach wynosi około 25 tys. zł. W przypadku budowy gazociągu metodą wykopów otwartych rurociąg łączony jest w sekcje, które następnie transportowane są do wykopu i spawane, co podnosi koszty budowy. Roboty ziemne i przygotowawcze w przypadku budowy

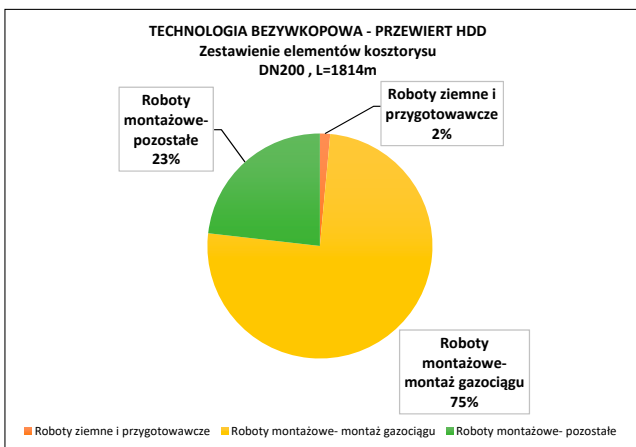


**Fot. 6.**  
Końcowy etap montażu rury gazowej w metodzie przewiertu HDD  
*Pic. 6. The final stage of gas pipe assembly, the HDD drilling method*

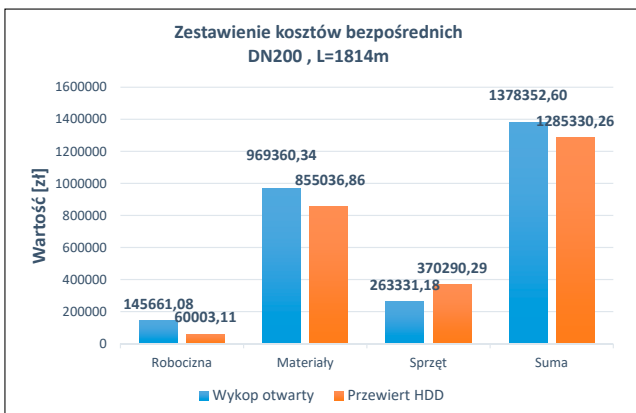
bezwykopowej są zdecydowanie niższe, ze względu na ograniczenie wykopów do komór odbiorczych i nadawczych. Budowany przewiertem HDD gazociąg zaprojektowano poprzez posadowienie bezwykopowe trzech odcinków, które łączone są na łukach. Fakt ten zwiększa koszt prac ziemnych oraz przewiertów HDD zaliczonych do pozostałych prac montażowych, ze względu na konieczność zmian stanowisk. Z wykonanej analizy wynika,



**Rys. 1.**  
**Procentowy wykres kosztów bezpośrednich - DN200 L = 1814m - wykopy otwarte**  
**Fig. 1. Percentage chart of direct costs - DN200 L = 1814m - open excavations**



**Rys. 2.**  
**Procentowy wykres kosztów bezpośrednich - DN200 L = 1814m - przewiert HDD**  
**Fig. 2. Percentage chart of direct costs - DN200 L = 1814m - HDD drilling**



**Rys. 3.**  
**Zestawienie kosztów bezpośrednich - DN200 L = 1814m**  
**Fig. 3. Direct costs breakdown - DN200 L = 1814m**

że tańszą metodą budowy gazociągu w/c DN200 o długości 1814 m jest technologia przewiertu HDD, różnica w koszcie wynosi prawie 100 tys. zł.

Dla analizowanej budowy gazociągu metodą wykopu otwartego największy udział kosztów przypada na roboty montażowe gazociągu wynoszące 72%.

W przypadku technologii przewiertu HDD roboty montażowe gazociągu stanowią 75% całkowitych kosztów. Roboty pozostałe, w tym wykonanie przewiertu 23%.

Zestawienie przedstawione na wykresie (rys.3) podsumowuje koszty bezpośrednie realizowanej inwestycji. Większe nakłady finansowe występują w przypadku robocizny i materiałów dla metody wykopów otwartych. Zgodnie z danymi ujętymi w kalkulacji w przypadku pracowników budowlanych, grupą na którą przypadają największe koszty są robotnicy wykonujący prace ziemne – obsługa koparek, spycharek i pracownicy fizyczni. W przypadku technologii wykopów otwartych przy robotach ziemnych liczba pracujących jest zdecydowanie wyższa. Jeżeli chodzi o materiały różnica wynika w dużej mierze z zastosowanych rur stalowych oraz w przypadku wykopów otwartych piasku stanowiącego podsypkę i zasypkę, a także materiałów do odbudowy rowu melioracyjnego. Dla metody przewiertu wyższe koszty sprzętu od przeciwstawnej technologii związane są z wykorzystaniem na potrzeby posadowienia rur wiertnic i wykonania przewiertów. Z podsumowania kosztów bezpośrednich wynika, że budowa sieci gazowej metodą wykopów otwartych jest droższą i mniej opłacalną ekonomicznie.

## Budowa sieci gazowej w/c DN500 L = 312 m w M

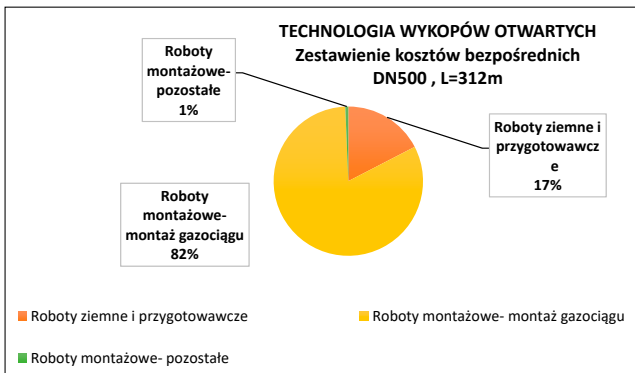
**Tabela 6. Elementy scalone kosztorysu gazociągu w M**  
**Table 6. Integrated elements of the gas pipeline cost estimate in M**

Elementy kosztorysu DN500 L=312m		
Sposób wykonania robót	Wykop otwarty	Przewiert HDD
Element	Wartość [zł]	Wartość [zł]
1. Roboty ziemne	94 016,17	2 971, 25
2. Roboty montażowe – montaż gazociągu	442725,73	441934,01
3. Roboty montażowe – pozostałe	3532,80	150532,80
<b>Sumaryczna powierzchnia placu budowy</b>	<b>540274,70</b>	<b>595438.08</b>

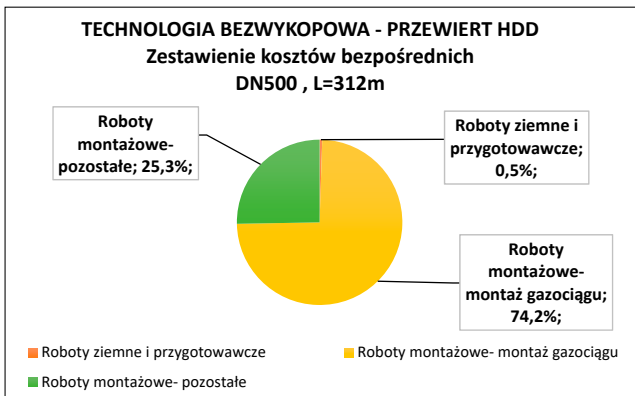
Podsumowanie elementów scalonych kosztorysu budowy gazociągu DN500 L=312 pokazuje zdecydowane różnice w przypadku robót ziemnych i przygotowawczych oraz pozostałych robotach montażowych dla porównywanych technologii posadowienia sieci gazowej. Wpływ na dysproporcję w przypadku robót ziemnych ma przede wszystkim liczba wykonywanych wykopów i prac związanych z urabianiem i zwałowaniem gruntu. W przypadku technologii przewiertu liczba wykopów jest ograniczona do minimum, natomiast zwiększa się wartość prac pozostałych, w których uwzględnione jest przygotowanie stanowiska i praca wiertnicą montującą pospawany rurociąg w gruncie. W przypadku gazociągu DN500 o długości 312 m z opracowanej kalkulacji wynika, iż w danych warunkach tańszą metodą jest budowa sieci metodą wykopów otwartych. Wpływ na to ma przede wszystkim różnica w kosztach wykonania wykopów do głębokości 2,0 m na długości 312 m a przewiertem HDD na tej samej długości w danych warunkach. Ze względu na średnicę DN500 budowanego gazociągu wykonanie przewiertu jest stosunkowo drogie i wynosi zgodnie z opracowanym kosztorysem 147 tys. zł. Koszty wykonania na odcinku 312 m wykopów są o prawie 50 tys. zł niższe. Biorąc pod uwagę całe nakłady na budowę gazociągu metodą uzasadnioną ekonomicznie jest technologia wykopów otwartych, która jest o 55 tys. zł tańsza. Dane warunki montażu, średnica gazociągu i długość sprawiają, że dla danej inwestycji racjonalnym wyborem jest budowa wykopowa.

W przypadku budowy gazociągu DN500 L=312m na podstawie przeprowadzonej analizy, stwierdzono, że największy udział kosztów przypada robotom montażowym, które wynoszą 82% całego przedsięwzięcia. Oszacowana wartość wykopów otwartych stanowi 17% inwestycji.

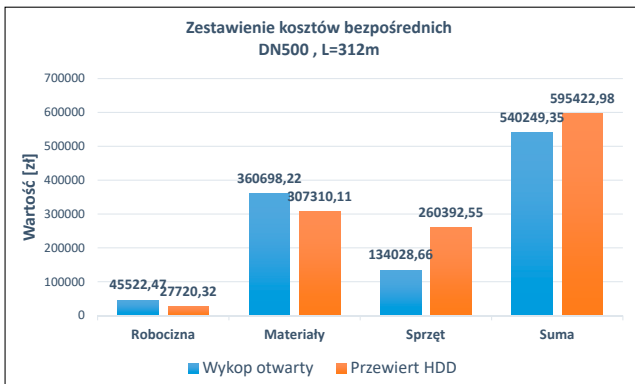
W przypadku technologii przewiertu HDD roboty montażowe gazociągu stanowią 74% całkowitych kosztów. Roboty pozostałe, w tym wykonanie przewiertu 25%.



**Rys. 4.**  
Procentowe zestawienie kosztów DN500 L = 312m  
**Fig. 4. Percentage cost statement DN500 L = 312m**



**Rys. 5.**  
Procentowy wykres kosztów bezpośrednich - DN500 L = 312m  
**Fig. 5. Percentage chart of direct costs - DN500 L = 312m**



**Rys. 6.**  
Zestawienie kosztów bezpośrednich - DN500 L = 312m  
**Fig. 6. Direct costs breakdown - DN500 L = 312m**

### Porównanie inwestycji

Największy udział w kosztach bezpośrednich przypada materiałom. Zgodnie z przygotowanymi kosztorysami elementem o największej wartości są wykorzystane do budowy rury stalowe. Przede wszystkim na cenę rur ma wpływ średnica, grubość ścianki i gatunek stali. Wymagania właściwej jednostki operacyjnej zajmującej się dystrybucją gazu określają szczegółowo parametry jakie musi spełniać projektowany i budowany gazociąg. Wśród nich wyróżnia się maksymalne dopuszczalne ciśnienie robocze, przy którym będzie pracowała sieć gazowa, przepustowość i wymagania materiałowe. Czynniki te wpływają na cenę metra bieżącego danej rury. Ważnym elementem w przypadku materiałów są także armatura i kształtki, których liczba znacznie wpływa na koszty budowy gazociągu, szczególnie w przypadku

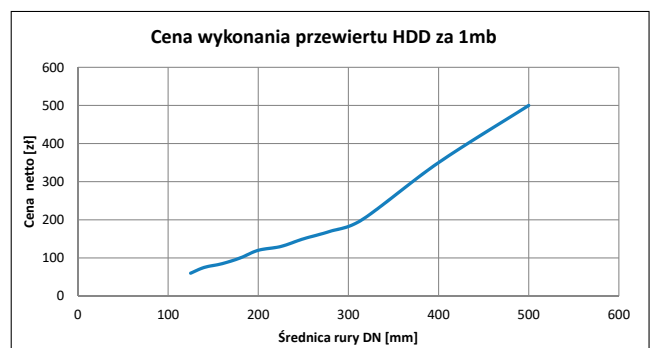
dużych średnic i wysokiego ciśnienia. Projektowana inwestycja włączana jest do czynnej sieci gazowej z wykorzystaniem hermetycznej metody Williamsona i wykonaniem by passu na sieci. Koszt tego przedsięwzięcia zgodnie z wyceną stanowi prawie 40% kosztów materiałowych i ponad 30% robót montażowych.

Zestawiając elementy scalone kalkulacji dla obu projektowanych realizacji widać, iż roboty ziemne i przygotowawcze w przypadku metody wykopów otwartych nie stanowią największych kosztów inwestycji, którymi są roboty montażowe gazociągu. Wartość ta przede wszystkim wynika z rodzaju występujących gruntów na danych obszarach. Zarówno w przypadku Z, jak i M mamy do czynienia ze średnio zagęszczonymi gruntami o odpowiedniej do wykonywania prac ziemnych urobialności. Nie występują także utrudnienia i przeszkody terenowe oraz nawierzchnie asfaltowe lub betonowe, które podnosiły koszt przygotowania wykopów. Projektowane gazociągi zlokalizowane są w pasach terenu stanowiących łąki i tereny uprawne, w związku z czym nie występują duże nakłady finansowe związane z odwarzaniem nawierzchni do pierwotnego stanu. Budowa gazociągów wysokiego ciśnienia wymaga materiałów o odpowiednich wymaganiach, wykwalifikowanych pracowników i szeregu badań, które wpływają na koszty robót montażowych gazociągu. W przypadku budowy bezwykopowej roboty ziemne są do minimum, zapobiegając ingerencji na nawierzchnię terenu.

**Tabela 7. Zestawienie kosztów budowy gazociągów w/c**  
**Table 7. Costs breakdown of building high-pressure gas pipelines**

Inwestycja	Gazociąg w/c DN200 L=1814m		Gazociąg w/c DN500 L=312m	
	Wykop otwarty	Przewiert HDD	Wykop otwarty	Przewiert HDD
1. Koszt budowy	1 378 416,29	1 285 341,64	540 274,70	595 437,06
2. Cena za 100mb	75 987,72	70 856,76	173 164,97	190 845,53
3. Cena za 1 mb	759,88	708,57	1 731,65	1 908,46

Na podstawie uzyskanych wyników i zestawień w przypadku budowy gazociągu w/c DN200 o długości 1814 m w Z metoda bezwykopowa – przewiert HDD jest rozwiązaniem tańszym i bardziej uzasadnionym ekonomicznie. Różnica kosztów budowy porównywanymi metodami wynosi około 100 tys. złotych (tab. 7). W przypadku budowy gazociągu w/c DN500 o długości 312 m racjonalnym wyborem na podstawie analizy jest posadowienie gazociągu z wykorzystaniem metody wykopów otwartych, która wymaga nakładów pieniężnych o około 50 tys zł mniejszych niż w przypadku technologii bezwykopowej (tab. 7). W przeliczeniu na 1 mb gazociągu różnica ceny budowy pomiędzy inwestycjami wynosi ponad 1 tys zł (tab. 7).



**Rys. 7.**  
Budowa sieci gazowej w/c metodą bezwykopową – koszt wykonania przewiertu HDD  
**Fig. 7. High-pressure gas network construction using the trenchless method - cost of HDD drilling**

## Harmonogram robót i czas pracy

Budowa gazociągu i organizacja pracy na budowie przebiegają według uprzednio przygotowanego harmonogramu, zgodnie z którym wykonywane są kolejne etapy robót. Realizacja przedsięwzięcia rozpoczyna się od wykonania prac przygotowawczych polegających na zagospodarowaniu placu budowy i wytyczeniu trasy rurociągu. Kolejnym etapem jest wykonanie prac ziemnych umożliwiających posadowienie gazociągu, w tym wykonanie wykopów oraz zagospodarowanie urabianej ziemi. Po przygotowaniu podłoża następuje montaż gazociągu sekcjami, które transportowane są w miejsce ich posadowienia. Sposób transportu zależy od technologii wykonywanych prac. W przypadku wykopów otwartych wykorzystywane są dźwigi lub żurawie z wyciągiem bocznym, natomiast budowa bezwykopowa – przewiert HDD realizowany jest za pomocą wiertnic. Zakończeniem prac jest wykonanie prób wytrzymałości i szczelności oraz odbiory końcowe.

Na potrzeby oceny czasów realizacji poszczególnych czynności na etapie budowy dla technologii budowy bezwykopowej i wykopów otwartych wyszczególniono najważniejsze z nich oraz całość robót podzielono według typów na prace: przygotowawcze i ziemne, roboty montażowe gazociągu oraz roboty montażowe pozostałe.

### Budowa sieci gazowej w/c L=1814 m

Organizację prac wraz z szacowanym czasem wykonania poszczególnych czynności przedstawiono w tabeli 8 wraz z podziałem na technologie budowy. Część elementów dla obu sposobów wykonywane jest w takim samym czasie i wymaga określonej liczby godzin pracy. Doskonałym przykładem jest czas wykonania próby szczelności, który niezależnie od technologii

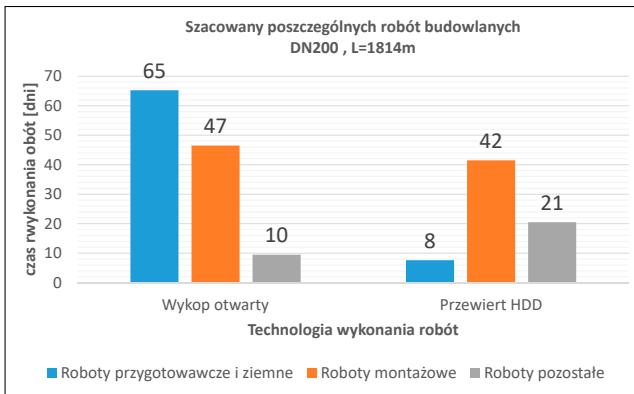
wynosi 24 godziny. W przypadku przewiertu HDD, ze względu na trasę rurociągu oraz zmiany kierunku, przedstawione w części rysunkowej na planie zagospodarowania terenu zostały przewidziane do wykonania trzy przewierci o długościach odpowiednio 150 m, 800 m i 780 m. Technologia bezwykopowa na potrzeby analizy została zakwalifikowana do robót montażowych pozostałych. Przyjęto, że jeden dzień pracy wynosi osiem godzin.

Budowa przedmiotowego gazociągu w technologii wykopu otwartego wymaga największej liczby godzin na potrzeby wykonania prac ziemnych i przygotowania wykopów, w tym odsypiania i urabiania gruntu, zabezpieczenia ścian, a po zakończeniu prac zasypywania wraz z zagęszczaniem i rekultywacją terenu. Czynności te łącznie wymagają 448 godzin pracy, co stanowi prawie połowę całego czasu realizacji inwestycji. Zwrócić szczególną uwagę należy także na konieczność odtwarzania nawierzchni i porządkowania terenu. W danym przypadku dla technologii wykopów otwartych przywracane do stanu pierwotnego są: pas montażowy na całej szerokości, tereny składowania i transportu materiałów oraz utwardzone drogi i rów melioracyjny. Należy podkreślić, że przedmiotowa budowa przebiega przez jezdnię wykonaną z zagęszczonego tłucznia i kruszywa, natomiast w przypadku nawierzchni asfaltowych bądź betonowych nakłady byłyby zdecydowanie wyższe zarówno w kontekście czasu potrzebnego do odbudowy, jak również kosztów odtworzenia. Metoda bezwykopowa nie powoduje ingerencji w nawierzchnie jezdni, rowy, ulepszone i zagospodarowane powierzchnie, co pozwala zdecydowanie ograniczyć powierzchnię przywracania terenu do stanu pierwotnego. Wymagają tego wyłącznie miejsca przygotowanych komór nadawczych i odbiorczych, składowania materiałów i urządzeń oraz teren pracy wiertnicy.

Zestawienie czasu wykonania inwestycji dwiema metodami z podziałem na poszczególne typy czynności i podsumowaniem ich długości trwania przedstawiono na wykresie (rys. 8). Roboty

**Tabela 8. Harmonogram prac budowlanych gazociąg DN200 L=1814 m w Z**  
**Table 8. Construction work schedule DN200 gas pipeline L = 1814 m in Z**

Harmonogram prac budowlanych		
Sposób wykonania budowy	Wykop otwarty	Przewiert HDD
Nazwa czynności	Czas wykonania [h]	Czas wykonania [h]
1. Wstępne przygotowanie i zagospodarowanie placu robót	8	8
2. Odprawa i przeszkolenie pracowników na terenie budowy	2	2
3. Dostawa materiałów i urządzeń na plac budowy i organizacja składowania	8	8
4. Wyznaczenie obszarów wykonywania prac montażowych, spawalniczych, ustawienie sprzętu i urządzeń montażowych.	16	16
5. Geodezyjne wytyczenie trasy gazociągu, niwelacja terenu, oznaczenie.	16	16
6. Wykonanie i zabezpieczenie wykopów otwartych, prace ziemne.	448	8
7. Wykonanie prac spawalniczych i montażowych odcinków gazociągu	180	200
8. Transport sekcji gazociągu do wykopu	24	-
9. Wykonanie prac spawalniczych i montażowych sekcji gazociągu	44	8
10. Wykonanie badań nieniszczących i prób szczelności	24	24
11. Izolacja spoin	32	32
12. Posadowienie trzech sekcji sieci metodą przewiertu HDD	-	144
13. Odkrycie istniejącego gazociągu, wykonanie cięć i przyłączenie do sieci. Prace spawalniczo-montażowe	48	48
14. Kontrola i badania gazociągu	16	16
15. Odbiór techniczny wykonanych robót	4	4
16. Zасыpanie wykopów	24	3
17. Odtworzenie nawierzchni i uporządkowanie terenu	40	4
18. Odbiór końcowy	6	6
19. Wywóz materiałów, utylizacja odpadów	16	4
20. Uporządkowanie placu robót i zakończenie budowy	12	6
Roboty przygotowawcze i ziemne	522 [h]	61 [h]
Roboty montażowe - gazociągu	372 [h]	332 [h]
Roboty montażowe - pozostałe	76 [h]	164 [h]
Całkowity szacowany czas budowy (1 dzień roboczy = 8h)	974 [h] 121 [dni]	557 [h] 69 [dni]



Rys. 8.  
Szacowany czas poszczególnych robót DN200 L = 1814 m w Z  
Fig. 8. Estimated time of individual works DN200 L = 1814 m in Z

montażowe gazociągu dla obu metod mają zbliżone wartości, natomiast istotnym elementem jest to, iż dla budowy bezwykopowej gazociąg montowany jest w jeden odcinek, który następnie posadowiony jest w gruncie. W przypadku układania sieci w wykopach otwartych gazociąg wymaga spawania w sekcje, które następnie transportowane są do gruntu, gdzie łączone są w całość. Transport oraz łączenie odcinków w wykopie wydłużają czas trwania prac montażowych. Biorąc pod uwagę roboty montażowe gazociągu dla obu metod zakres koniecznej do wykonania pracy nie różni się w sposób znaczący. Na czas wykonania spawania i montażu gazociągu wpływają głównie długość rurociągu, średnica i liczba wykonywanych połączeń, które w obu metodach są sobie równe. W przypadku danej inwestycji technologia budowy nie podniesie efektywności wykonania prac spawalniczych i montażowych. Zasadnicza dysproporcja w długości prowadzonych prac jest na etapie robót ziemnych, które obejmują zarówno przygotowanie

wykopów, jak i ich zasypywanie oraz odtwarzanie terenu. Różnica między metodami wynosi 57 dni, co przekłada się na godzinny pracy poszczególnych urzędników, maszyn i pracowników budowlanych. Elementem mającym przełożenie na czas wykonania tych czynności jest długość budowanej sieci, szerokość i głębokość wykopów, kategoria i rodzaj gruntu oraz powierzchnia zajęcia podlegająca po zakończeniu robót odtwarzaniu i rekultywacji.

Metoda bezwykopowa od rozpoczęcia organizacji placu budowy do zakończenia prac i oddania terenu będzie trwała 69 dni, natomiast budowa tradycyjną technologią wykopów otwartych 119 dni.

Dla budowy gazociągu o długości 1814 m w Z, zdecydowanie szybszą metodą jest budowa z wykorzystaniem przewiertu HDD. Całkowity czas jest prawie dwa razy krótszy niż w przypadku posadowienia gazociągu wykonując wykopki otwarte. Metoda bezwykopowa wykluczy konieczność przeprowadzenia prac ziemnych, w tym przygotowania i szalowania wykopów oraz odtwarzania terenu po zakończeniu prac. Szczególną uwagę należy zwrócić na fakt odbudowy naruszonych nawierzchni, takich jak rów melioracyjny i drogi utwardzone, co powoduje wydłużenie czasu budowy. Dla przedmiotowego przedsięwzięcia pod względem szacowanego okresu realizacji inwestycji zdecydowanie bardziej ekonomicznym rozwiązaniem będzie wybór metody bezwykopowej. Ograniczy ona okres i koszt zajęcia terenów. W przypadku obszarów wykorzystywanych w gospodarce rolnej prócz zredukowania ingerencji w powierzchnię terenu, pozwoli na krótsze ograniczenie jego użytkowania podczas trwania robót.

### Budowa sieci gazowej DN500 w/c L=312 m

Harmonogram prac budowlanych na potrzeby realizacji gazociągu DN500 w/c o długości 312 m z szacunkowym czasem wykonania poszczególnych etapów przedstawiono w tabeli 9.

Tabela 9. Harmonogram prac budowlanych gazociąg DN500 L = 312 m w M  
Table 9. Construction works schedule DN500 gas pipeline L = 312 m in M

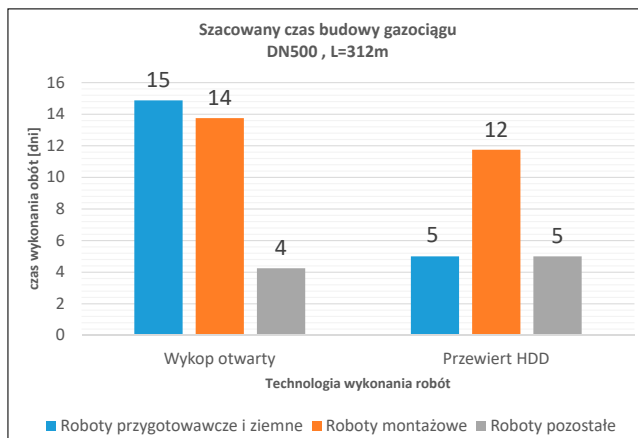
Harmonogram prac budowlanych		
Sposób wykonania budowy	Wykop otwarty	Przewiert HDD
Nazwa czynności	Czas wykonania [h]	Czas wykonania [h]
1. Wstępne przygotowanie i zagospodarowanie placu robót	8	8
2. Odprawa i przeszkolenie pracowników na terenie budowy	3	3
3. Dostawa materiałów i urządzeń na plac budowy i organizacja składowania	8	8
4. Wyznaczenie obszarów wykonywania prac montażowych, spawalniczych, ustawienie sprzętu i urządzeń montażowych.	8	8
5. Geodezyjne wytyczenie trasy gazociągu, niwelacja terenu, oznaczenie.	4	4
6. Wykonanie i zabezpieczenie wykopów otwartych, prace ziemne.	72	4
7. Wykonanie prac spawalniczych i montażowych odcinków gazociągu	40	48
8. Transport sekcji gazociągu do wykopu	8	-
9. Wykonanie prac spawalniczych i montażowych sekcji gazociągu	16	-
10. Wykonanie badań nieniszczących i prób szczelności	24	24
11. Izolacja spoin	8	8
12. Posadowienie trzech sekcji sieci metodą przewiertu HDD	-	24
13. Odkrycie istniejącego gazociągu, wykonanie cięć i przyłączenie do sieci. Prace spawalniczo-montażowe	8	8
14. Kontrola i badania gazociągu	4	4
15. Odbiór techniczny wykonanych robót	2	2
16. Zasypanie wykopów	16	4
17. Odtworzenie nawierzchni i uporządkowanie terenu	16	2
18. Odbiór końcowy	6	6
19. Wywóz materiałów, utylizacja odpadów	8	4
20. Uporządkowanie placu robót i zakończenie budowy	4	4
Roboty przygotowawcze i ziemne	119 [h]	63 [h]
Roboty montażowe	110 [h]	94 [h]
Roboty pozostałe	34 [h]	16 [h]
Całkowity szacowany czas budowy (1 dzień roboczy = 8h)	263 [h] 33 [dni]	173 [h] 22 [dni]

Organizację prac podsumowano w zestawieniu z określeniem długości trwania robót ziemnych i przygotowawczych, montażu gazociągu i pozostałych prac montażowych. Technologia bezwykopowa została zakwalifikowana do metod montażowych – pozostałych na potrzeby przedmiotowej oceny. Ze względu na zakres inwestycji część prac zarówno dla metody wykopów otwartych, jak i przewiertu HDD wykonywana jest w takim samym czasie niezależnie od technologii.

Różnice między technologiami przede wszystkim występują w czynnościach, takich jak: wykonanie i zabezpieczenie wykopów, prace ziemne oraz odtwarzanie i uporządkowanie nawierzchni. Na potrzeby przewiertu HDD wykonywane są wyłącznie wykopy pod komory nadawcze i odbiorcze, których wykonanie szacuje się na 4 godziny oraz przewidywane jest przygotowanie wiertnicy i posadowienie bezwykopowe w terminie 24 godzin, natomiast druga metoda wymaga urabiania gruntu na całej długości budowanego rurociągu, a przygotowanie wykopów pod ułożenie gazociągu wyniesie 72 godziny. Elementem wydłużającym termin realizacji budowy przy metodzie wykopowej jest także w przypadku prac spawalniczych łączenie sekcji gazociągu. Łączone odcinki na powierzchni transportowane są do wykopu gdzie wykonywane jest ich spawanie w jedną całość. Technologia wykopowa wymaga także odtwarzania i uporządkowania większej powierzchni, co znacząco wpływa na termin realizacji przedsięwzięcia.

Na wykresie (rys. 9) przedstawiono czas wykonania robót w zależności od technologii z podziałem na poszczególne typy prac. Roboty montażowe wymagają zbliżonej liczby dni na ich realizację. Różnica widoczna jest natomiast na etapie robót ziemnych i pozostałych, na które składają się czynności urabiania gruntu, przygotowania wykopów, uporządkowania i odtwarzania terenu oraz wykonania przewiertu w przypadku metody bezwykopowej. Posadowienie rurociągu w technologii HDD nie wymaga wykopów na całej długości sieci oraz odbudowy nawierzchni i elementów zagospodarowania terenu, w związku z czym jest metodą szybszą i bardziej efektywną wszędzie tam, gdzie występują ulepszone nawierzchnie.

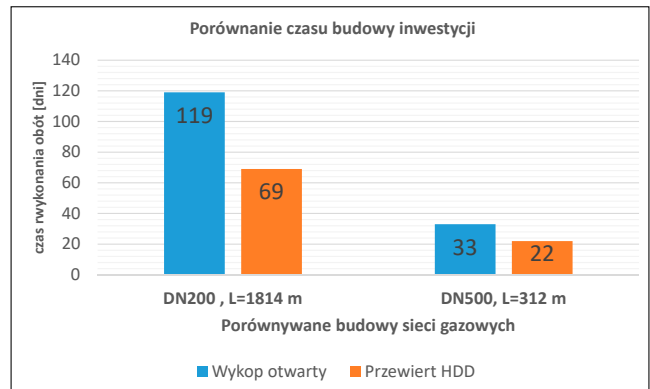
Realizacja budowy sieci gazowej DN500 L = 312 m w M wymaga w przypadku technologii wykopów otwartych 33 dni, natomiast przewiertu HDD 22 dni. Technika bezwykopowa pozwala zdecydowanie szybciej wykonać inwestycję, składa się na to przede wszystkim brak prac związanych z wykonywaniem i zabezpieczaniem wykopów oraz odtwarzaniem terenu. Krótszy termin realizacji jest zdecydowanie bardziej uzasadniony ekonomicznie, ze względu na opłaty za zajęcie terenu oraz liczbę roboczogodzin pracowników i maszyn budowlanych.



Rys. 9. Szacowany czas poszczególnych robót DN500 L = 312m  
Fig. 9. Estimated time of individual works DN500 L = 312m

## Porównanie inwestycji

Realizacja budowy gazociągów przebiega według wstępnie określonego harmonogramu prac. W zależności od długości i średnicy gazociągu, warunków terenowych i głębokości jego posadowienia okres realizacji przedsięwzięcia będzie się zmieniał. W przypadku porównywanych inwestycji metoda przewiertu HDD wymaga mniej czasu na realizację, jest metodą szybszą oraz ogranicza część robót ziemnych i przygotowawczych do minimum. Na wykresie (rys. 10) został przedstawiony szacowany czas realizacji dla budowanych gazociągów w M o długości 312 m i w Z o długości 1814 m.



Rys. 10. Porównanie czasu budowy inwestycji  
Fig. 10. Comparison of the investment construction time

Wpływ na czas budowy przede wszystkim mają długość i średnica gazociągu, co zauważyć można na wykresie (rys. 10). W przypadku gazociągu o długości całkowitej 1814m czas realizacji metodą wykopów otwartych jest prawie dwa razy dłuższy. Dla przedmiotowych inwestycji bardziej ekonomiczna pod względem czasu budowy będzie technologia bezwykopowa. Pozwoli przede wszystkim zmniejszyć czas zajęcia terenu oraz liczbę roboczogodzin i maszynogodzin, a co za tym idzie nakładów finansowych. Istotnym elementem biorąc pod uwagę czas robót jest także charakter realizacji. Dlatego biorąc pod uwagę szacowany czas dla obu przedsięwzięć przewiert HDD jest bardziej optymalnym wyborem.

## Podsumowanie

Na potrzeby analizy ekonomicznej budowy sieci gazowej wysokiego ciśnienia metodą wykopów otwartych i bezwykopową przygotowano szczegółowe kosztorysy dla poszczególnych inwestycji oraz każdej z metod. Opracowano również harmonogram robót od etapu przygotowania do odbiorów końcowych inwestycji. Na podstawie sporządzonych zestawień, opracowań i kalkulacji określono, która z technologii wykonania prac jest bardziej uzasadniona ekonomicznie.

Czynnikiem, który wpływa na wybór metody oraz nakłady finansowe budowy gazociągu są warunki terenowe. Zarówno istniejące zagospodarowanie obszaru, jak i warunki gruntowe determinują technologię i rzutują na całkowity koszt realizacji inwestycji. Profil litologiczny, kategoria gruntu oraz stopień zagęszczenia przyczynią się do wzrostu lub obniżenia wartości nakładów na roboty ziemne i przygotowawcze oraz przewiert HDD. Metoda bezwykopowa jest bardziej ekonomiczna w przypadku wykonywania długich odcinków przy głębszym posadowieniu sieci oraz w pasach terenu, gdzie występują nawierzchnie ulepszone i przeszkody terenowe. Budowa na wolnych

i niezagospodarowanych przestrzeniach, krótsze odcinki gazociągu, liczne zmiany kierunków, płytkie posadowienie oraz ewentualny demontaż istniejącej sieci przeważają na korzyść metody wykopów otwartych, ponieważ w takich warunkach koszty będą niższe, a budowa bardziej opłacalna ekonomicznie.

Rodzaje zaangażowanego sprzętu i maszyn oraz zajmowana powierzchnia budowy rzutują zarówno na termin realizacji, jak i wartość realizacji. Technologia przewiertu pod tym względem jest bardziej opłacalna ekonomicznie. Gazociąg nie wymaga szerokiego pasa montażowego, jest spawany w całości oraz ogranicza liczbę wykorzystywanych maszyn budowlanych. Istotnym elementem budowy bezwykopowej jest brak ingerencji w pas terenu, w którym budowany jest gazociąg. Ogranicza to przede wszystkim koszty odtworzenia nawierzchni i wartość wypłacanych odszkodowań właścicielom. Technologia budowy gazociągów z zastosowaniem wykopów otwartych wymaga szerokiego pasa montażowego wyposażonego w ciągi komunikacyjne oraz większą liczbę pracowników, dźwigów i koparek. Konieczność odbudowy naruszonych poprzez wykopy i urabianie gruntu nawierzchni oraz elementów zagospodarowania terenu rzutuje na efektywność realizacji i nakłady finansowe.

Jednym z ważnych elementów realizacji inwestycji jest czas wykonania robót budowlanych. Duże znaczenie ma charakter inwestycji, ponieważ inny harmonogram prac zostanie narzucony w przypadku awarii gazociągu lub jego przebudowy a odmienny dla budowy nowego gazociągu. Czas wykonania jest kluczowy jeżeli na skutek uszkodzenia rurociągu wymagana jest możliwie jak najszybsza jego wymiana na danym odcinku. Wtedy znaczenie kosztów budowy może zostać postawione poniżej terminu realizacji. Budowa nowych odcinków sieci gazowej obciąża do zrównoważenia priorytetów i wyboru optymalnej wersji biorąc pod uwagę koszty budowy.

Z wykonanej analizy wynika, że koszty budowy gazociągu DN200 o długości 1814 m w Z są niższe o około 100 tys. zł. w przypadku technologii przewiertu HDD, jednocześnie jest metodą o dwukrotnie krótszym czasie realizacji, co czyni ją bardziej racjonalną i ekonomiczną. Projektowany gazociąg DN500 o długości  $L = 312$  m w M w oparciu o wykonaną analizę wymaga mniejszych o około 50 tys. zł nakładów finansowych na realizację w przypadku zastosowania technologii wykopów otwartych, natomiast czas jego budowy szacowany jest o 50% dłuższy w porównaniu z technologią bezwykopową.

Najwyższymi kosztami składowymi budowy gazociągu w/c jest materiał składający się w głównej mierze z rur stalowych wraz z kształtkami i armaturą. Odpowiedni dobór zgodnie z wymaganiami technicznymi operatora sieci średnicy, grubości ścianki i gatunku stali będzie miał zasadniczy wpływ na koszty

budowy. W przypadku budowy z zastosowaniem przewiertu HDD większa średnica gazociągu generuje większe koszty bezwykopowego posadowienia gazociągu. Długość odcinka budowanego rurociągu również wpłynie na koszty przewiertu, zmniejszając je w zależności od długości w odniesieniu do realizacji wykopami otwartymi.

Budowa gazociągu wysokiego ciśnienia wymaga odpowiedniego przygotowania inwestycji od wykonania badań gruntu i projektu po organizację pracy na placu budowy. Dobór technologii budowy w szczególności zależy od istniejącego zagospodarowania terenu i warunków geotechnicznych. Metoda wykopów otwartych sprawdza się w sytuacjach, gdzie niemożliwe jest wykonanie przewiertów i na stosunkowo krótkich odcinkach o niewielkim zagłębieniu projektowanej sieci, bez istotnych przeszkód terenowych, takich jak drogi o nawierzchni asfaltowej czy cieki wodne. Wykonanie prac bezwykopowo stosowane jest często przy przekroczeniach dróg asfaltowych, zagospodarowania terenów i rzek.

Do wykonania każdej inwestycji należy jednak podchodzić indywidualnie i przeanalizować wszelkie czynniki determinujące bardziej ekonomiczną i efektywniejszą technologię wykonania robót.

#### LITERATURA:

- [1] www.pgnig.pl: Aktualności 2019
- [2] Gaz-System S.A.: Krajowy dziesięcioletni plan rozwoju systemu przesyłowego, Warszawa 2017
- [3] Instytut Nafity i Gazu- PIB: Rynek Polskiej Nafity i Gazu. Kraków 2018
- [4] Polska Spółka Gazownictwa sp. z o.o.: Zasady projektowania gazociągów podwyższonego średniego i wysokiego ciśnienia, Tarnów 2019
- [5] Polska Spółka Gazownictwa sp. z o.o.: Zasady budowy, technologii spajania i napraw sieci gazowych, Tarnów 2017
- [6] Polska Spółka Gazownictwa sp. z o.o.: Zasady projektowania i budowy ochrony przeciwkorozyjnej stalowych sieci gazowych, Tarnów 2017
- [7] Gaz-System S.A.: Instrukcja w zakresie wymagań do projektowania infrastruktury systemu przesyłowego Operatora Gazociągów Przesyłowych GAZ-SYSTEM S.A., Warszawa 2016r.
- [8] Gaz-System S.A.: Instrukcja określająca wymagania Operatora Gazociągów Przesyłowych GAZ-SYSTEM S.A. dla rur stalowych, zaworów kulowych, zasuw klinowych, napędów armatury, wykonania złączy rur spawanych doczołowo, załadunku, transportu, rozładunku i składowania rur stalowych, Warszawa 2016r.
- [9] Gaz-System S.A.: Wytyczne dla rur stalowych przewodowych dla mediów palnych Operatora Gazociągów Przesyłowych GAZ-SYSTEM S.A.
- [10] Inżynieria Bezwykopowa Sp. z o.o.: Inżynieria Bezwykopowa 1/2007, Kraków 2007
- [11] Wiśniowski R, Ziąja J: Dobór parametrów mechanicznych urządzeń wiertniczych stosowanych w technologiach HDD, Kraków 2006
- [12] www.cat.com
- [13] www.normag.nl
- [14] Sekocenbud, Informacje kwartalne RMS (IMB,IMI,IME,IRS, Sekocenbud.NET), 3 kw. 2019
- [15] Intercentbud, Ceny średnie RMS wyd. 2/2017
- [16] Intercentbud, Ceny producentów i dostawców, wyd. 2/2017
- [17] Wacetob Ośrodek Kosztorysowania Robót Budowlanych, Katalog nr 2-19 nakładów rzeczowych, Warszawa 2012

■

WŁADYSŁAW SZAFLIK

PROJEKTOWANIE  
INSTALACJI CIEPŁEJ WODY  
W BUDYNKACH MIESZKALNYCH

## Projektowanie instalacji ciepłej wody w budynkach mieszkalnych

Autor: prof. dr hab. inż. Władysław Szaflik

Książka jest poświęcona instalacjom ciepłej wody i układowi jej przygotowywania. Liczy 294 stron tekstu, bogato ilustrowanego rysunkami, schematami oraz tabelami i stanowi pewne podsumowanie wieloletnich prac prowad-

zonych w Katedrze Ogrzewnictwa, Wentylacji i Ciepłownictwa Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie (do 2008 roku Politechniki Szczecińskiej).

Cena 1 egz.: 60 zł + 8% VAT.

Zamówienia przyjmuje:

Ośrodek Informacji "Technika instalacyjna w budownictwie"

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

EFEKTYWNA WALKA  
ZE STRATAMI

# Strefowanie



AUTO



WYZNACZANIE  
STREF



RAPORTOWANIE  
WSKAŹNIKÓW IWA



MONITORING  
STRAT



IDENTYFIKACJA  
NIEPRAWIDŁOŚCI

SKONTAKTUJ SIĘ Z NAMI



# Innowacyjne rozwiązania GIS ograniczające straty wody

Innovative GIS solutions to reduce water losses

MARTYNA PISZCZEK

GIS coraz częściej staje się podstawowym systemem używanym w przedsiębiorstwach sieciowych, pozwalającym w pełni kontrolować stan posiadanej infrastruktury. Obecnie system GIS to nie tylko mapa z naniesioną infrastrukturą, a również zbiór narzędzi ułatwiających pracę przedsiębiorstwa. Dzięki takim systemom jesteśmy w stanie kontrolować pracę sieci oraz przewidywać jej zachowania w przyszłości, analizując różne scenariusze pracy bez konieczności przebudowy jej w czasie rzeczywistym. Dostęp do szybkiej i sprawdzonej informacji pozwala na właściwe podejmowanie decyzji związanych zarówno z nowymi inwestycjami jak i z usprawnieniem pracy istniejącej infrastruktury.

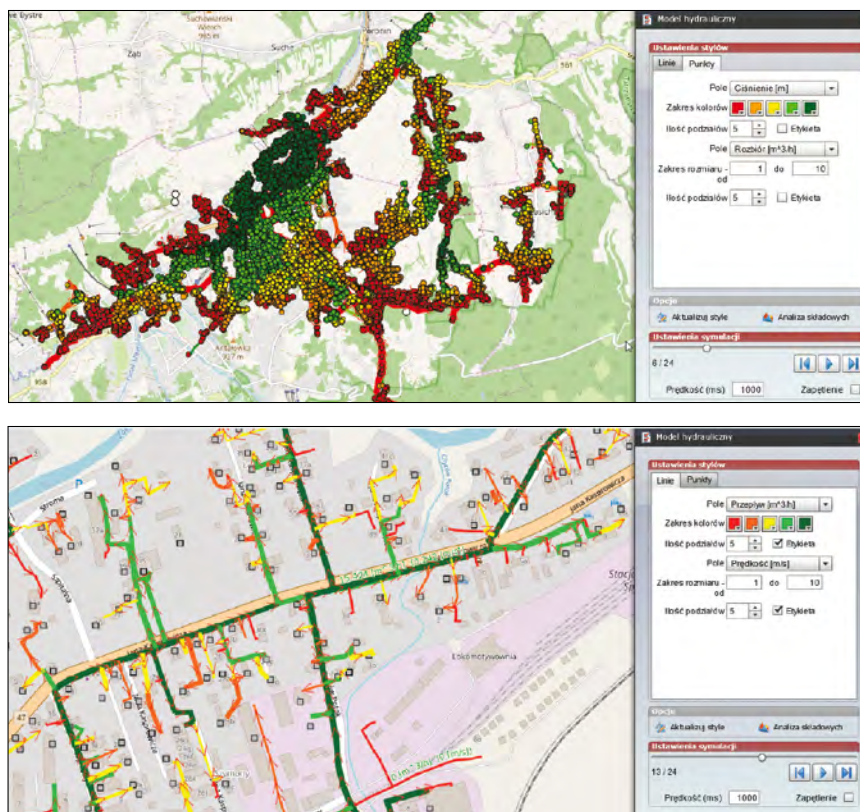
Integracja GIS, systemu billingowego oraz SCADA pozwala na zbudowanie narzędzi do modelowania hydraulicznego oraz narzędzi do strefowania. Przed wprowadzeniem tego typu rozwiązań, w pierwszej kolejności należy zająć się uporządkowaniem informacji, czyli zbudować jednolitą bazę danych infrastruktury sieciowej. Bez tego, przeprowadzane symulacje oraz analizy nie będą odzwierciedlały stanu rzeczywistego sieci. Gdy wprowadzona sieć w systemie GIS ukazuje już rzeczywistą strukturę możemy przejść do wprowadzenia dodatkowych narzędzi, w tym wspomnianego wcześniej modelowania oraz strefowania. Oprogramowanie firmy KartGIS pozwala na połączenie tych narzędzi w jeden spójny „organizm”, dzięki czemu praca w takiej aplikacji staje się prosta nawet dla niedoświadczonych pracowników. Wszelkie analizy i symulacje wykonujemy już tylko w jednym systemie. Nie uczymy się kilku programów a tylko jednego na którym w każdym momencie możemy sprawdzić informacje dotyczące pracy sieci, odbiorców i ich rozbiórów czy zaległości względem przedsiębiorstwa. Wizualizacje wyświetlone na mapie zdecydowanie ułatwiają

interpretację wyników, a co ważne, osoba wykonująca analizy nie musi być specjalistą w danej dziedzinie, gdyż system GIS sam „prowadzi pracownika za rękę”. Wynikiem takiej pracy są różnego rodzaju analizy i raporty. W efekcie, zebranie wszystkich narzędzi w jednym miejscu, tj. w systemie GIS sprawiało, że nasze aplikacje stały się najczęściej wybieranymi rozwiązaniami GIS na rynku wodociągów, w okresie ostatnich lat.

## Modelowanie hydrauliczne

Modele hydrauliczne zintegrowane z systemem GIS pozwalają zoptymalizować bieżącą pracę sieci, planować

w racjonalny sposób jej rozbudowę jak również udostępnić szeroki wachlarz narzędzi modelowania hydrauliki sieci dla mniej doświadczonych użytkowników (np. wydawanie warunków, symulacje efektów awarii, symulacje ppoż., optymalny dobór średnic wodociągów). Dzięki naszemu podejściu, system GIS w połączeniu z narzędziami do modelowania systemem billingowym oraz SCADA, to idealne środowisko umożliwiający na bieżąco analizowanie różnych scenariuszy pracy sieci. Zastosowanie naszych najnowszych rozwiązań w tym predykcji (pod uwagę bierzemy nie tylko bieżące dane, ale i dane historyczne) umożliwia przewidywanie pracy całego systemu



Rys.1  
Scenariusz pracy sieci

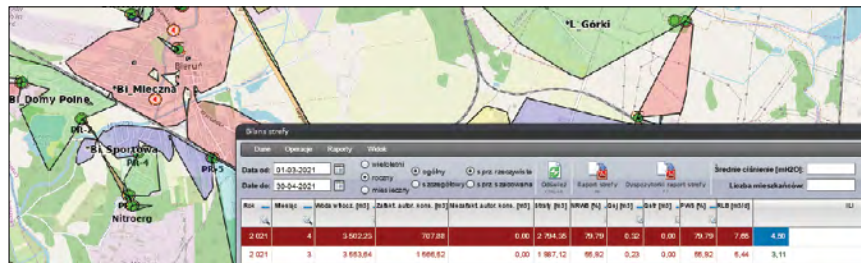
Martyna Piszczek – Ekspert ds. GIS KartGIS Sp. z o.o.

wodociągowego, a co za tym idzie dobór odpowiednich nastaw na armaturze regulacyjnej oraz pompach. Takie podejście (integracja systemów) znacząco poszerza zakres wiedzy o sieci oraz daje możliwość kompleksowej analizy całego systemu niemalże w każdym miejscu i czasie. Pozwala jednocześnie szybko reagować na zmieniające się na bieżąco warunki pracy sieci. Przykładem takiego podejścia jest jedno z naszych najnowszych wdrożeń w MWiK Kędzierzyn-Koźle, gdzie wykorzystując nasze rozwiązania GIS (w tym model hydrauliczny) pozwalamy kontrolować jak i zdalnie zarządzać istniejącymi obiektami. Firma KartGIS realizując ten projekt udowadnia, że nasze produkty wykraczają już znacząco poza standardowe wdrożenia systemów GIS (podgląd i analiza danych o sieci). Jako pierwsi, wprowadzamy na rynek kompleksowe, inteligentne rozwiązania GIS umożliwiające w efekcie analizę pracy sieci jak i dające możliwość regulacji pracy sieci (reduktory, zestawy pompowe). System analizując pracę całej sieci kontroluje nastawy w ww. obiektach, celem doboru odpowiednich parametrów, w wyznaczonych wcześniej progach bezpieczeństwa. System pozwoli więc na ustalenie optymalnych warunków hydraulicznych pracy sieci.

## Strefowanie

Straty wody to problem, z którym mają do czynienia wszystkie przedsiębiorstwa wod-kan. Nakłady pracy zwią-

klientów oraz o pracy urządzeń pomiarowych (ciśnienie, przepływ). Prostota obsługi oraz dostęp z poziomu przeglądarki www umożliwia korzystanie z wyników analizy każdemu pracownikowi przedsiębiorstwa, co znacznie poprawia efektywność monitoringu sieci oraz przyspiesza wykrywanie wycieków.



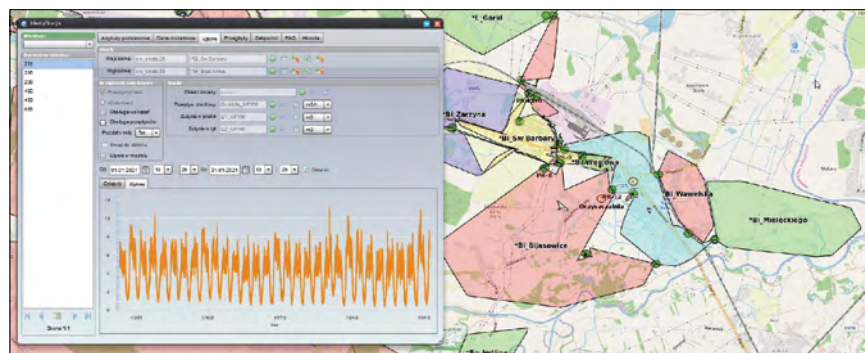
Rys. 3  
Wyliczone wskaźniki IWA dla strefy

System w sposób automatyczny oblicza i generuje obszar stref na sieci uwzględniając wszystkie zmiany wprowadzane zarówno na sieci (zamknięcie/otwarcie zasuw, wprowadzenie/usunięcie nowego przyłącza) jak i w systemie billingowym (wstawienie/usunięcie odbiorcy). Wbudowane w systemie algorytmy kontrolują powyższe czynności, informując użytkownika o potencjalnych brakach. Dzięki temu, wykonujący analizy użytkownik ma pewność, że system wspiera go w podejmowaniu odpowiednich decyzji. Użytkownik kontroluje pracę systemu i samodzielnie podejmuje działania, np. decyduje, czy do analizy stref wykorzysta rzeczywistą sprzedaż wody, czy też anali-

Wyszukiwanie nieszczelności w sieci wspomagane jest poprzez wyniki generowane w formie tabelarycznej, wykresów, raportów oraz jako wizualizacja na mapie. Dodatkowo pracownicy mają możliwość wyeksportowania danych dotyczących bilansu strefy m.in. ilość wody włączona, ciśnienie na wyjściu. Wszystkie

wyniki analiz (bilanse, porównania, wykresy) eksportowane są w formie raportów do plików pdf bądź excel gdzie mogą zostać poddane dalszej obróbce. Informacje w formie raportów zbierane są jednocześnie ze wszystkich trzech systemów (GIS, billing, SCADA) i są generowane dla każdej strefy w dowolnym przedziale czasowym.

Powyższe innowacyjne narzędzia wykorzystywane są już w ponad 20 przedsiębiorstwach wodociągowych, w tym m.in.: Toruńskie Wodociągi, RPWiK Tychy, PWiK Bolesławiec, SEWiK Zakopane, MWiK Kołobrzeg, czy Wodociągi Płockie. System GIS zintegrowany z narzędziami do modelowania oraz monitoringu stref znacząco zwiększa świadomość użytkowników o pracy sieci pod kątem hydraulicznym. Przyczynia się do wzrostu oszczędności poprzez ograniczenie strat wody, efektywniejsze planowanie inwestycji oraz poprawę bieżących warunków eksploatacji sieci. Dzięki takim rozwiązaniom udało się naszym klientom ograniczyć straty na sieci w krótkim czasie nawet o kilkadziesiąt procent. Na pojedynczych inwestycjach przez podejmowanie świadomych decyzji opartych na obliczeniach hydraulicznych udało się wygenerować oszczędności na poziomie kilku milionów złotych. Takie efekty pozwoliły na zwrot z inwestycji w informatyzację w ekstremalnie krótkim czasie.



Rys. 2  
Parametry SCADA w systemie GIS

zane z lokalizacją wycieków są często bardzo wysokie. Rozwiązanie oferowane przez firmę KartGIS pozwala na wykrywanie takich miejsc w sposób szybki oraz zautomatyzowany. Podstawą do takiego działania jest integracja GIS z systemem billingowym oraz SCADA oraz uczenie maszynowe. Dzięki temu system automatycznie analizuje informacje o rozbiórach

za opierać się będzie o wyniki sprzedaży szacowanej. System pozwala jednocześnie kontrolować stan sieci dzięki zastosowaniu wskaźników IWA, w tym:

- RLB – wskaźnik jednostkowych strat rzeczywistych,
- UARL – straty nieuniknione,
- ILL – wskaźnik nieszczelności infrastruktury.

# Badanie dopływu wód przypadkowych do kanalizacji sanitarnej przez właz studzienki kanalizacyjnej

Investigation of extraneous water inflow to separated sewage systems by hatch

BARTOSZ BOGUSŁAWSKI, PIOTR SOBCZAK, ANNA GŁOWACKA

DOI 10.36119/15.2021.5.5

Wody przypadkowe stanowią istotny problem w eksploatacji systemów kanalizacji rozdzielczej. Szereg badań wykazał, że wody obce stanowią nawet 66% ścieków dopływających do kanalizacji w ujęciu rocznym. Obserwacje terenowe pozwalają przypuszczać, że istotna ilość wód opadowych może przedostawać się do kanalizacji przez włazy studzienek. W badaniach wykorzystano urządzenie pomiarowe zamontowane pod włazem studni w celu określenia rzeczywistych dopływów do studni kanalizacyjnej w czasie opadów. W ciągu dwóch miesięcy prowadzonych prac, całkowity dopływ przez badany właz wynosił 3,2 m<sup>3</sup>, a maksymalna dobowa wartość 801,8 dm<sup>3</sup>/d. Sprawdzano także wpływ dobowych sum opadów na wydajności lokalnej pompowni ścieków. W ciągu dwóch dni z najwyższym opadem zanotowano przepływy pompowni o 63% oraz o 118% większe od średniej z rozważanego okresu badań. *Słowa kluczowe: wody przypadkowe w kanalizacji, kanalizacja rozdzielcza, wody opadowe, wody przypadkowe*

Extraneous water poses a substantial problem in the exploitation of separate sewerage systems. Many studies show that accidental water can reach 66% of the annual sewage supply to the system. Field observations lead to the supposition that a considerable stormwater volume could permeate to sewage system by hatches. In the investigation measurement device mounted under the hatch was used. The aim was to determine a real inflow to the sewage well during precipitation. In the two months of research, the whole inflow by hatch was 3,2 m<sup>3</sup> and a maximum daily inflow was 801,8 dm<sup>3</sup>. The influence of daily precipitation on pump station flow was examined. In the two days with the highest rain height, the pump station flow was 63% and 118% higher than the average flow in the considered period.

*Keywords: extraneous water in sanitary sewer system, separate sewage system, rainwater, extraneous water*

## Wprowadzenie

W systemach kanalizacji rozdzielczej wody obce składają się zasadniczo z dwóch strumieni – infiltrującej wody gruntowej (przez nieszczelności w kanałach lub podłączenie drenaży odwadniających) oraz wody opadowej [1]. Szereg badań [2]–[6] wykazał, że wody obce stanowią od 23,4% do 66% ścieków dopływających do oczyszczalni, w ujęciu rocznym. W wielu systemach kanalizacji sanitarnej charakterystyka dopływu ścieków do oczyszczalni podlega znaczącym wahaniom w czasie opadów deszczu [7]. W badaniach Weiss i in. [8] zbadano 34 oczyszczalnie i wykazano, że po okresach deszczowych dopływ do oczyszczalni był zwiększony jeszcze przez kilka tygodni, co musiało być spowodowane infiltracją wody podziemnej do sieci. W ciągu 4 lat badań, średnio 70% dopływu do oczyszczalni nie

stanowiły ścieki sanitarne, a więc wody o zdecydowanie mniejszym stopniu zanieczyszczenia. Dopływ wód infiltracyjnych i przypadkowych może powodować wylania z kanalizacji oraz przeciążenie oczyszczalni ścieków, co będzie wymagało większego zużycia energii oraz środków chemicznych [9]. Zwiększenie ilości ścieków dopływających do oczyszczalni podnosi koszty ich oczyszczania, co przekłada się na wzrost cen wody i ścieków.

Obserwacje terenowe pozwalają przypuszczać, że znaczna część wód deszczowych przedostaje się do kanalizacji przez otwory we włazach studzienek [7]. W badaniach wykonanych przez AQUANET S.A. w Poznaniu [10], natężenie przepływu przez właz wynosiło 0,43 dm<sup>3</sup>/s, dla włazu bez uszczelki obwodowej oraz 0,34 dm<sup>3</sup>/s dla włazu z uszczelką obwodową. Badania dotyczyły włazu poprawnie ułożonego w nawierzchni. Wielokrotnie obserwowano

jednak włazy niepoprawnie ułożone lub zniszczone wskutek eksploatacji. Właz obniżony względem otaczającego terenu pracuje jak wpust deszczowy.

Istnieje wiele metod określania ilości wód przypadkowych. W pracy [11] wymieniono 15 tradycyjnych podejść, bazujących na ogólnych danych pomiarowych, takich jak zużycie wody przez mieszkańców, dopływy do oczyszczalni, w różnych okresach (dobowych, rocznych). Oprócz tego stosowane są również metody chemiczne, badanie przewodów kamerami, zadymianie i inne. Żadna z wymienionych metod nie może być rozpatrywana jako idealna, ponieważ opracowane metody uwzględniają częściowo, całkowicie lub bez rozróżnienia źródła wód przypadkowych [12]. Niniejsza praca miała na celu sprawdzenie jaka objętość wody może przedostawać się do kanalizacji sanitarnej przez włazy studni.

mgr inż. Bartosz Bogusławski – <https://orcid.org/0000-0001-9220-5641>, dr hab. inż. Anna Głowacka, prof. ZUT – <https://orcid.org/0000-0002-4733-5970> – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Inżynierii Środowiska

inż. Piotr Sobczak – Goleniowskie Wodociągi i Kanalizacja Sp. z o.o.

Adres do korespondencji/ Corresponding author: bartosz.boguslawski@zut.edu.pl

## Materiały i metody

Celem badań było określenie objętości wody opadowej jaka przedostaje się do kanalizacji sanitarnej przez włazy studzienek kanalizacyjnych. Podjęto również próbę określenia jaki wpływ miały opady w okresie badań na przepływy w lokalnej pompowni ścieków, bazując na dobowych sumach opadów oraz dobowych wydajnościach. Badania wykonano w obrębie wsi leżącej nieopodal miasta Goleniów, w województwie zachodniopomorskim. Główny przedmiot badań stanowiły wody opadowe przedostające się do wybranej studni kanalizacji sanitarnej, znajdującej się w rozważanej miejscowości. Przeanalizowano także dane z lokalnej przepompowni, do której dopływają ścieki z trzech sąsiadujących miejscowości. Badania obejmowały okres 4.01-28.02.2020 r. Pomimo okresu zimowego, na terenie Pomorza Zachodniego, w rejonie pomiarów temperatury utrzymywały się powyżej zera [13], [14]. Nie występowały opady śniegu.

Rozpatrywana studnia jest umieszczona w jezdni, obok drogi rowerowej. Miejsce zostało wybrane ze względu na słonek równo ułożenie włazu z nawierzchnią, co pozwala traktować przypadek jako ogólny. Rys. 1 przedstawia położenie włazu w jezdni.



Rys. 1  
Usytuowanie badanego włazu w jezdni  
Fig. 1 Location of the investigated hatch in the road

### Charakterystyka urządzenia pomiarowego

Układ pomiarowy składa się ze studni rewizyjnej, urządzenia umieszczonego pod włazem – Unitechnics WaterCounter WaCo oraz deszczomierza umieszczonego na terenie pobliskiej pompowni ścieków. Urządzenie zbudowane jest ze zbiornika przelewowego, który napełnia się wodą opadową przedostającą się przez właz. Po napełnieniu wykonuje obrót wylewając wodę deszczową do wnętrza studni. Komora ma pojemność 1,97 dm<sup>3</sup>. Całkowita ilość wody jaka dostała się do kanalizacji przez badany właz, określana była przez zliczenie obrotów urządzenia, przy znanej jego pojemności. Rys. 2 przedstawia sposób montażu

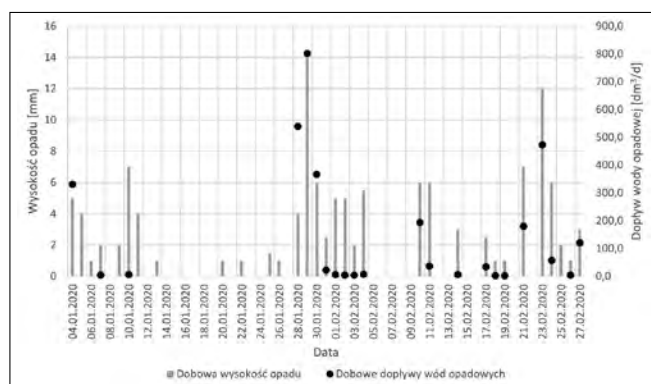


Rys. 2  
Urządzenie zamontowane pod włazem  
Fig. 2 Measure device mounted under the hatch

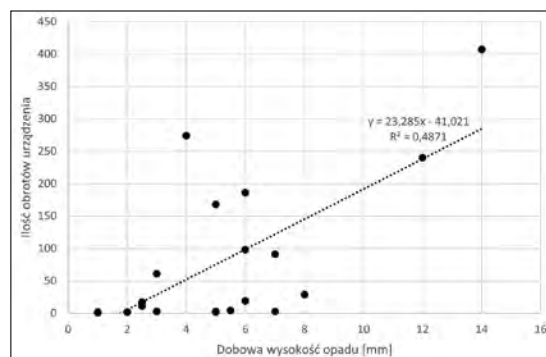


Rys. 3  
Urządzenie zamontowane w studni kanalizacyjnej  
Fig. 3 Measure device mounted in sewage well

Rys. 4  
Wyniki pomiarów dobowej wysokości opadu oraz dopływu wody opadowej do urządzenia pomiarowego  
Fig. 4. Results of measurements of daily precipitation height and stormwater inflow to measure device



Rys. 5  
Zależność wysokości opadu od ilości obrotów urządzenia  
Fig. 5 Relation of precipitation height and number of device turnovers



urządzenia pod włazem. Na rys. 3 widoczne jest urządzenie zamontowane w studni, z przygotowanym do montażu sitem zabezpieczającym. Urządzenie zapisuje wyniki interwałami, co 30 min, od uruchomienia. Oznacza to, że użytkownik otrzymuje informacje ile wykonano obrotów w każdym 30 minutowym cyklu pomiarowym.

## Wyniki badań

### Pomiary dopływu wody opadowej do studni

Od 4.01.2020 r. urządzenie zbierało dane dotyczące ilości wody opadowej. Jednocześnie zapisywane były dobowe wartości opadów, na podstawie wskazań deszczomierza. Rys. 4 przedstawia wyniki pomiarów. Ilość obrotów urządzenia została przeliczona na objętość wody opadowej.

Najwyższy dobowy opad, w dniu 29.01 (14 mm) spowodował największy dopływ do studni (801,8 dm<sup>3</sup>/d). Jednocześnie drugą największą wartość dopływu do studni (539,8 dm<sup>3</sup>/d) zarejestrowano 28.01, przy czym wysokość opadu tego dnia wyniosła 4 mm. Jak wynika z rys. 4 nie każdy dzień, w którym zarejestrowano opady na deszczomierzu, powodował spływ powierzchniowy i przedostawanie się wody opadowej do badanej studni. Część opadów powodowała pojedyncze obroty urządzenia w 30 minutowych cyklach. 7.01 zarejestrowano po jednym obrocie w 2 kolejnych cyklach pomiarowych, a więc w 60 minutowym okresie dopłynęło 3,94 dm<sup>3</sup>. Możliwe również, że niektóre

opady powodowały dopływ, ale na tyle niewielki, że nie został zarejestrowany, a urządzenie wykonało obrót dopiero przy następnych opadach. Maksymalna wartość dopływu w pojedynczym interwale pomiarowym miała miejsce 30.01 i wynosiła 201 dm<sup>3</sup>, co oznacza średnie natężenie przepływu ok. 0,11 dm<sup>3</sup>/s. W celu sprawdzenia zależności, że większe dobowe wysokości opadów powodują większe dopływy do studni, wykreślono linię trendu (rys. 5).

Współczynnik korelacji przedstawionej na rys. 5 linii trendu wynosi 0,698. Zależność jest niejednoznaczna, ponieważ druga najwyższa wartość ilości obrotów (274) wystąpiła dla stosunkowo niewielkiego opadu 4mm. Opady od 4 do 8 mm odpowiadały zarówno za znaczne dopływy, jak i bardzo małe (od 1 do 274 obrotów urządzenia). Opady w zakresie 1-3mm generowały niewielkie dopływy do studni (od 1 do 61 obrotów).

Miesiące badawcze (styczeń i luty) wyraźnie różniły się odnośnie do miesięcznej sumy opadów oraz zarejestrowanych dopływów do studni. W tabeli 1 przedstawiono podsumowanie badań dla obu miesięcy.

**Tabela 1. Podsumowanie badań w styczniu i lutym**  
**Table 1. Summary of research in January and February**

Parametr	Styczeń	Luty
Liczba dni z opadem	16	16
Suma opadów [mm]	56	68
Liczba dni z dopływem do studni	7	15
Całkowita liczba obrotów	1051	573
Dopływ wody opadowej [dm <sup>3</sup> ]	2070,47	1128,81
Liczba cykli pomiarowych z dopływem*	56	59
Średnia liczba obrotów w cyklu	19	10

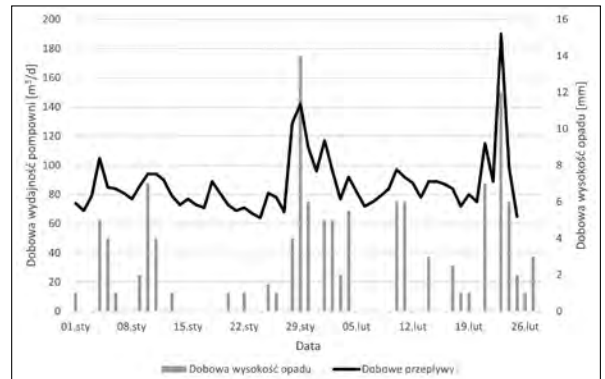
\* jako cykl pomiarowy z dopływem rozumie się, każdy 30 minutowy interwał zapisywania wyników, w którym zarejestrowano przynajmniej 1 obrót

Liczba dni, w których wystąpiły opady była jednakowa w styczniu i lutym 2020 roku. W lutym opady były o 12 mm wyższe niż w styczniu, co jednak nie przełożyło się na większe dopływy wód opadowych do studni kanalizacyjnej. W styczniu dopływ wyniósł 2,07 m<sup>3</sup>, a w lutym 1,13 m<sup>3</sup>. W styczniu tylko w ciągu 7 dni urządzenie zarejestrowało dopływ do studni (na 16 dni z opadem). Z kolei w lutym na 16 dni deszczowych, urządzenie zadziało 15 razy. W czasie badań liczba cykli 30 minutowych, w których wystąpił dopływ do studni była niemal równa (56 w styczniu i 59 w lutym). W styczniu dopływy były bardziej intensywne, średnia liczba obrotów w cyklu, w którym wystąpił dopływ wyniosła 19, przy średniej 10 w lutym. Pomimo równej liczby dni z opadem oraz większej sumy opadów w lutym, większy dopływ do studni zanotowano w styczniu i to przy 2 razy mniejszej liczbie dni, w których występował dopływ.

## Wpływ dobowej wysokości opadu na wydajność pompowni ścieków

Badana pompownia transportuje ścieki sanitarne z trzech sąsiednich miejscowości. Wyniki przedstawione w artykule, zostały odczytane ze wskazań przepływomierza w pompowni. Wyniki przepływów pompowni oraz wysokości opadu przedstawiono na rys. 6.

**Rys. 6**  
**Dobowa wysokość opadu oraz dobową wydajność pompowni w czasie trwania pomiarów**  
**Fig. 6. Daily precipitation height and daily pump station flow in the research period**



Najwyższe dobowe wartości opadów w dniach 29.01 oraz 23.02 odpowiadają najwyższym wartościom dobowej wydajności pompowni. W dniach tych przepływomierz wskazywał odpowiednio o 63% i 118% większe wartości w stosunku do średniej z całego analizowanego okresu. Na rys. 6 występowanie opadów w widoczny sposób pokrywa się z lokalnymi szczytami dobowych wydajności pompowni.

## Wnioski

W okresie badań całkowita ilość wody opadowej, jaka przedostała się przez właz studni kanalizacyjnej wynosiła ok. 3,2 m<sup>3</sup>. Gdyby przez wszystkie włazy znajdujące się w systemie (417 włazów) dopłynęła do kanalizacji taka ilość wody, to stanowiłaby ona ok. 25% wszystkich ścieków transportowanych przez pompownię. Maksymalny dobowy dopływ do studni wynosił 801,8 dm<sup>3</sup>. Wysokie dobowe wartości opadu (12mm; 14mm) generowały wysoki dopływ do studni (472,8 dm<sup>3</sup>; 801,8 dm<sup>3</sup>), jednocześnie wśród mniejszych opadów dobowych (1-7mm) występowały zarówno znaczące dopływy (539,8 dm<sup>3</sup>/d) jak i bardzo małe (1,97 dm<sup>3</sup>). Wskazuje to, że większe znaczenie dla dopływu wód opadowych mogą mieć chwilowe natężenia opadu, niż całkowita wielkość opadu w całym czasie jego trwania. Analiza wydajności pompowni oraz dobowej wysokości opadu pozwala wnioskować, że wody opadowe w znaczącym stopniu wpływają na ilość ścieków w systemie kanalizacji sanitarnej, chociaż mogą dopływać do kanalizacji innymi sposobami, nie tylko przez włazy studzienek rewizyjnych. Dobowe wartości opadu miały wyraźny wpływ zarówno na dopływ wód przypadkowych do studni jak i do pompowni.

## LITERATURA

- [1] C. Karpf i P. Krebs, „Assessment of extraneous water inflow in separate sewer networks”, Copenhagen/Denmark, 2005, s. 1–8.
- [2] G. Kaczor, „Wpływ wiosennych roztopów śniegu na dopływ wód przypadkowych do oczyszczalni ścieków bytowych”, *Acta Sci. Pol. Form. Circumietus*, nr 2, s. 27–34, 2011.
- [3] P. Bugajski, G. Kaczor, i K. Chmielowski, „Variable dynamics of sewage supply to wastewater treatment plant depending on the amount of precipitation water inflowing to sewerage network”, *J. Water Land Dev.*, nr 33, s. 57–63, 2017.
- [4] G. Kaczor, P. Bugajski, i T. Bergel, „Zastosowanie metody trójkąta do obliczenia objętości wód infiltracyjnych i przypadkowych w kanalizacji sanitarnej”, *Infrastruktura Ekol. Teren. Wiej.*, nr 3, s. 263–274, 2013.
- [5] O. Cieślak i J. Pawełek, „Dopływ wód obcych do kanalizacji sanitarnej na przykładzie gminy Mezos we Francji”, *Instal*, nr 7–8, 2014.
- [6] M. Beheshti i S. Saegrov, „Sustainability assessment in strategic management of wastewater transport system: a case study in Trondheim, Norway”, *Urban Water J.*, t. 15, nr 1, s. 1–8, 2018.
- [7] G. Kaczor, „Otwory we włazach studzienek kanalizacyjnych jako jedna z przyczyn przedostawania się wód przypadkowych do sieci rozdzielczej”, *Infrastruktura Ekol. Teren. Wiej.*, nr 9, s. 155–163, 2009.
- [8] G. Weiss, H. Brombach, i B. Haller, „Infiltration and inflow in combined sewer systems: long-term analysis”, *Water Sci. Technol.*, t. 45, nr 7, s. 11–19, 2002.
- [9] M. Beheshti i S. Saegrov, „Quantification assessment of extraneous water infiltration and inflow by analysis of the thermal behavior of the sewer network.”, *Water*, nr 10, 2018.
- [10] R. Ćwiertnia i T. Ćwiertnia, „Zasady poprawnego wykonania bilansu ilościowego ścieków dopływających do sieci kanalizacji sanitarnej oraz obiektów kanalizacyjnych na niej wybudowanych”, *Przegląd Bud.*, nr 7–8, s. 51–56, 2018.
- [11] J. De Benedittis, „Mesurage de l’infiltration et de l’exfiltration dans les réseaux d’assainissement”, Praca doktorska, INSA de Lyon, Francja, 2004.
- [12] J. De Benedittis i J. L. Bertrand-Krajewski, „Infiltration in sewer systems: comparison of measurement methods”, *Water Sci. Technol.*, t. 52, nr 3, s. 219–227, 2005.
- [13] W. Pawelec i S. Wereski, „Biuletyn Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej. Styczeń 2020”, Insytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, 1 (216), 2020.
- [14] W. Pawelec i S. Wereski, „Biuletyn Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej. Luty 2020”, Insytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, 2 (217), 2020.

# Skrzyżowania przewodów kanalizacyjnych z przeszkodami

Sewer ductwork crossings with obstacles

ALEKSANDRA MOKRZYCKA-OLEK

DOI 10.36119/15.2021.5.6

W niniejszej pracy zostały przedstawione zagadnienia związane z rozwiązaniami skrzyżowań przewodów kanalizacyjnych z istniejącymi już przeszkodami (m. in. rzeki, rowy, kanały, sieci kanalizacyjne). Wybór stosownego rozwiązania często sprowadza się do konieczności uwzględnienia wielu różnych czynników m. in. różnicy poziomów pomiędzy kanałem, a rzędną dna przeszkody oraz względów ekonomicznych. Wybrany i omówiony został także ogólny tok postępowania przy przeprowadzaniu obliczeń hydraulicznych syfonów.

Słowa kluczowe: skrzyżowania przewodów kanalizacyjnych z przeszkodami, syfon, akwedukt, sieć kanalizacyjna.

This paper presents the solutions for crossing of sewer ductwork with pre-existing obstacles (like rivers, ditches, canals, sewer networks). The selection of an optimum solution usually requires consideration of various criteria, which may include the vertical drop between the sewer ducts and the elevation datum of the obstacle to be crossed, and profitability considerations of the solution. A general practice for design calculations of hydraulic siphon crossings is selected and discussed.

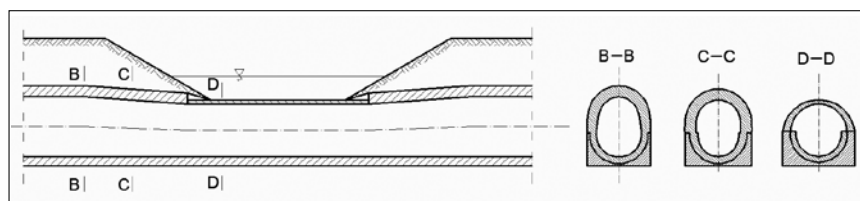
Keywords: sewer ductwork crossings with obstacles; siphon crossing; aqueduct; sewer network.

## Wprowadzenie.

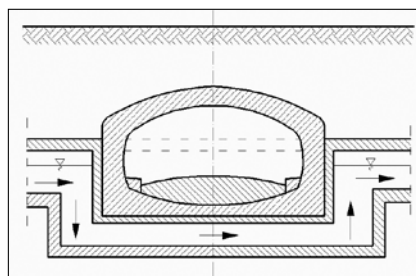
Przy projektowaniu oraz budowie sieci kanalizacyjnej czasami kanał ściekowy krzyżuje się z różnego rodzaju przeszkodami (mogą być to m. in. przewody podziemne – magistrale wodociągowe i ciepłownicze, a także: rzeki, rowy, linie kolejowe, kanały, zagłębienia terenu). Należy to zagadnienie rozwiązać zarówno pod względem konstrukcyjnym jak i technologicznym. W zależności od ukształtowania terenu kanały mogą przechodzić nad trasami obiektów lub pod nimi.

W przypadku tego typu skrzyżowań istnieją dwa możliwe stosowane rozwiązania:

- a) przy prowadzeniu kanału pod przeszkodą [rys.2]:
  - wykonanie przejścia syfonowego w przypadku, gdy kanał całym swoim przekrojem wchodzi w konstrukcję kolidującego obiektu,
  - dokonanie obniżenia przekroju kanału przy zachowaniu spadku dna kanału oraz prędkości w kanale możliwie bez zmiany – w przypadku gdy kanał swą górną częścią wchodzi w konstrukcję obiektu [rys. 1],
  - wykonanie przykrycia kanału, bez zmiany jego kształtu oraz wymiarów



Rys. 1  
Schemat przejścia [2]  
Fig. 1 Siphon crossing layout [2]



Rys. 2  
Skrzyżowanie kolektora z tunelem drogowym. Przejście syfonowe kolektora pod tunelem [2]  
Fig. 2 Crossing of a sewer main pipe with a road tunnel; the siphon crossing of the main pipe under the tunnel [2]

- b) przy prowadzeniu kanału nad przeszkodą – wykonanie akweduktu [rys. 3].

Najbardziej powszechnym rozwiązaniem do przeprowadzenia cieczy pod przeszkodą jest syfon. Dużą zaletą tej budowli jest możliwość stosowania przy dowolnej różnicy poziomów wody w zbiornikach [1]. Syfony działają jak zwykłe przewody pod ciśnieniem [5]. Muszą być zatem wykonane szczelnie (w praktyce najczęściej stosuje się rury stalowe, żelbetowe lub żeliwne, w przypadku niestrategicznych obiektów także z tworzyw sztucznych).

Przewody syfonowe mogą być prowadzone w specjalnych galeriach rewizyjnych. Przy dużych przekrojach i długościach syfonów oraz tam gdzie nie można zapewnić odpływu grawitacyjnego, należy przewidzieć możliwość opróżniania syfonu ze ścieków. Przy braku możliwości wyrównania różnic w przepływach przez

syfon, wskazane jest wykonanie kilku równoległych przewodów syfonowych (m. in. w przypadku stosowania na sieci deszczowej lub ogólnospławnej bez przelewów). Włączane są one stopniowo w miarę zwiększania się przepływów, natomiast w specjalnych komorach wlotowych następuje rozdział ścieków. Stosowanie kilku przewodów syfonowych pozwala także zachować ciągłość pracy syfonu w przypadku przeglądu, remontu bądź awarii jednego z nich.

Niestety jedną z wad syfonów jest przede wszystkim utrudniony dostęp w celu przeprowadzenia kontroli i napraw, wadą jest także konieczność głębokiego układania przewodów (np. ze względu na możliwe rozmycie dna przekraczanej rzeki). Istnieje także większe ryzyko wzrostu wartości strat hydraulicznych i trudności uzyskania odpowiedniego przepływu ścieków przy wlocie do studni.

Gdy różnica między rzędną dna kanału i przeszkodą jest duża oraz w przypadku gdy przeszkoda jest położona nisko, wówczas bardziej celowe jest zastosowanie akweduktów. Mogą być to zarówno niewielkie rynny jak i duże mosty nad przeszkodą. Ich zadaniem jest jednakowe: transport ścieków nad przeszkodą. Średnia prędkość przepływu ścieków w kanale akweduktu powinna być większa niż w kanale poza akweduktem, tak aby nie powstawały osady. Zaletą akweduktu jest łatwy dostęp do budowli, który umożliwia swobodną konserwację i naprawę oraz wykorzystanie tej budowli jako kładki dla pieszych. Istnieje także możliwość podwieszenia kanału pod istniejącym już mostem (wiaduktem). W praktyce jednak takie rozwiązanie nie jest obecnie stosowane.

### Stosowane rozwiązania konstrukcyjne

Typowa konstrukcja syfonu składa się z trzech głównych części: pierwsza z nich to komora wlotowa, dalej część środkowa i komora wylotowa [rys. 3, 4]. Komory, to najczęściej pionowe studnie, które buduje się z obniżonym dnem. Przejście syfonu pod rzeką przedstawiono na rys. 3.

Położenie wlotu i wylotu syfonu uza-

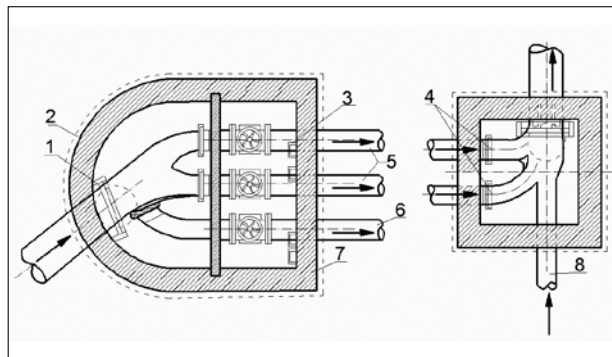
leżnione jest od wysokości położenia zwierciadła ścieków i dna w kanałach doprowadzającym i odprowadzającym. Zagłębienie górnej krawędzi wlotu pod zwierciadłem wody powinno zapewnić pracę syfonu bez zaburzeń.

Przy skrzyżowaniu kanału ściekowego

kroju kołowego na przekrój półkołowy w celu minimalizacji jego wysokości, o ile istnieją rezerwy przepustowości.

Przy skrzyżowaniu z dużym kanałem deszczowym kanał ściekowy o małej średnicy przechodzi w ostanie rur stalowych bez zmiany swego kierunku, natomiast

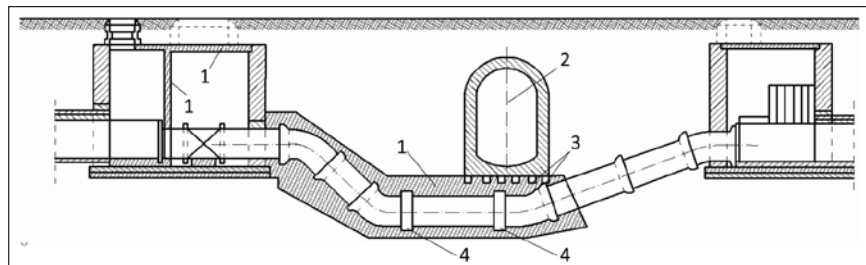
**Rys. 4**  
Komory syfonu: 1 – zdejmowana płyta metalowa, 2 – beton, 3 – stopnie włazowe, 4 – zasuwka, 5 – syfon, 6 – przewód awaryjny, 7 – mur z cegły, 8 – kanał [7]  
**Fig. 4 Siphon crossing chambers:** 1 – Removable metal cover; 2 – Concrete; 3 – Man-hole steps; 4 – Gate valve; 5 – Siphon assembly; 6 – Emergency overflow tube; 7 – Masonry wall; 8 – Sewer duct [7]



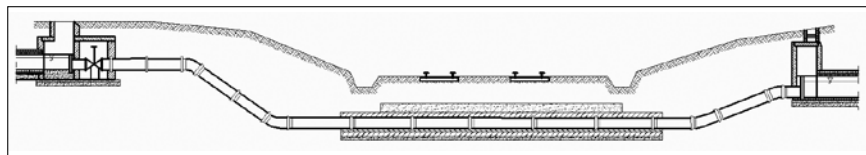
z kanałem deszczowym na różnych poziomach należy dążyć do tego, by wyeliminować wpływ nacisku jednego kanału na drugi, natomiast przy jednym poziomie skrzyżowania [rys. 5] przewidzieć należy spad na jednym ciągu, w taki sposób by ominąć drugi. Biorąc pod uwagę to, że w przewodzie kanalizacyjnym występuje stały przepływ ścieków, na niewielkim odcinku istnieje możliwość zmiany prze-

kanał deszczowy w tym miejscu może ulec poszerzeniu.

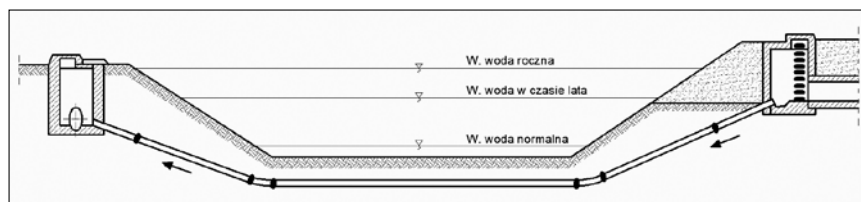
Do budowy skrzyżowań przewodów kanalizacyjnych np. z torami kolejowymi wykorzystuje się przejścia syfonowe budowane w wykopie. Tego typu rozwiązania zabezpieczają ciągłość komunikacji i chronią tory przed koniecznością zrywania ich w przypadku uszkodzenia przewodów. Ważne jest, aby przewody były zabezpie-



**Rys. 5**  
Schemat syfonu pod kanałem deszczowym: 1 – beton, 2 – oś kanału deszczowego, 3 – ruszt pod kanałem deszczowym, 4 – nasuwki stalowe [6]  
**Fig. 5 Layout of a siphon crossing under a storm sewer:** 1 – Concrete; 2 – Storm sewer duct centreline; 3 – Grating under the storm sewer; 4 – Steel couplings [6]



**Rys. 6**  
Syfonowe przejście pod torami kolejowymi [6]  
**Fig. 6 Siphon crossing under a railway track [6]**



**Rys. 3**  
Schemat przejścia syfonu pod rzeką [2]  
**Fig. 3 Layout of a siphon crossing under a river [2]**

czony od dynamicznych obciążeń komunikacyjnych, a także by umieszczać je w miejscach z jak najmniejszą liczbą torów prostopadle do ich kierunku [rys. 6].

Zastosowanie w Polsce rozwiązań technicznych związanych z metodą tarczową wykorzystano przy budowie układu przesyłowego ścieków do oczyszczalni "Czajka" w Warszawie [rys. 7]. Tunel, któ-

rego konstrukcję stanowią żelbetowe tubingi [rys. 8] wykonano przy użyciu tarczy TBM [rys. 9]. Podstawowym elementem syfonu jest układ dwóch przewodów wykonanych z rur stalowych i rur z materiału CC-GRP [rys. 10]. Począwszy od komory startowej (początek syfonu), do wejścia przewodów do tunelu przewody wykonano jako stalowe. Dalej, na odcinku ok. 1300 m, z rur CC-GRP o średnicy 1600 mm. Ścieralną wewnętrzną warstwę tych rur wykonano z żywicy o podwójnej grubości warstwy. Na odcinku łączącym komorę rozprężną z komorą połączeniową wykonano przewód z rur CC-GRP do mikrotunelowania o średnicy 2600 mm. Założono, że ilość ścieków i wód deszczowych przesyłanych syfonem może wynosić 4,25 m<sup>3</sup>/s dla jednego przewodu, co oznacza maksymalne godzinowe natężenie przepływu podczas opadów na poziomie 5,425 m<sup>3</sup>/s.

Awarie układu przesyłowego ścieków do oczyszczalni "Czajka" zdarzyły się w latach 2019 i 2020. W artykule [4] pro-



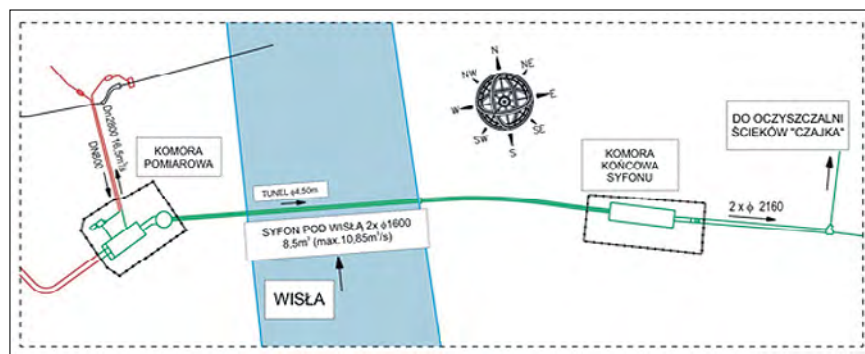
Rys. 9 Pierwsza w Polsce tarcza TBM firmy Herrenknecht (źródło: <http://inzynerbudownictwa.pl>)  
Fig. 9 The first TBM shield built Herrenknecht in operation in Poland (source: <http://inzynerbudownictwa.pl>)

fesor Kulczkowski przedstawił informacje dotyczące opinii opracowanej w roku 2006 przez Politechnikę Świętokrzyską w sprawie wstępnej oceny syfonu „Czajka” pod Wisłą.

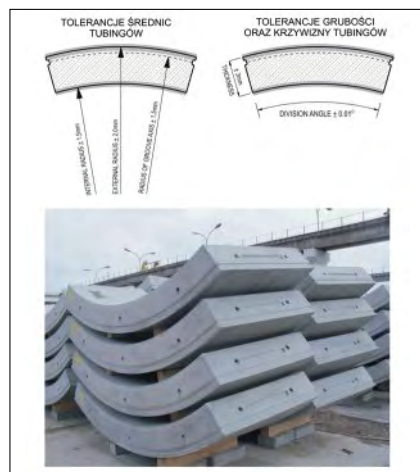
Innym przykładem syfonu wybudowanego w 1986 r. przy użyciu tarcz TBM jest syfon w Hamburgu pod rzeką Elbą łączący oczyszczalnię ścieków Köhlbrandhöft z oczyszczalnią ścieków Dradenau.



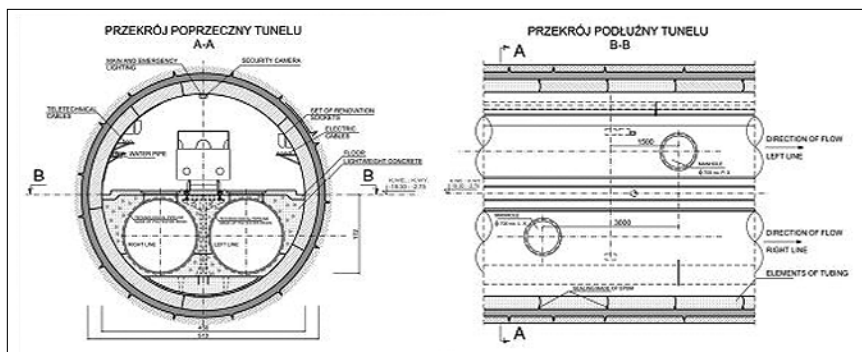
Rys. 11 Oczyszczalnia ścieków Köhlbrandhöft w Hamburgu (źródła: <https://www.hamburg.de>; <https://www.luftbildsuche.de>)  
Fig. 11 Köhlbrandhöft sewage treatment plant in Hamburg (source: <https://www.hamburg.de>; <https://www.luftbildsuche.de>)



Rys. 7 Schemat lokalizacji syfonu z kolektorami doprowadzającymi i odprowadzającymi ścieki (źródło: <http://inzynerbudownictwa.pl>)  
Fig. 7 Location plan of the siphon crossing with sewer inlet and outlet main pipes (source: <http://inzynerbudownictwa.pl>)



Rys. 8 Tubingi wykorzystane do budowy tunelu pod Wisłą w Warszawie źródło: <http://inzynerbudownictwa.pl>  
Fig. 8 TBM tubing used for the construction of the tunnel under the Vistula in Warsaw (source: <http://inzynerbudownictwa.pl>)



Rys. 10 Przekroje: poprzeczny i podłużny tunelu (źródło: <http://inzynerbudownictwa.pl>)  
Fig. 10 Longitudinal and transverse sections of the tunnel (source: <http://inzynerbudownictwa.pl>)

W swoim artykule [3] dr inż. Andrzej Kolonko opisał budowę tego przewodu. Średnica wynosi 3,2 m, natomiast jego długość 2227 m. Cała konstrukcja tunelu wykonana jest z żelbetu, we wnętrzu której utworzono dodatkowo powłokę żelbetową

o grubości 30 cm. Pojedynczy pierścień o szerokości 1,2 m stanowi 5 tubingów. Elementami łączącymi poszczególne pierścienie są śruby, natomiast specjalne uszczelki pęczniące zapewniają odpowiednią szczelność tej budowli. Do tej pory opisywana konstrukcja tunelu wraz z przewodem syfonowym działa bezawaryjnie. Widok oczyszczalni ścieków Köhlbrandhöft w Hamburgu przedstawiono na rysunku 11.

### Obliczenia hydrauliczne syfonu

Obliczenia hydrauliczne syfonów prowadzą się w większości przypadków do



liczba przewodów. W przypadku, gdy syfon składa się z kilku równoległych przewodów, w obliczeniach każdy przewód uwzględnia się oddzielnie.

Przy stałej pracy syfonu stosować należy dwa lub więcej przewodów w celu możliwości odwodnienia, oczyszczenia lub przeprowadzenia napraw jednego z przewodów bez zakłóceń pracy pozostałych.

Wysokość strat  $h_{str}$  uwzględnia sumę strat lokalnych i na długości.

Oznaczając odpowiednio:

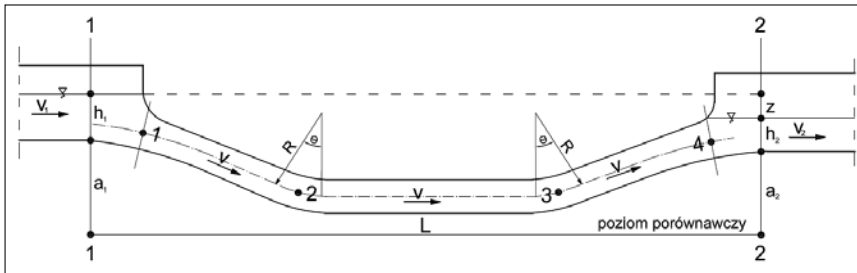
- $\xi_1$  – współczynnik strat na wlocie,
- $\xi_2$  – współczynnik strat na kracie,
- $(\xi_3^I), (\xi_3^{II})$  – współczynniki strat na załamaniu i łuku przewodu,
- $\xi_4$  – współczynnik strat na długości syfonu,
- $\xi_5$  – współczynnik strat na wylocie,

gdzie:

- $Q$  – objętość przepływu [ $m^3/s$ ],
- $A$  – pole przekroju syfonu [ $m^2$ ],
- $z$  – różnica poziomów zwierciadła wody w kanale doprowadzającym i odprowadzającym [m],
- $\mu$  – współczynnik wydatku.

skąd możemy wyznaczyć szukaną wartość średnicy syfonu [5]:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\mu \pi \sqrt{2g \Delta h_{str}}}} \quad (7)$$



Rys.12  
Schemat obliczeniowy syfonu  
Fig.12 Siphon crossing design diagram

Zgodnie z powyższym schematem obliczeniowym [rys.12] obliczenia hydrauliczne syfonów należy przeprowadzać w podobny sposób jak dla przewodów pod ciśnieniem [4]. Przy syfonach grawitacyjnych zakłada się, że założona różnica poziomów ścieków na wlocie i wylocie z syfonu powoduje ich przepływ przez syfon.

Punktem wyjścia do obliczeń jest równanie Bernoulliego [1], [8]:

$$a_1 + h_1 + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = a_2 + h_2 + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_{str} \quad (1)$$

gdzie:

- $v_1, v_2$  – prędkość dopływającej i odpływającej wody [m/s],
- $h_1, h_2$  – napełnienie kanału wlotowego w przekroju 1-1 i wylotowego w przekroju 2-2 [m],
- $a_1, a_2$  – położenie dna kanału względem poziomu porównawczego w przekroju 1-1 i 2-2 [m],
- $h_{str}$  – suma wysokości strat hydraulicznych ( $\xi_1, \xi_2, (\xi_3^I), (\xi_3^{II}), \xi_4, \xi_5$ ) [m],
- $g$  – przyspieszenie ziemskie [ $m/s^2$ ].

Przyjmując, że spadek i przekrój kanału wlotowego i wylotowego są takie same ( $h_1 = h_2; v_1 = v_2; \alpha v_1^2/2g = \alpha v_2^2/2g$ ), z równania (1) otrzymujemy:

$$z = h_{str}$$

$v$  – prędkość przepływu wody w syfonie mamy:

$$h_{str} = \frac{(\xi_1 + \xi_2 + 2\xi_3 + \xi_4 + \xi_5)(\alpha v^2)}{2g} \quad (2)$$

Po przekształceniu wzoru (1) otrzymujemy:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\xi_1 + \xi_2 + 2\xi_3 + \xi_4 + \xi_5}} \sqrt{2gz} \quad (3)$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\sum \xi}} \sqrt{2gz} \quad (4)$$

Przyjmując współczynnik wydatku:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\sum \xi}}$$

dalej prędkość jest równa:

$$v = \mu \sqrt{2gz} \quad (5)$$

Korzystając z ogólnego wzoru na objętość przepływu:

$$Q = A \cdot v$$

po podstawieniu otrzymujemy:

$$Q = A \cdot \mu \cdot \sqrt{2gz} \quad (6)$$

## Podsumowanie

W niniejszym artykule przedstawiono różne rozwiązania problemów kolizji projektowanych kanałów z istniejącymi przeszkodami. Przy wyborze trasy syfonu należy uwzględnić to, aby kierunek ułożenia tych budowli był zbliżony do prostokątnego oraz by ich długość, a także głębokość posadobienia były możliwie jak najmniejsze. Należy również pamiętać o tym, aby brzegi i dno rzeki w miejscu omawianych skrzyżowań były zabezpieczone przed rozmywaniem.

## LITERATURA

- [1] Bednarczyk T.: Skrypty dla Szkół Wyższych, Budownictwo wodno – melioracyjne. Syfony, Kraków 1987 r.
- [2] Błaszczak W., Stomatello H.: Budowa miejskich sieci kanalizacyjnych, Wydawnictwo „Arkady”, Warszawa 1975 r.
- [3] Kolonko A.: Nie tylko Czajka – przerzut ścieków żelbetowym syfonem tunelowym pod Elbą w Hamburgu, Instal 11/2020, str. 47 – 49.
- [4] Kuliczkowski A.: Informacja dotycząca opinii Politechniki Świętokrzyskiej w sprawie oceny wstępnej koncepcji syfonu „Czajka” pod Wisłą opracowanej w roku 2006. Instal 11/2020, str. 50 – 51.
- [5] Radlicz – Rühlowa H., A. Szuster A.: Hydrologia i hydraulika z elementami hydrogeologii, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1992 r.
- [6] Sobota J.: Hydraulika i hydrologia, Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław 2004 r.
- [7] Szyszkin Z. N., Karelin J. A., Kołobanow S. K., Jakowlew S. W., Zak G. Ł.: Kanalizacja Wydawnictwo Budownictwo i Architektura, Warszawa
- [8] Szuster A., Utrysko B., hydraulika i podstawy hydromechaniki, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1992 r.
- [9] Wóycicki K., Kanalizacje, Warszawa Budownictwo i Architektura, Warszawa 1955 r.

## ELEKTRYCZNE AKUMULACYJNE OGRZEWANIE POMIESZCZEŃ KRZYSZTOF T. JANUSZKIEWICZ

Przedstawione opracowanie jest pierwszym w polskim piśmiennictwie studium poświęconym temu tematowi i ma na celu wypełnienie istniejącej luki oraz właściwe przedstawienie zagadnień związanych z budową, charakterystycznymi właściwościami urządzeń, jak również projektowaniem elektrycznego ogrzewania akumulacyjnego.

Format B5, str. 224 Cena 20 zł (Vat 0%).

Sprzedaż prowadzi Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”

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



# Rzeczywistość polskiego sektora wodociągowo-kanalizacyjnego w uwarunkowaniach europejskiej polityki zrównoważonego rozwoju – refleksje z e-konferencji Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody – WODA 2020

Aktualna sytuacja związana z zagrożeniami wynikającymi z rozprzestrzenienia się koronawirusa istotnie wpłynęła nie tylko na nasze codzienne życie, ale ograniczyła także koleżeńskie spotkania z ludźmi o podobnych zainteresowaniach, jakimi są wszelkiego rodzaju konferencje, warsztaty, szkolenia. Te kularowe rozmowy ze znajomymi z innych uczelni, przedsiębiorstw, organizacji, dzielenie się doświadczeniami, spostrzeżeniami są dużą atrakcją mobilizującą do przemierzenia kilkuset kilometrów na miejsce konferencji. Koronawirus, chociaż istotnie wpływa na nasze życie, nie może jednak całkiem go zatrzymać. Jego nowe mutacje i fale zachorowań, ograniczające spotkania w większych grupach osób oraz zamykające hotele, zmusiły organizatorów, organizowanej od 2001 roku w cyklu 2-letnim, X Konferencji Naukowo-Technicznej „Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody”, dwukrotnie już przekładanej z powodu pandemii, do skorzystania z innych rozwiązań. Chcąc sprostać trudnym wyzwaniom zdecydowaliśmy się na organizację konferencji w dwóch etapach. Pierwszy etap odbył się w formie e-konferencji w dniach 22-23 kwietnia, drugi etap w formie tradycyjnego spotkania w Brennej zaplanowany został w pierwszej połowie października bieżącego roku, kiedy to najprawdopodobniej zostaną ostatecznie ponownie uruchomione hotele. Nasza Konferencja od szeregu lat, objęta jest patronatem naukowym Sekcji Inżynierii Sanitarnej, Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, co gwarantuje jej wysoki poziom merytoryczny oraz aktualność poruszanych zagadnień związanych z branżą wodociągową i kanalizacyjną. Kwietniowe obrady Konferencji otworzyli zaproszeni Goście: Pani Małgorzata Bogucka-Szymalska – Z-ca Dyrektora Departamentu Gospodarki Wodnej i Żeglugi Śródlądowej Ministerstwa Infrastruktury, Pani Dorota Jakuta – Prezes Izby



**Zdjęcie 1**  
Rozpoczęcie obrad Konferencji – prof. dr hab. inż. Izabela Zimoch



**Zdjęcie 2**  
Debata Forum Wodociągowców – Otwarcie przez Panią Dorotę Jakutę Prezesa IGWP



**Zdjęcie 3**  
Debata Forum Wodociągowców – wystąpienie Pani dr inż. Małgorzaty Boguckiej-Szymalskiej z-ca Dyrektora Departamentu Gospodarki Wodnej i Żeglugi Śródlądowej Ministerstwa Infrastruktury

Gospodarczej Wodociągi Polskie, Pan Profesor Marian Kwietniewski – Wiceprezident Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, oraz Profesor Waldemar Sawiniak – Politechnika Śląska.

E-konferencja, w której wzięło udział 183 uczestników, gościła Państwa w wir-

tualnym studio na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej. Wirtualne spotkanie, z wykorzystaniem profesjonalnej obsługi multimedialnej, umożliwiło nam kontakt i wymianę poglądów w wielu istotnych kwestiach, jakie przed polskim sektorem wod-kan kreują uwarunkowania europejskiej polityki zrównoważonego rozwoju, w tym implementacja do krajowej legislacji nowej Dyrektywy 2020/2184 w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Poszczególne panele były transmitowane do uczestników zarówno w aplikacji Zoom, jak i na platformie YouTube. Uczestnicy mogli odbierać transmisję na monitorach podglądowych lub swoich własnych komputerach i utrzymywać łączność z prelegentami i pozostałymi uczestnikami. Taka forma konferencji w wirtualnym studio, umożliwiła prelegentom przedstawienie swoich stanowisk na temat najbliższych wyzwań, czy też osiągnięć z ostatnich kilkunastu miesięcy, a pozostałym uczestnikom aktywny udział, zadawanie pytań i udzielanie odpowiedzi. Z drugiej strony zapewniła pełne bezpieczeństwo jej Uczestnikom.

Począwszy od pierwszych edycji konferencji istotnym tematem, budzącym szczególne zainteresowanie zarówno naukowe jak i praktyczne, są zagadnienia związane z bezpieczeństwem wody i zarządzaniem ryzykiem w całym łańcuchu dostaw – od spójnej ochrony zasobów wody w obszarach zasilania do kranu u konsumenta. Zagadnienia te były inspiracją do włączenia od 2013 r. jako stałego elementu Konferencji, dedykowanego tej tematyce panelu dyskusyjnego Forum Wodociągowców. To właśnie poruszany od szeregu lat temat bezpieczeństwa dostaw wody oraz zarządzania systemami zaopatrzenia w wodę oparty na ryzyku zdecydował o organizacji wirtualnej konferencji, bowiem w dniu 16 grudnia 2020 r. Parlament Europejski



Zdjęcie 4  
Ożywiona dyskusja podczas debaty Forum Wodociągowców



Zdjęcie 5  
Owocne obrady – 2 dzień Konferencji

i Rada Europy przyjęły Dyrektywę 2020/2184 w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Oznacza to konieczność transponowania jej zapisów do prawa polskiego w terminie do 12 stycznia 2023 r., jak i pełnego wdrożenia obowiązkowego zarządzania ryzykiem w procesie dostaw wody do konsumenta najpóźniej do 12 stycznia 2029 r. Pozornie wydaje się nam, że jest jeszcze dużo czasu, ale minęły już 4 z 24 miesięcy przeznaczonych na jej transpozycję, a czas nieubłagalnie upływa, skracając okres na podjęcie dialogu z poszczególnymi grupami interesariuszy, w szczególności z podmiotami odpowiedzialnymi za organizację zaopatrzenia ludności w wodę i zapewnienie jej bezpieczeństwa, zarówno w ramach zbiorowego zaopatrzenia jak i prywatnych, indywidualnych dostaw wody, w szczególności do obiektów prowadzących działalność publiczną lub handlową. Dobra implementacja Dyrektywy w Polsce, jednoznacznie określająca podział obowiązków, z uwzględnieniem kompetencji i odpowiedzialności poszczególnych interesariuszy procesu dostaw wody do konsumenta, jest gwarantem skutecznego wdrożenia zarządzania systemami

zaopatrzenia w wodę opartego na ryzyku. Okazją do poruszenia tej tematyki, było więc zorganizowanie w ramach konferencji w dniu 22 kwietnia, wspólnie z Izłą Gospodarczą Wodociągi Polskie oraz Stowarzyszeniem Wodociągowców Województwa Śląskiego, panelu dyskusyjnego Forum Wodociągowców. Debata zatytułowaną *Zarządzanie ryzykiem dostaw wody – problemy, wyzwania i oczekiwania* poświęcono jednemu z głównych celów nowej dyrektywy, jakim jest minimalizowanie ryzyka dla zdrowia publicznego, związanego z wodą do picia poprzez wprowadzanie Planów Bezpieczeństwa Wody. Poprowadziła ją prof. dr hab. inż. Izabela Zimoch z Politechniki Śląskiej. Podczas debaty o potrzebach inwestycyjnych, organizacyjnych i legislacyjnych oraz doświadczeniach związanych z wdrażaniem oceny ryzyka i zarządzania ryzykiem dyskutowali: Małgorzata Bogucka-Szymalska – Z-ca Dyrektora Departamentu Gospodarki Wodnej i Żeglugi Śródlądowej Ministerstwa Infrastruktury, Klara Ramm – przedstawicielka EUREAU, Agnieszka Dybala-Kamińska – Państwowy Powiatowy Inspektor Sanitarny w Koninie, Dyrektor PSSE, Anna Olejnik – Z-ca Dyrektora

Pionu Wody Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w m.st. Warszawa S.A., Iwona Lasocka-Gomuła – Starszy Technolog w Aquanet S.A., Aleksandra Górka – Koordynator ds. bezpieczeństwa wody, MPECWiK Sp. z o.o. w Środzie Wielkopolskiej, Tadeusz Rzepecki – Przewodniczący Rady Izby Gospodarczej „Wodociągi Polskie”, Andrzej Wójtowicz – Prezes „Wodociągi Słupsk” Sp. z o.o. oraz Tadeusz Żaba – Dyrektor ds. Produkcji MPWiK S.A. Kraków. Wysoki poziom merytoryczny debaty zapewniły wystąpienia ekspertów prezentujących zagadnienia dotyczące:

- Implementacji nowej dyrektywy w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (2020/2184) – dr inż. Małgorzata Bogucka-Szymalska,
  - Wyzwań dla branży wod-kan przy wdrażaniu Dyrektywy w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi – dr inż. Tadeusz Rzepecki,
  - doświadczeń z wdrażania Planów Bezpieczeństwa Wody w systemach zaopatrzenia w wodę Warszawy, Słupska, Środy Wielkopolskiej, Poznania i Krakowa.
- Prelegenci odpowiadali także na liczne

pytania Uczestników. Niestety 3,5 godzinna debata, ze względu na istotność poruszanych zagadnień związanych z nową DWD, jak i projektem Planów Inwestycyjnych na lata 2021-2027, nie wyczerpała wszystkich aspektów dyskusji, która zgodnie z deklaracją moderatora prof. dr hab. inż. Izabeli Zimoch, będzie kontynuowana na kolejnym spotkaniu w Brennej, zorganizowanym w październiku, w ramach II etapu Konferencji.

Tego samego dnia po południu odbyły się Sesja Plenarna i I Sesja Tematyczna, a następnego dnia trzy kolejne Sesje Tematyczne. W trakcie wszystkich Sesji wygłoszono łącznie 37 referatów, poświęconych różnorodnym zagadnieniom z zakresu szeroko rozumianej gospodarki wodno-ściekowej. Prelegenci, zarówno z licznych Uczelni jak i przedsiębiorstw wodociągowych, podzielili się swoimi doświadczeniami praktycznymi, czy też rezultatami prowadzonych badań naukowych. W wiodące zagadnienia tematyczne wprowadziły Uczestników Konferencji prezentacje Sesji Plenarnej, którą rozpoczęła dr inż. Tomasz Cichoń z Wodociągów Miasta Krakowa S.A., wystąpieniem nt. *Zdalny odczyt wodomierzy jako element Smart City*. Uzupełnieniem tej tematyki były kolejne prezentacje przedstawiające zagadnienia dotyczące eksploatacji systemów zaopatrzenia w wodę. Zatem merytoryczny zakres Sesji Plenarnej wzbogacili swoimi wystąpieniami:

- dr inż. Wojciech Cieżak z Politechniki Wrocławskiej, wykładem *Zastosowanie metody wygładzania wykładniczego do prognozowania dobowego zużycia wody w obszarach wiejskich*,
- dr hab. inż. Małgorzata Iwanek, prof. PL z Politechniki Lubelskiej prezentująca *Parametry charakteryzujące wycieki z uszkodzonych przewodów wodociągowych w aspekcie bezpieczeństwa środowiskowego*,
- dr hab. inż. Dariusz Kowalski, prof. PL z Politechniki Lubelskiej prezentujący *Inteligentny system zaopatrzenia w wodę – quasi inteligentna metoda diagnostyczna dla sieci dystrybucyjnej*,
- dr inż. Wojciech Koral z Politechniki Śląskiej, który zaprezentował efekty wynikające z *Analizy krzywych godzinowego zużycia wody na podstawie danych z systemu stacjonarnego odczytu wodomierzy*,
- dr hab. inż. Alina Pruss, prof. PP z Politechniki Poznańskiej, która podzieliła się z Uczestnikami problematyką *Usuwanie substancji organicznych z wody podziemnej – badania technologiczne realizowane w skali pilotowej*.

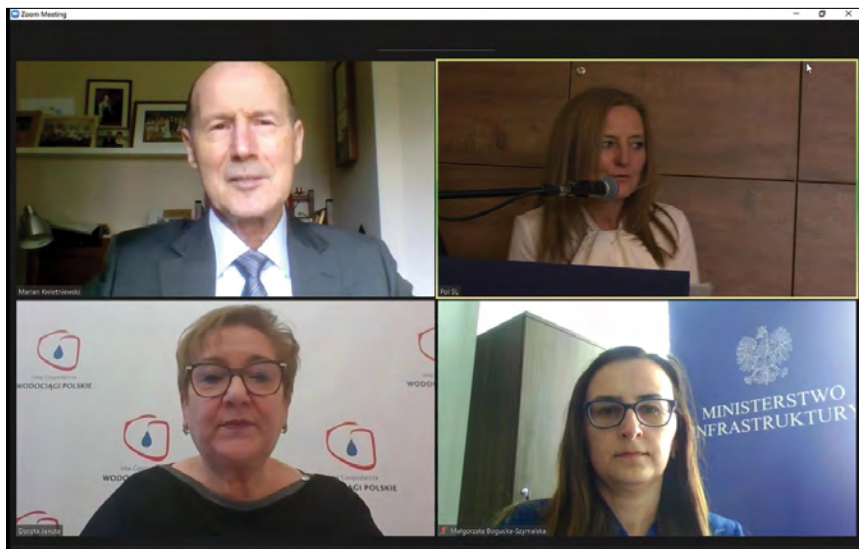


**Zdjęcie 6**  
**Obrady – wystąpienie dr hab. inż. Dariusza Kowalskiego, prof. PL, Politechnika Lubelska**

Ponadto Uczestnicy Konferencji, mieli także okazję wysłuchać wielu przedstawicieli firm, prezentujących najnowocześniejsze rozwiązania mające zastosowanie zarówno w sektorze dostaw wody, jak i odprowadzania, oczyszczania ścieków, wód opadowych, oraz badań jakości wody i ścieków. Równoległe do obrad w sesjach tematycznych, w dniu 23 kwietnia odbyło się w ramach programu INTER-REG wspólne polsko-czeskie seminarium

wszyscy w czwartkowy wieczór w wirtualnym studio, gdzie odbył się koncert wirtuozów akordeonu, Marcina Wyrostka dedykowany Uczestnikom Konferencji. Artysta zagrał wybrane przez siebie utwory oraz spontanicznie zaproponowane przez słuchaczy. Te wieczorne chwile spędzone przy dźwiękach cudownej muzyki, w wyjątkowej atmosferze na długo pozostaną w naszej pamięci. Fantastyczne wykonanie utworów wzbudziło oszałamiającą reakcję Uczestników, którzy dziękowali serdecznie Wykonawcy i Organizatorce. Po koncercie liczne spotkania koleżeńskie w wirtualnych studiach, pozwoliły czerpać radość ze wspólnych wspomnień.

Niewątpliwie, ta edycja oczekiwanej od dłuższego czasu Konferencji była bardzo ważnym wydarzeniem dla branży wodociągowej. Dzięki zaangażowaniu wszystkich Uczestników wiem, iż był to dobrze zainwestowany czas, wykorzystany na poszerzenie wiedzy, wymianę doświadczeń i koleżeńskie spotkanie.



**Zdjęcie 7**  
**Zakończenie Konferencji**

dla studentów „Zrównoważona elektroenergetyka i środowisko”.

Od szeregu lat, w tradycję Konferencji, wpisują się obrady posiedzenia Sekcji Inżynierii Sanitarnej Komitetu Inżynierii Łądowej i Wodnej PAN, które również miało miejsce podczas kwietniowego spotkania. Posiedzenie to pozwala nam zgromadzić wybitnych Profesorów, którzy przewodnicząc poszczególnym sesjom, wiedzą i autorytetem zapewнили wysoki, merytoryczny poziom przebiegu poszczególnych paneli tematycznych i ich dyskusji.

Podczas dwudniowego spotkania, nie zabrakło również chwil wytchnienia i wieczornego spotkania koleżeńskie. Tym razem, pomimo pandemii, spotkaliśmy się

Wydarzenie to było inspirującym doświadczeniem oraz okazją do prezentacji różnych opinii i refleksji dotyczących tak ważnych dla kraju nowych wyzwań wynikających z Dyrektywy 2020/2184 związanych z zaopatrzeniem w wodę przeznaczoną do spożycia przez ludzi. Mam nadzieję, że to spotkanie zaowocuje dialogiem oraz będzie stanowić bodziec do dalszej współpracy oraz wymiany doświadczeń. Dziękując wszystkim Uczestnikom, już dziś zapraszam Państwa na październikowe nasze spotkanie w ramach II etapu Konferencji.

Do zobaczenia w malowniczej Brennej  
**Prof. dr hab. inż. Izabela Zimoch**

# Druga edycja studiów podyplomowych Systemy Bezpieczeństwa Zaopatrzenia w Wodę

to okazja dla Ciebie – rozpoczęcie zajęć już w październiku 2021 roku

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

Uczestnicy pierwszej edycji studiów (fot.1) mieli możliwość zdobycia interdyscyplinarnej wiedzy dotyczącej zarówno



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

identyfikacji sytuacji i zdarzeń niebezpiecznych mogących mieć wpływ na wystąpienie zagrożeń zdrowotnych, jak i ryzyka jakie niosą one dla zdrowia

publicznego. Zdobytą wiedzę, skutecznie wdrażają w codzienne praktyki funkcjonowania w swoich przedsiębiorstwach, a osiągniętymi sukcesami mieli okazję podzielić się podczas debaty Forum Wodociągowców, która odbyła się w dniu 22 kwietnia na Politechnice Śląskiej. W ramach tej debaty p.n. Zarządzanie ryzykiem dostaw wody – problemy, wyzwania i oczekiwania, poświęconej kluczowym zagadnieniom nowej dyrektywy 2020/2184, aktywny udział wzięli absolwenci I edycji tychże studiów Pani Aleksandra Górka zastępca Kierownika Laboratorium, Koordynator ds. bezpieczeństwa wody, MPECWiK Sp. z o.o. w Środzie Wielkopolskiej, Pan Sylwester Myga,



Fot 2  
Absolwenci I edycji SPD podczas obrad Forum Wodociągowców – Politechnika Śląska, od lewej Pani Karolina Tatar RPWiK Zawiercie, Pani Katarzyna Stachowicz – W-ce Prezes Zarządu RPWiK Zawiercie, prof. dr hab. inż. Izabela Zimoch – Kierownik SPD, Pan Sylwester Myga – Dyrektor Techniczny RPWiK

Dyrektor Techniczny RPWiK w Zawierciu, oraz Pani Karolina Tatar również z RPWiK w Zawierciu (fot. 2). Pani Aleksandra Górka (fot. 3) w swoim wystąpieniu pt. Doświadczenia przy wdrażaniu Planu bezpieczeństwa wody w Miejskim Przedsiębiorstwie Energetyki Ciepłej Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o. o w Środzie Wielkopolskiej, przedstawiła początki wdrażania Planu Bezpieczeństwa Wody w swojej Spółce i uzyskane już po dwóch latach korzyści.

Opracowany program studiów, przez specjalistów i ekspertów, biorących udział w pracach nad opiniowaniem ze strony polskiej DWD 2020/2184, uwzględniła najnowszą wiedzę z zakresu uwarunkowań prawnych, środowiskowych, technicznych i technologicznych, organizacyjnych, zdrowotnych oraz zarządzania kryzysowego, niezbędną do skutecznego zarządzania ryzykiem, opartego na minimalizowaniu ryzyka związanego z potencjalnymi zdarzeniami niebezpiecznymi oraz wynikających z nich zagrożeń, jak i ewentualnych skutków ich wystąpienia. Program przewiduje 187 godzin zajęć teoretycznych (wykłady, ćwiczenia, seminaria) odbywających się w trakcie sobotnio-niedzielnego zjazdu oraz w trybie online. Liczba zajęć stacjonarnych uzależniona będzie od aktualnej sytuacji epidemiologicznej. Będą one także nagrywane i udostępniane uczestnikom, którzy nie będą mogli brać aktywnego udziału w zajęciach. Jeśli z powodu przedłużającej się pandemii Covid-19 zajęcia stacjonarne nie będą mogły się



Fot 3.  
Absolwentka I edycji podczas debaty Forum Wodociągowców – Aleksandra Górka, z-ca Kierownika Laboratorium, Koordynator ds. bezpieczeństwa wody, MPECWiK Sp. z o.o. w Środzie Wielkopolskiej

odbywać, zajęcia zostaną przeprowadzone w formie webinarium. Oprócz zajęć teoretycznych, dla osób zainteresowanych planowana jest wizyta studyjna na wybranym obiekcie (studenci I edycji mieli okazję odwiedzić ujęcie powierzchniowe w Dobczycach, zaopatrujące w wodę znaczną część Krakowa – fot. 4). Zarówno zajęcia teoretyczne jak i wyjazdowe są także okazją do bliższego



Fot. 4.  
Wyjazd integracyjny – Dobczyce czerwiec 2019 r.

nawiązania kontaktów, wymiany doświadczeń oraz dyskusji o problemach związanych z realizacją zaopatrzenia w wodę, napotykanym w przedsiębiorstwach wodociągowych, stacjach sanitarno-epidemiologicznych, urzędach miast i gmin.

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

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

Rekrutacja na studia od 1 czerwca 2021 odbywać się będzie przez system SORek:

<https://rekrutacja.polsl.pl/studia-podyplomowe/>

**Termin – październik 2021 r. – czerwiec 2022 r.** (2 semestry)

**Cena – 2 200 zł za 1 semestr** (całość 4 400 zł)

Szczegółowe informacje na temat studiów podyplomowych **Systemy Bezpieczeństwa Zaopatrzenia w Wodę** dostępne są na stronie internetowej

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

lub pod telefonem

Sekretariat: Aleksandra Bernaczek – 32 237 26 98

Kierownik Studiów Podyplomowych: Izabela Zimoch – 606 62 41 96

To studia właśnie dla Ciebie  
– zapraszamy!

**Kierownik Studiów Podyplomowych**  
**Prof. dr hab. inż. Izabela Zimoch**

HENRYK GRZEGORZ SABINIAK  
KAROLINA WIŚNIK  
TOMASZ ADAMIAK



## OGRZEWANIE PODŁOGOWE

PROJEKTOWANIE • REGULACJA • WSKAZÓWKI PRAKTYCZNE



Wydanie I, 2020 r.

### Spis treści

#### Wstęp

#### Wykaz oznaczeń

1. Komfort cieplny
2. Zalety i wady ogrzewania i chłodzenia podłogowego
3. Systemy ogrzewania podłogowego
4. Projektowanie grzejników podłogowych
5. Regulacja instalacji ogrzewania podłogowego
6. Elektryczne ogrzewanie podłogowe
7. Wskazówki praktyczne

„Ogrzewanie podłogowe” – wydanie I, 2020 r.

ISBN-978-83-88695-37-7

Autorzy: prof. dr hab. inż. Henryk Sabinia, dr inż. Karolina Wiśnik, dr inż. Tomasz Adamiak z Instytutu Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych Politechniki Łódzkiej. Format B-5, oprawa twarda, stron 264.

**Zamówienia w cenie 76 zł + 8% VAT**  
**za egzemplarz przyjmuje Ośrodek Informacji**  
**„Technika instalacyjna w budownictwie”**  
**02-674 Warszawa, ul. Marynarska 14,**  
**tel./fax (22) 843 77 71**  
**e-mail: [wydawnictwo@informacjainstal.com.pl](mailto:wydawnictwo@informacjainstal.com.pl)**

# WYKAZ WYDAWNICTW - WAKACYJNA OBNIŻKA CEN

(ważna do 30.09.2021 r.)

**Wydawca i Redakcja**

**Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”**  
02-674 Warszawa, ul. Marynarska 14  
tel./fax (22) 843 77 71  
e-mail:  
redakcja@informacjainstal.com.pl  
wydawnictwo@informacjainstal.com.pl

**Redaktor Naczelny** Janusz Wróblewski  
(22) 843 77 71  
601 231 235

**Redaktorzy Tematyczni** prof. dr hab. inż. Wojciech Dąbrowski – Politechnika Krakowska  
prof. dr hab. inż. Władysław Szaflik – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

**Redaktor językowy** mgr Kamila Nawrot

**Korekta j. angielskiego** Jacek Sobolewski

**Redaktor Statystyczny** dr hab. inż. Anna Głowacka, prof. ZUT w Szczecinie

**Prenumerata** Jolanta Sobieraj  
(22) 843 77 71  
603 975 098

**Informacje dla autorów, lista recenzentów i zasady recenzji na naszej stronie internetowej**  
Wersja pierwotna czasopisma - papierowa

**Redakcja nie odpowiada za treść ogłoszeń i artykułów sponsorowanych**

**Czasopismo recenzowane**  
20 pkt. w klasyfikacji MEiN dla autorów za publikację

**Znajdujemy się w bazach czasopism:**  
BazTech, IndexCopernicus, POLindex  
Artykuły naukowe opatrzone są Cyfrowym identyfikatorem dokumentu elektronicznego - DOI, który prosimy podawać w pozycjach literatury.

© Wszelkie prawa zastrzeżone  
Ośrodek Informacji "Technika instalacyjna w budownictwie"

Więcej informacji na stronie  
[www.informacjainstal.com.pl](http://www.informacjainstal.com.pl)

**Informacjainstal**  
Ośrodek Informacji „Technika Instalacyjna w Budownictwie” (z siedzibą w Warszawie)

TOP: KRYZYS, WYKONANIE, WYKONANIE, WYKONANIE

Instalacje i techniki w budownictwie

O Instal

Wszystkie prace w instalacjach – Ciężarowne mierzony (10 pkt. w klasyfikacji MEiN) dla autorów za publikację

Wszystkie prace w instalacjach – Ciężarowne mierzony (10 pkt. w klasyfikacji MEiN) dla autorów za publikację

Wszystkie prace w instalacjach – Ciężarowne mierzony (10 pkt. w klasyfikacji MEiN) dla autorów za publikację

Wszystkie prace w instalacjach – Ciężarowne mierzony (10 pkt. w klasyfikacji MEiN) dla autorów za publikację

1	Poradnik wykonywania instalacji wodociągowych, ogrzewczych i gazowych z rur miedzianych (wyd. III, październik - 2000 r.)	30 zł	15 zł
2	Warunki techniczne projektowania, wykonania, odbioru i eksploatacji sieci ciepłowniczych z rur i elementów preizolowanych (wyd. I - 1996 r.)	22 zł	10 zł
3	Pompy ciepła. Poradnik (wyd. III- marzec 2006 r.)	40 zł	30 zł
4	Elektryczne akumulacyjne ogrzewanie pomieszczeń (wyd. I.- 1998 r.)	20 zł	10 zł
5	Książka obiektu budowlanego /Zgodna z rozporządzeniem MSWiA/	12 zł	
6	Termomodernizacja instalacji w budownictwie przemysłowym i użyteczności publicznej (wyd. I - wrzesień 1999 r.)	32 zł	10 zł
7	Obiegi wodne i parowe w kotłowniach. Poradnik projektanta. (wyd. I – styczeń 2000 r.)	35 zł	
8	Zalecenia dla projektantów instalacji zimnej i ciepłej wody wodociągowej oraz instalacji ogrzewania w zakresie wyboru i łączenia materiałów, uwzględniające agresywność korozyjną wód wodociągowych w 53 miastach w Polsce (wyd. I 2000 r.)	25 zł	
9	METROLOGIA mikroklimatu pomieszczenia i środowiskowych wielkości fizycznych. (wyd. I, 2003/2004 Opole)	40 zł	
10	TERMODYNAMIKA – Zagadnienia praktyczne w ogrzewnictwie i klimatyzacji (wyd. I 2005 r.)	35 zł	10 zł
11	WT COBRTI INSTAL Zeszyt 1. Komentarz do normy PN-92/B-01706/Azł:1999 „Zabezpieczenie wody przed wtórnym zanieczyszczeniem” (wyd. I, czerwiec 2001 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	30 zł	
12	WT COBRTI INSTAL Zeszyt 2. „Wytyczne projektowania instalacji centralnego ogrzewania” (wyd. I, sierpień 2001 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	40 zł	
13	Wymagania techniczne COBRTI INSTAL Zeszyt 3. „Warunki Techniczne wykonania i odbioru sieci wodociągowych” (wyd. I, wrzesień 2001 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	25 zł	
14	Wymagania techniczne COBRTI INSTAL Zeszyt 5. „Warunki Techniczne wykonania i odbioru instalacji wentylacyjnych” (wyd. I wrzesień 2002 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	30 zł	
15	Wymagania techniczne COBRTI INSTAL Zeszyt 6. „Warunki Techniczne wykonania i odbioru instalacji ogrzewczych” (wyd. I, maj 2003 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	40 zł	
16	Wymagania techniczne COBRTI INSTAL Zeszyt 7. „Warunki Techniczne wykonania i odbioru instalacji wodociągowych” (wyd. I, wrzesień 2003 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	35 zł	
17	Wymagania techniczne COBRTI INSTAL Zeszyt 8. „Warunki Techniczne wykonania i odbioru węzłów ciepłowniczych” (wyd. I, wrzesień 2003 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	30 zł	
18	Wymagania techniczne COBRTI INSTAL Zeszyt 9. „Warunki Techniczne wykonania i odbioru sieci kanalizacyjnych” (wyd. I, wrzesień 2003 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	30 zł	
19	Wymagania techniczne COBRTI INSTAL Zeszyt 10. „Wytyczne stosowania i projektowania instalacji z rur miedzianych” (wyd. I, styczeń 2004 r.)	40 zł	
20	WT COBRTI INSTAL Zeszyt 11. „Zalecenia do projektowania instalacji ciepłej wody, wentylacji i klimatyzacji minimalizujące namnażanie się bakterii Legionella” (wyd. I, 2005 r.)	30 zł	
21	Wymagania techniczne COBRTI INSTAL Zeszyt 12 „Warunki techniczne wykonania i odbioru instalacji kanalizacyjnych” (wyd. I, wrzesień 2006 r.) NAKŁAD WYCZERPANY	30 zł	
22	Wymagania Techniczne. Zeszyt 1” Warunki techniczne wykonania i odbioru instalacji sprężonego powietrza” (wyd. I, grudzień 2012 r.)	40 zł	
23	Wymagania Techniczne. Zeszyt 2 „Warunki techniczne wykonania, odbioru i eksploatacji rurociągów preizolowanych w płaszczu osłonowym HDPE układanych bezpośrednio w gruncie” (wyd. I, 2013 r.)	48 zł	20 zł
24	BIOZ – bezpieczeństwo i ochrona zdrowia na budowie (wyd. I, wrzesień 2006 r.)	35 zł	10 zł
25	MECHANIKA PŁYNÓW – Wybrane zagadnienia w ujęciu komputerowym (wyd. I 2007 r.)	40 zł	10 zł
26	Rozliczanie kosztów zużycia ciepła i wody w budynkach. Poradnik Zarządcy Budynku (wyd. I 2008 r.)	36 zł	20 zł
27	LEGIONELLA w instalacjach budynków (wyd. I 2009 r.)	45 zł	15 zł
28	Jak korzystać z podzielników kosztów ogrzewania. Poradnik użytkownika lokalu (wyd. I, październik 2009 r.)	10 zł	
29	Charakterystyka energetyczna budynków + CD (wyd. I, luty 2010 r.)	65 zł	
30	Projektowanie instalacji ciepłej wody w budynkach mieszkalnych (wyd. 2011 r.)	60 zł	30 zł
31	WĘZŁY CIEPLNE w miejskich systemach ciepłowniczych (wyd. II, 2014 r.)	68 zł	30 zł
32	Racjonalizacja zużycia energii w budownictwie mieszkaniowym (wyd. I, 2016 r.)	64 zł	30 zł
33	Ogrzewanie podłogowe. Poradnik (wyd. I, 2020 r.)	76 zł	70 zł

## Czasopisma:

Budownictwo i Prawo (kwartalnik) – prenumerata w 2021 r.	80 zł	
INSTAL (miesięcznik)	– prenumerata w 2021 r.:	
	– zwykła	320 zł
	– z CD na koniec roku	370 zł
	– ciągła (z CD na koniec roku)	290 zł
	– półroczna	170 zł
	– z całorocznym dostępem do archiwum	390 zł
	– dla studentów	160 zł
	– elektroniczna	230 zł

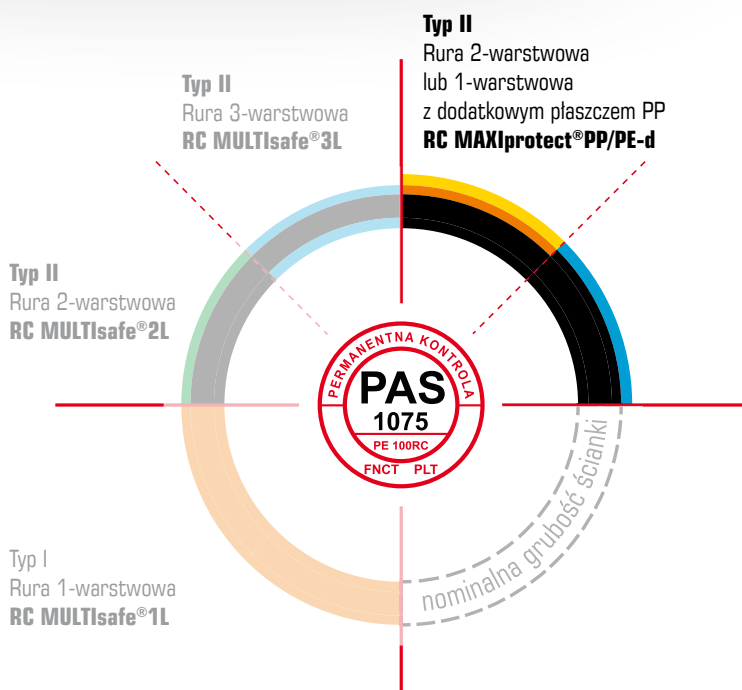
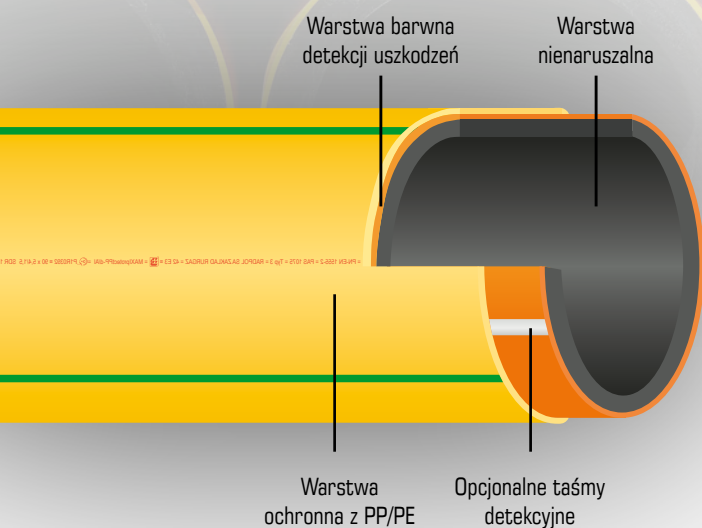
Do podanych cen doliczamy podatek VAT - dla książek 5%, a dla czasopism 8%. Przy realizacji zamówienia doliczamy koszty wysyłki - płatne przez Zamawiającego (z wyjątkiem prenumeraty). Termin realizacji zamówienia do 14 dni.

**ZAMÓWIENIA NA WYDAWNICTWA NALEŻY SKŁADAĆ POD ADRESEM:**

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

# Rury ciśnieniowe RC MAXIprotect®

rury warstwowe RC  
w dodatkowym płaszczu PP lub PE  
do bezpiecznego przesyłu gazu



## ZALETY:



Pełnowartościowe rury warstwowe RC w dodatkowym płaszczu PP lub PE.



Odporne na uszkodzenia, zarysowania z ochroną rury przewodowej.



Odporne na obciążenia punktowe. Do układania w każdym gruncie, również kamienistym, bez podsypki i obsypki piaskowej.



Identyfikacja uszkodzeń dzięki warstwowej budowie rury wewnętrznej przewodowej.



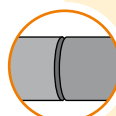
100% zgodne z wytycznymi PSG dotyczącymi projektowania i budowy gazociągów z polietylenu.



Zalecane do układania metodami bezwykopowymi (np. HDD) i do renowacji metodami statycznymi i dynamicznymi (np. Cracking, Burstlining).



Do układania metodą wąskowykopową (płużenie z frezowaniem – grunty skaliste, nawierzchnie utwardzone).



Zgrzewanie doczołowe bez zdejmowania płaszcza PP.



Zakładana trwałość techniczna rurociągu: powyżej 100 lat.

