ISSN 0016-5352 e-ISSN 2449-9404



POLSKIE ZRZESZENIE
INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW
SANITARNYCH

CZASOPISMO WYDAWANE OD 1921 ROKU

Gaz Woda i Technika Sanitarna

Gas Water & Sanitary Engineering

10

2026

www.gwits.pl

cena: 18,50 zł (w tym VAT 8%)

ORLEN

Z ENERGIĄ
DLA POLSKI

3,7 mld m³
GAZU ZIEMNEGO



WYDOBYLIŚMY Z KRAJOWYCH
ZŁÓŻ W 2025 ROKU

10/2026 [tom 100]
Gaz Woda i Technika Sanitarna
Rok założenia 1921. Miesięcznik Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych. Naukowe czasopismo recenzowane.
ISSN 0016-5352, e-ISSN 2449-9404

KOLEGIUM REDAKCYJNE / Editorial Board
REDAKTOR NACZELNY / Editor in Chief
prof. dr hab. inż. Andrzej J. Osiadacz
ZASTĘPCA REDAKTORA NACZELNEGO / Deputy Editor in Chief
dr inż. Piotr Jadwiszczak
REDAKTORZY / Editors
dr hab. inż. Zbysław Dymaczewski – Politechnika Poznańska
dr hab. inż. Wojciech Kostowski – Politechnika Śląska
prof. dr hab. inż. Beata Kowalska – Politechnika Lubelska
dr hab. inż. Małgorzata Kwestarz – Politechnika Warszawska
dr inż. Piotr Manczarski – Politechnika Warszawska
dr hab. inż. Jerzy Mikosz – Politechnika Krakowska
dr Grzegorz Rosłonek – ORLEN S.A.
dr inż. Katarzyna Umiejewska – Politechnika Warszawska

RADA PROGRAMOWO-NAUKOWA / Scientific and Program Council
prof. dr hab. inż. Stanisław Nagy – Przewodniczący Rady – Akademia Górniczo-Hutnicza
prof. Antonio Albuquerque – University of Beira Interior, Portugalia
prof. dr hab. inż. Andrzej Białowiec – Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
prof. dr hab. inż. Waldemar Kamrat – Politechnika Gdańska
dr hab. inż. Dariusz Kowalski – Politechnika Lubelska
dr Ricardo Bolado Lavin – European Commission, Joint Research Centre, Petten
Myroslav Malovanyy, Ph.D, D.Sc., professor – Lviv National Polytechnic University
dr Kiran Tota-Maharaj – Aston University
mgr inż. Marcin Nocoń – Bio-Energo-Gaz
prof. dr hab. inż. Marcin Zieliński – Uniwersytet Warmińsko-Mazurski

ADRES REDAKCJI / Editorial address
ul. Czackiego 3/5 pokój 217, 00-043 Warszawa
e-mail: redakcja@gwits.pl

WYDAWNICTWO / Publisher
POLSKIEGO ZRZESZENIA INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW SANITARNYCH
ul. Czackiego 3/5 pokój 217, 00-043 Warszawa, tel: 22 826 28 94
e-mail: wydawnictwo@pzits.pl, www.pzits.pl
Szczegóły prenumeraty: www.pzits.pl/prenumerata

DRUK / Printing
Zakład Poligrafii i Kolportażu Wydawnictwo SIGMA-NOT Sp. z o. o.
ul. Ks. J. Popiełuszki 19/21, 01-595 Warszawa
Miejsce i data wydania: Warszawa 10/2026
Nakład: 230 egzemplarzy

INFORMACJE / Journal info
Wersja pierwotna: elektroniczna
Czasopismo GWiTS znajduje się w wykazie czasopism naukowych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.
Czasopismo GWiTS znajduje się w bazach czasopism technicznych: BazTech, Index Copernicus ICV 2024 = 82.36.
Artykuły publikowane w GWiTS otrzymują numer DOI (Digital Object Identifier). Są rejestrowane w bazie danych CrossRef. Są publikowane online w otwartym dostępie (Open Access).
Artykuły w otwartym dostępie na licencji Creative Commons CC BY 4.0. Licencjobiorcą jest PZITS.

PRZESYŁANIE ARTYKUŁÓW / Submission
Przesyłanie artykułów i wytyczne dla autorów / Article submission and author guidelines **www.gwits.pl**

SPIS TREŚCI / Contents

Mateusz Stróżyk, Maciej Bełcik, Marcin Wdowikowski
Potencjał retencyjny terenu zurbanizowanego w oparciu o metodę SCS-CN na przykładzie Świdnicy, województwo dolnośląskie
Retention potential of an urbanized area based on the SCS-CN method: A case study of Świdnica, Lower Silesian Voivodeship. 2

Małgorzata Kutyłowska
Poprzeczna przeszkoda w kanale deszczowym – studium przypadku ku przestrodze
Transverse obstacle in a stormwater sewer – a cautionary case study 9

Adrianna Kornacka, Maciej Witek
Analiza doboru sprężarek odśrodkowych w tłoczniach gazu w zmiennych warunkach użytkowania
Analysis of centrifugal compressor selection in gas compressor stations under variable operating conditions. 14

Grzegorz Rosłonek
Analizatory korelacyjne w ocenie jakości biogazu/biometanu i bioLNG
Correlation analyzers for biogas/biomethane and bio-LNG quality 21

Arkadiusz Dyjas, Michał Kwiczała, Jakub Lisiecki, Kamil Meyer, Martyna Rykowska, Kacper Skupiński, Julia Stasiak
Potential directions for the development of hydrogen energy in Poland
Potencjalne kierunki rozwoju energetyki wodorowej w Polsce 26

Witold Paleczek
Od pomiaru do dowodu, czyli rola świadectwa wzorcowania w obliczu bezkrytycznego zaufania do techniki nie tylko w branży sanitarnej
From measurement to evidence: the role of the calibration certificate in the face of uncritical trust in technology, not only in the sanitary industry. 32

PZITS W DZIAŁANIU

Sprawozdanie z uroczystych obchodów 70-lecia PZITS Oddział w Kielcach 38

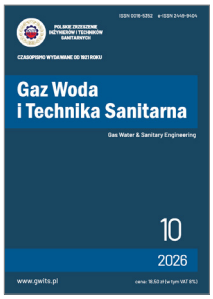
Nadchodzące Wydarzenia 40

Wszystkie opublikowane artykuły dostępne są w otwartym dostępie (Open Access) na stronie:
All published manuscripts are available online in Open Access:
www.gwits.pl
facebook.com/GazWoda
linkedin.com/company/gazwoda/

DOI: 10.65545/GWITS.2026.10.01

POLSKIE ZRZESZENIE INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW SANITARNYCH

Gaz Woda i Technika Sanitarna
Gas Water & Sanitary Engineering



Artykuł dostępny / Open Access: www.gwits.pl

Potencjał retencyjny terenu zurbanizowanego w oparciu o metodę SCS-CN na przykładzie Świdnicy, województwo dolnośląskie

Retention potential of an urbanized area based on the SCS-CN method: A case study of Świdnica, Lower Silesian Voivodeship

Mateusz Stróżyk[1], *Maciej Bełcik*[1], *Marcin Wdowikowski*[1]*

[1] *Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wrocławska*
* *Kontakt / Correspondence: marcin.wdowikowski@pwr.edu.pl*

Streszczenie:
Artykuł przedstawia ocenę potencjału retencyjnego Świdnicy z wykorzystaniem metody SCS-CN oraz narzędzi GIS. Na podstawie wysokorozdzielczych danych teledetekcyjnych Scalgo określono parametry retencji dla stanu istniejącego (średni CN = 83,77; S = 59,38 mm), identyfikując obszary o wysokim spływie powierzchniowym. Symulacja wdrożenia błękitno-zielonej infrastruktury (zielone dachy, nawierzchnie ażurowe) wykazała obniżenie CN do 76,43 i wzrost retencji S do 109,89 mm, co potwierdza skuteczność BZI.
Słowa kluczowe: potencjał retencyjny, zasoby wodne, błękitno-zielona infrastruktura, hydrologia miejska, metoda SCS-CN

Abstract:
This article presents an assessment of the retention potential of Świdnica using the SCS-CN method and GIS tools. Based on high-resolution Scalgo remote sensing data, retention parameters for the baseline condition were determined (average CN = 83,77; S = 59,38 mm), identifying areas with high surface runoff. Simulation of blue-green infrastructure implementation (green roofs, permeable pavements) demonstrated a reduction of CN to 76,43 and an increase in retention S to 109,89 mm, confirming the effectiveness of BGI.
Keywords: retention potential, water resources, blue green infrastructure, urban hydrology, SCS-CN method

1. Wprowadzenie

Potencjał retencyjny obszaru zurbanizowanego definiuje się jako jego zdolność do czasowego zatrzymywania i magazynowania wód opadowych oraz roztopowych, co bezpośrednio wpływa na spowolnienie i zmniejszenie fali spływu powierzchniowego [11]. Współczesne procesy urbanizacyjne, połączone z postępującymi zmianami klimatycznymi, istotnie zaburzają naturalny obieg wody w zlewniach miejskich [2]. Obserwowane w ostatnich latach przekształcenia reżimu opadowego manifestują się głównie wzrostem częstotliwości występowania gwałtownych opadów nawalnych o dużej intensywności, przedzielonych wydłużonymi okresami suszy [1]. Jak wskazuje raport Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej „Klimat Polski 2024", mimo że uśredniona roczna suma opadów dla Polski (608,4 mm) osiągnęła poziom 99,4% normy z wielolecia 1991–2010, skumulowana liczba dni z opadem uległa wyraźnemu zmniejszeniu [1]. Świadczy to o skondensowaniu opadów w krótszych przedziałach czasowych, co ogranicza infiltrację gruntową i stymuluje szybki spływ powierzchniowy [1]. Istniejąca infrastruktura odwadniająca, projektowana w oparciu o historyczne modele hydrologiczne, nie jest przystosowana do przyjmowania tak dużych objętości wody w krótkim czasie, co prowadzi do przeciążenia sieci kanalizacyjnych i wzrostu ryzyka powodzi miejskich [8]. W konsekwencji zwiększanie retencji w miastach staje się jednym z priorytetowych wyzwań inżynierii środowiska i gospodarki przestrzennej [2].

Odpowiedzią na rosnący deficyt retencyjny w obszarach zurbanizowanych jest rozwój błękitno-zielonej infrastruktury (BZI), obejmującej rozwiązania oparte na zasobach przyrody (ang. *Nature-Based Solutions* – NBS), takie jak niecki bioretencyjne, ogrody deszczowe, zielone dachy, nawierzchnie przepuszczalne czy miejskie zbiorniki retencyjne [2, 17]. W literaturze przedmiotu podkreśla się, że BZI nie tylko ogranicza odpływ bezpośredni i odciąża systemy kanalizacyjne, ale pełni również istotne funkcje ekosystemowe, mikroklimatyczne oraz

Artykuł / Article: Nadesłany / Received: 9.10.2026; Zrecenzowany / Revised: 13.10.2026; Zaakceptowany / Accepted: 17.10.2026; Opublikowany / Published: 26.10.2026

Prawa autorskie: © 2026 autorów. Licencjobiorca: PZITS. Artykuł w otwartym dostępie na licencji Creative Commons CC BY 4.0. / Copyright: © 2026 by the authors. Licensee PZITS. This article is an open access under the Creative Commons CC BY 4.0 license.

adaptacyjne [2, 5]. Mimo niezaprzeczalnych zalet, wdrażanie BZI w polskich realiach napotyka istotne bariery natury prawnej, finansowej, technicznej i społecznej [3–7]. Do fundamentalnych problemów należy brak jednoznacznej definicji obszarów retencyjnych w polskim prawodawstwie [3] oraz brak ujednoliconych standardów określających pojemność retencyjną krajobrazu [4]. W sferze planowania przestrzennego wyzwaniem pozostaje wymuszenie zlewniowego podejścia do gospodarowania wodą oraz ochrona naturalnych korytarzy retencyjnych przed presją inwestycyjną [4]. Barierą ekonomiczną jest wysoki koszt realizacji i utrzymania obiektów BZI, połączony z brakiem powszechnych metodyk wyceny świadczonych przez nie usług ekosystemowych (np. retencjonowania wody czy chłodzenia mikroklimatu) w rachunkach opłacalności inwestycyjnej [5]. Ponadto w gęsto zabudowanych centrach miast ograniczenie stanowią kolizje z podziemną infrastrukturą techniczną oraz podatność BZI na utratę sprawności eksploatacyjnej w wyniku zamulenia lub kolmatacji porów, co wymaga wprowadzenia nowych standardów serwisowania [6]. Zwraca się także uwagę na rozproszenie kompetencji decyzyjnych pomiędzy podmiotami takimi jak Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie a samorządami lokalnymi, co utrudnia spójne zarządzanie zasobami wodnymi w skali dorzecza [7].

Skuteczne zarządzanie ryzykiem pluwialnym wymaga zastosowania zaawansowanych narzędzi diagnostycznych i modelowych [8, 9]. Wskazuje się na konieczność stosowania zintegrowanego podejścia, łączącego analizy pokrycia terenu, stopnia uszczelnienia powierzchni oraz właściwości infiltracyjnych podłoża z wykorzystaniem Systemów Informacji Geograficznej (GIS) [9]. Nowoczesna hydrologia miejska coraz szerzej wykorzystuje wysokorozdzielcze dane przestrzenne, w tym Numeryczne Modele Terenu (NMT) [21] i dane z lotniczego skanowania laserowego (ALS/LiDAR) [22]. Specjalistyczne platformy, takie jak SCALGO Live, umożliwiają precyzyjne symulowanie korytarzy spływu powierzchniowego, bezodpływowych depresji terenowych oraz matematyczny rozdział opadu na infiltrację, retencję depresyjną i spływ bezpośredni [23]. W ocenie komponentu roślinnego istotną rolę odgrywa teledetekcja satelitarna (np. dane Sentinel-2), wykorzystująca znormalizowany różnicowy wskaźnik wegetacji (NDVI) do monitorowania kondycji zieleni i ewapotranspiracji [24–26]. W celu kompleksowej ewaluacji adaptacyjności miast formułowane są zintegrowane systemy wskaźnikowe, takie jak Water City Index (WCI) [27] czy Urban Climate Adaptation Index (UCAI) [28], a na poziomie regionalnym – wskaźnik krajobrazowego potencjału hydrycznego (ang. *Landscape Hydric Potential* – LHP), określający zdolność terenu do spowolnienia odpływu i zasilania wód podziemnych [19, 20].

Jedną z najczęściej stosowanych i uznanych w praktyce inżynierskiej metod szacowania odpływu bezpośredniego z opadów epizodycznych jest metoda SCS-CN (Soil Conservation Service – Curve Number), opracowana przez Departament Rolnictwa USA i rozwinięta m.in. w systemach HEC-HMS [10]. Metoda ta opiera się na parametryzacji obszaru zlewni za pomocą bezwymiarowego wskaźnika retencji CN (przyjmującego wartości od 0 do 100), który uwzględnia właściwości hydrologiczne gleb, sposób użytkowania i pokrycia terenu oraz wstępne warunki wilgotnościowe podłoża [10, 16]. Wielkość bezpośredniego odpływu powierzchniowego [mm] wyznaczana jest z zależności [10, 16]:

$$Q = \frac{(P - 0{,}2S)^2}{P + 0{,}8S} \quad \text{dla } P > 0{,}2S \tag{1}$$

gdzie P oznacza wysokość opadu [mm], natomiast S jest maksymalną potencjalną retencją zlewni [mm], wyliczaną ze wzoru [4, 10, 16]:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \tag{2}$$

Wysokie wartości parametru CN (bliskie 100) charakteryzują powierzchnie nieprzepuszczalne o znikomej zdolności infiltracyjnej, generujące gwałtowny spływ, podczas gdy niskie wartości odpowiadają obszarom biologicznie czynnym o wysokiej chłonności [10]. Zastosowanie metody SCS-CN w środowisku GIS pozwala na przestrzenne mapowanie wskaźnika CN oraz potencjału S, tworząc empiryczną podstawę do oceny stanu istniejącego oraz symulacji wariantowych działań adaptacyjnych w miastach [9, 10].

W wymiarze operacyjnym narzędziem integrującym lokalne polityki adaptacyjne do zmian klimatu jest Miejski Plan Adaptacji (MPA) [7, 29, 30]. Dokument ten precyzuje cele strategiczne w zakresie zwiększania odporności na zagrożenia pluwialne i termiczne, stanowiąc podstawę do podejmowania inwestycji z zakresu retencji miejskiej [31, 32]. Pomimo bogatej literatury regionalnej [13, 14] i ogólnych wytycznych planistycznych, wciąż zauważalny jest brak szczegółowych, wysokorozdzielczych studiów przypadku analizujących rzeczywisty potencjał retencyjny średniej wielkości miast polskich z uwzględnieniem krytycznego porównania baz danych przestrzennych o różnej rozdzielczości.

Celem niniejszego artykułu jest określenie i ocena przestrzennego potencjału retencyjnego wybranego obszaru zurbanizowanego na przykładzie miasta Świdnica (województwo dolnośląskie) oraz ocena możliwości jego poprawy poprzez wdrożenie wariantowych rozwiązań z zakresu błękitno-zielonej infrastruktury.

2. Materiał badawczy i metody

Za obszar badań przyjęto miasto Świdnica, o statusie gminy miejskiej zlokalizowanej w południowej części województwa dolnośląskiego, w obrębie jednostki fizycznogeograficznej Przedgórza Sudeckiego [33]. Miasto zajmuje powierzchnię 21,75 km^2 i liczy około 52,1 tys. mieszkańców, co przekłada się na wysoką gęstość zaludnienia wynoszącą 2393,2 os./km^2. Wybór Świdnicy był wynikiem wielokryterialnej analizy przesiewowej (opisanej w rozdziale 3) przeprowadzonej dla miast województwa dolnośląskiego o populacji przekraczającej 20 tys. mieszkańców [12]. Analiza ta wykazała, że miasto charakteryzuje się znacznym udziałem powierzchni zabudowanych przy jednocześnie ograniczonym udziale strukturalnej infrastruktury niebiesko-zielonej, co wg danych regionalnych plasuje je w grupie jednostek szczególnie wrażliwych na występowanie miejskich powodzi pluwialnych [13, 14].

Pod względem hydrograficznym Świdnica leży w zlewni rzeki Bystrzycy, która przepływa przez teren miasta i stanowi główny odbiornik wód opadowych oraz spływów z miejskiego systemu kanalizacji deszczowej [31, 33]. Lokalny układ sieci rzecznej tworzą ponadto mniejsze cieki, takie jak Młynówka i Potok Witoszowski, a także sztuczny zbiornik wodny – Zalew Witoszówka, pełniący funkcje retencyjne i rekreacyjne. Rzeźba terenu miasta jest wyraźnie urozmaicona, rzędne wysokościowe wahają się

w przedziale od 200 do 265 m n.p.m. Ukształtowanie powierzchni bezpośrednio determinuje kierunki spływu powierzchniowego oraz sprzyja powstawaniu lokalnych depresji terenowych, w których podczas opadów o dużej intensywności dochodzi do czasowej akumulacji wody [33].

Struktura użytkowania terenu Świdnicy cechuje się silnym przekształceniem antropogenicznym. W granicach miasta występuje gęsta zabudowa mieszkaniowa (zarówno jedno-, jak i wielorodzinna), obiekty usługowe oraz rozległe tereny przemysłowe, związane m.in. z funkcjonowaniem Podstrefy Świdnica Wałbrzyskiej Specjalnej Strefy Ekonomicznej „INVEST-PARK". Istotny udział w uszczelnieniu podłoża ma również infrastruktura transportowa, w tym układ dróg krajowych (DK35) i wojewódzkich oraz ciągi kolejowe [33].

Szczegółowa klasyfikacja pokrycia terenu wykonana w oparciu o wysokorozdzielcze dane teledetekcyjne (platforma Scalgo) wykazała następującą strukturę przestrzenną obszaru miasta:

Powierzchnie nieprzepuszczalne (uszczelnione): budynki stanowią 9,6% powierzchni miasta (2,10 km^2), drogi utwardzone 5,5% (1,20 km^2), a inne utwardzone tereny (place, parkingi, chodniki) 14,0% (3,04 km^2). Łącznie tereny bezpośrednio ograniczające infiltrację zajmują 29,1% obszaru gminy (uzupełnione o tory kolejowe stanowiące 0,6%).

Powierzchnie biologicznie czynne i zielone: niska roślinność (trawy, murawy, ogrody działkowe) obejmuje 28,3% powierzchni (6,15 km^2), wysoka roślinność (drzewostany, parki, lasy) 25,6% (5,56 km^2), grunty rolne 12,9% (2,81 km^2), a wody powierzchniowe 1,0% (0,22 km^2). Pozostały udział mają grunty odsłonięte (2,1%) oraz drogi nieutwardzone (0,4%).

Mimo stosunkowo znacznego udziału terenów biologicznie czynnych na obrzeżach miasta, centralne i wschodnie strefy Świdnicy charakteryzują się zwartą zabudową oraz wysokim stopniem uszczelnienia, co w połączeniu z obecnością gleb o ograniczonej przepuszczalności stwarza niekorzystne warunki dla naturalnej infiltracji i wywołuje szybki spływ bezpośredni wód opadowych [13, 14, 32].

W pracy wykorzystano następujące metody i narzędzia badawcze skatalogowane w etapy tworzące jednocześnie procedurę obliczeniową:

1. W pierwszym etapie przeprowadzono wielokryterialną analizę przesiewową miast województwa dolnośląskiego w oparciu o kryteria demograficzne z uwzględnieniem wytycznych Krajowej Strategii Rozwoju Regionalnego 2030 [12], wskaźniki uszczelnienia terenu wyznaczone z europejskiej bazy danych CORINE Land Cover oraz udział infrastruktury niebiesko-zielonej, co pozwoliło na wytypowanie do badań szczegółowych miasta Świdnica.
2. Następnie do ilościowej i przestrzennej oceny warunków infiltracyjnych na poziomie lokalnym wykorzystano oprogramowanie QGIS oraz wysokorozdzielcze dane przestrzenne z platformy Scalgo Live, generowane z wykorzystaniem algorytmów sztucznej inteligencji na bazie ortofotomapy [23].
3. Otrzymane dane połączono z Numerycznym Modelem Terenu pozyskanym z państwowego zasobu geodezyjnego w celu analizy ukształtowania powierzchni i kierunków spływu [21]. Charakterystykę podłoża gruntowego pod kątem infiltracji wykonano w oparciu o dane z Mapy Geologii Inżynierskiej pochodzące z Centralnej Bazy Danych Geologicznych, kwalifikując obszar miasta do odpowiednich hydrologicznych grup glebowych [10].
4. Przestrzenna integracja klas pokrycia terenu i właściwości gleb umożliwiła przypisanie wartości współczynnika oraz wyznaczenie maksymalnej potencjalnej retencji zlewni za pomocą relacji matematycznych zaimplementowanych w kalkulatorze pól środowiska GIS [4, 10, 16].
5. Ewaluację możliwości podniesienia zdolności retencyjnych Świdnicy opracowano w formie przestrzennego scenariusza adaptacyjnego, uwzględniającego wprowadzenie rozwiązań z zakresu błękitno-zielonej infrastruktury, takich jak nawierzchnie przepuszczalne, nowe zadrzewienia oraz zielone dachy na obiektach przemysłowych i użyteczności publicznej [2, 17], a następnie przeliczono bilans retencyjny dla zmodyfikowanych parametrów terenu.

3. Analiza przesiewowa miast

W celu obiektywnego wytypowania obszaru badawczego o podwyższonej wrażliwości na występowanie miejskich powodzi pluwialnych i ograniczonym potencjale retencyjnym przeprowadzono wielokryterialną analizę przestrzenną [13, 14]. Procedura kwalifikacyjna opierała się na sekwencyjnym zastosowaniu czterech kryteriów selekcyjnych w środowisku GIS, co pozwoliło na sukcesywne filtrowanie jednostek administracyjnych z poziomu krajowego do skali lokalnej [12–14].

Założenia metodyczne analizy przesiewowej obejmowały cztery kryteria selekcyjne [12–14], natomiast schemat przedstawiono w tabeli 1:

Kryterium przestrzenno-administracyjne (K1): ograniczenie obszaru poszukiwań do granic województwa dolnośląskiego w celu zapewnienia spójności regionalnej polityki wodnej oraz optymalizacji mocy obliczeniowych przy przetwarzaniu danych GIS [13, 14].

Kryterium demograficzne (K2): uwzględnienie miast średnich i dużych o liczbie mieszkańców równej lub przekraczającej 20 tys. Próg ten przyjęto zgodnie z definicją miast średnich zawartą w Krajowej Strategii Rozwoju Regionalnego 2030 (KSRR 2030) oraz stosowaną przez Główny Urząd Statystyczny [12].

Kryterium uszczelnienia terenu (K3): wyselekcjonowanie gmin, w których udział powierzchni zabudowanych i utwardzonych przekracza 50% całkowitej powierzchni jednostki. Stopień uszczelnienia wyznaczono na podstawie europejskiej bazy danych CORINE Land Cover (CLC), sumując powierzchnie klas odpowiadających zwartej i luźnej zabudowie miejskiej, terenom przemysłowym, handlowym oraz infrastrukturze komunikacyjnej.

Kryterium udziału błękitno-zielonej infrastruktury (K4): ograniczenie wyboru do miast, w których udział strukturalnej BZI nie przekracza 30% powierzchni gminy. Klasyfikacja BZI w bazie CLC obejmowała tereny zieleni miejskiej, lasy, uprawy rolne, łąki, pastwiska oraz wody powierzchniowe [15, 18].

W punkcie wyjścia analizą objęto pełny zbiór 2479 gmin Rzeczypospolitej Polskiej. Zastosowanie pierwszego kryterium terytorialnego ograniczyło zbiór do 169 gmin województwa dolnośląskiego [13, 14]. Spośród nich drugie kryterium demograficzne (populacja ≥ 20 tys. mieszkańców) spełniło 17 ośrodków miejskich [12]: Wrocław (672,9 tys. mieszkańców), Wałbrzych (98,7 tys.), Legnica (90,8 tys.), Jelenia Góra (74,2 tys.),

DOI: 10.65545/GWITS.2026.10.01

Lubin (66,9 tys.), Głogów (61,2 tys.), Świdnica (52,1 tys.), Bolesławiec (36,8 tys.), Oleśnica (34,9 tys.), Oława (33,1 tys.), Dzierżoniów (30,3 tys.), Zgorzelec (28,5 tys.), Bielawa (27,7 tys.), Kłodzko (24,5 tys.), Świebodzice (21,6 tys.), Polkowice (21,1 tys.) oraz Jawor (20,3 tys.).

Tabela 1. Schemat wielokryterialnej analizy przesiewowej wyboru obszaru badań (opracowanie własne)
Table 1. Multi-criteria screening analysis workflow for study area selection (authors' own study)

Liczba gmin na danym etapie	Kryteria wyboru
2479	Dane wejściowe – liczba gmin w całej Polsce
169	K1: Ograniczenie obszaru do granic woj. dolnośląskiego
17	K2: Ograniczenie obszaru do miast średnich i dużych
5	K3: Ograniczenie obszaru do gmin o udziale terenów zurbanizowanych powyżej 50% powierzchni gminy
1	K4: Ograniczenie obszaru do gmin o udziale BZI poniżej 30%

Dla wytypowanych 17 miast przeprowadzono bilans struktury użytkowania terenu na podstawie danych CLC. Trzecie kryterium (udział powierzchni zabudowanej > 50%) wyeliminowało 12 miast i pozwoliło na wyłonienie 5 jednostek o najwyższym stopniu uszczelnienia: Świdnica (64,5% powierzchni zabudowanej), Zgorzelec (57,2%), Legnica (51,1%), Bolesławiec (50,9%) oraz Wrocław (50,4%). Warto zauważyć, że najgęściej zaludnione miasto spośród analizowanych, Świdnica (2393,2 os./km^2), zajęło jednocześnie pierwsze miejsce pod względem wskaźnika udziału powierzchni zabudowanej (tabela 2).

Tabela 2. Udział powierzchni zabudowanej w powierzchni całkowitej gminy (opracowanie własne)
Table 2. Percentage of built-up area in the total area of the municipality (authors' own study)

Miasto	Powierzchnia zabudowy [km^2]	Powierzchnia gminy [km^2]	Stosunek zabudowy do powierzchni gminy [%]
Bielawa	7,6	36,2	21,1%
Bolesławiec	11,6	22,9	50,9%
Dzierżoniów	9,4	20,1	46,8%
Głogów	16,1	35,1	45,9%
Jawor	7,5	18,8	39,8%
Jelenia Góra	28,1	109,3	25,7%
Kłodzko	8,0	24,8	32,2%
Legnica	28,7	56,3	51,1%
Lubin	19,9	40,7	48,9%
Oława	11,0	27,3	40,2%
Oleśnica	9,9	20,9	47,3%
Polkowice	14,4	167,6	8,6%
Świdnica	14,0	21,7	64,5%
Świebodzice	7,8	30,4	25,6%
Wałbrzych	27,3	84,6	32,2%
Wrocław	147,3	292,5	50,4%
Zgorzelec	9,1	15,9	57,2%

W ostatnim etapie analizy przesiewowej dla 5 zakwalifikowanych miast obliczono udział infrastruktury niebiesko-zielonej. Wskaźnik ten wyniósł odpowiednio: Legnica – 48,9%, Wrocław – 45,7%, Bolesławiec – 42,2%, Zgorzelec – 38,7% oraz Świdnica – 29,5%. Tym samym gmina miejska Świdnica okazała się jedyną jednostką w województwie dolnośląskim, która spełniła pełny zestaw założonych kryteriów brzegowych (w tym udział BZI poniżej 30%), wyniki przedstawia tabela 3.

Tabela 3. Udział powierzchni infrastruktury niebiesko-zielonej w powierzchni całkowitej gminy (opracowanie własne)
Table 3. Percentage of blue-green infrastructure in the total area of the municipality (authors' own study)

Miasto	Powierzchnia infrastruktury niebiesko-zielonej [km^2]	Powierzchnia gminy [km^2]	Stosunek terenów niebiesko-zielonych do powierzchni gminy
Bolesławiec	9,6	22,9	42,2%
Legnica	27,5	56,3	48,9%
Świdnica	6,4	21,7	29,5%
Wrocław	133,8	292,5	45,7%
Zgorzelec	6,1	15,9	38,7%

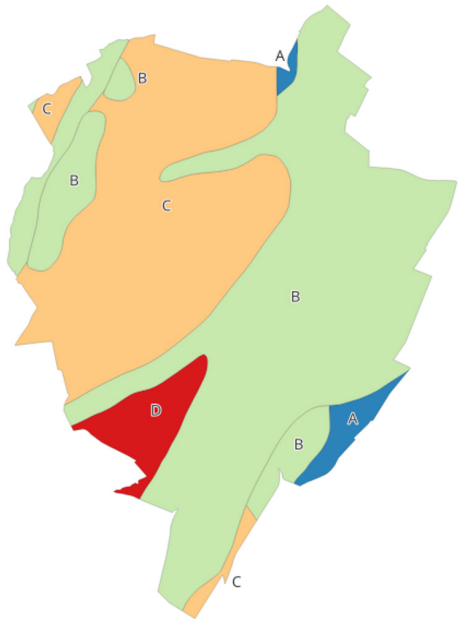
Wyniki przeprowadzonej procedury selekcyjnej oraz wybór Świdnicy jako reprezentatywnego obszaru badań potwierdzają ustalenia zawarte w dokumencie Instytutu Rozwoju Terytorialnego pt. *„Analiza potencjału retencyjnego na obszarze województwa dolnośląskiego"* [13, 14]. W raporcie tym Świdnica uzyskała niekorzystne wskaźniki w kategoriach retencji glebowej, leśnej oraz powierzchni małych zbiorników wodnych, przy jednoczesnym wysokim udziale obszarów zwartej zabudowy narażonych na zalewanie, co w pełni uzasadnia potrzebę podjęcia szczegółowych badań i działań adaptacyjnych na tym terenie [13, 14].

4. Wyniki i dyskusja

4.1. Ocena potencjału retencyjnego dla stanu istniejącego

Wyznaczenie potencjału retencyjnego Świdnicy w stanie istniejącym wymagało w pierwszej kolejności parametryzacji podłoża gruntowego pod kątem chłonności hydrologicznej. Na podstawie danych z Mapy Geologii Inżynierskiej (CBDG) wydzielono cztery hydrologiczne grupy glebowe (*A, B, C, D*) [10]. Na obszarze miasta dominują gleby zaliczone do grupy *B* (umiarkowana infiltracja) oraz grupy *C* (słaba przepuszczalność, sprzyjająca generowaniu spływu bezpośredniego). Gleby grupy *D* o skrajnie niskiej infiltracji występują lokalnie w południowo-zachodniej części miasta, natomiast najbardziej przepuszczalne gleby grupy *A* obejmują niewielkie fragmenty w rejonie cieków wodnych [10].

Połączenie klas pokrycia terenu wyznaczonych z bazy SCALGO z mapą grup hydrologicznych gleb pozwoliło przypisać wartości współczynnika *CN* z tabel metodycznych HEC-HMS [10, 16]. Dla obszaru Świdnicy średnia ważona wartość współczynnika *CN* dla stanu istniejącego wyniosła 83,77, co świadczy o wysokim stopniu uszczelnienia terenu oraz ograniczonej zdolności naturalnej infiltracji [10]. Najwyższe wartości parametru (*CN* = 98) przypisano powierzchniom całkowicie nieprzepuszczalnym, czyli budynkom, drogom utwardzonym, parkingom oraz placom manewrowym [10, 16].



Rys. 1. Mapa klasyfikacji hydrologicznej miasta Świdnica (opracowanie własne)
Fig. 1. Świdnica city hydrological classification map (authors' own study)

Na podstawie wartości CN obliczono maksymalną potencjalną retencję zlewni [4, 10, 16]. Średnia wartość parametru S dla całego miasta wyniosła zaledwie 59,38 mm. Analiza przestrzenna wykazuje silne zróżnicowanie zdolności magazynowych:

Strefy priorytetowe o najniższym potencjale retencyjnym (S < 59 mm): obejmują ścisłe centrum miasta (zwarta zabudowa wielorodzinna i usługowa z rozbudowaną siecią drogową), wschodnią część Świdnicy (obszary przemysłowe i magazynowe ze znacznym udziałem dachów, parkingów i placów dojazdowych) oraz pas rozciągający się w kierunku zachodnim i południowo-zachodnim [13, 14].

Strefy o podwyższonym potencjale retencyjnym: zlokalizowane są głównie na obrzeżach północnych, południowych i południowo-wschodnich, gdzie dominuje roślinność wysoka, grunty rolne oraz tereny zieleni urządzonej [13, 14].

Warto zauważyć, że obszary południowo-zachodnie, mimo obecności Zalewu Witoszówka oraz kompleksów leśno-łąkowych, wykazują lokalnie niższy potencjał wskaźnikowy ze względu na występowanie niekorzystnych gleb grupy *D* oraz fakt, że powierzchniom wód przypisuje się wartości *CN* = 100 (brak możliwości dodatkowego magazynowania opadu w profilu gruntowym) [10].

4.2. Ocena efektu hydrologicznego po wdrożeniu strategii BZI

W celu podniesienia retencyjności miasta opracowano scenariusz adaptacyjny oparty na rozproszonych rozwiązaniach błękitno-zielonej infrastruktury (BZI) [2, 17]. Strategia obejmowała trzy grupy działań:

Płyty ażurowe / ekologiczne parkingi: przekształcenie nieprzepuszczalnych placów i parkingów (stary *CN* = 98) w nawierzchnie ażurowe z udziałem zieleni (nowe wartości w przedziale 61–87 w zależności od grupy glebowej) [10].

Zielone dachy: wprowadzenie retencyjnych dachów zielonych na obiektach przemysłowych oraz budynkach użyteczności publicznej, obejmujące 1,33 km^2 (6,1% powierzchni miasta), dla których przyjęto wartość *CN* = 49 [10].

Zwiększenie struktury zadrzewienia: przekształcenie terenów roślinności niskiej w roślinność wysoką [10].

Tabela 4 przedstawia bilans struktury pokrycia terenu miasta Świdnica przed i po zastosowaniu proponowanych zmian adaptacyjnych.

Tabela 4. Zestawienie pokrycia terenu miasta Świdnica przed i po wdrożeniu scenariusza adaptacyjnego (opracowanie własne)
Table 4. Comparison of land cover in the city of Świdnica before and after the implementation of the adaptation scenario (authors' own study)

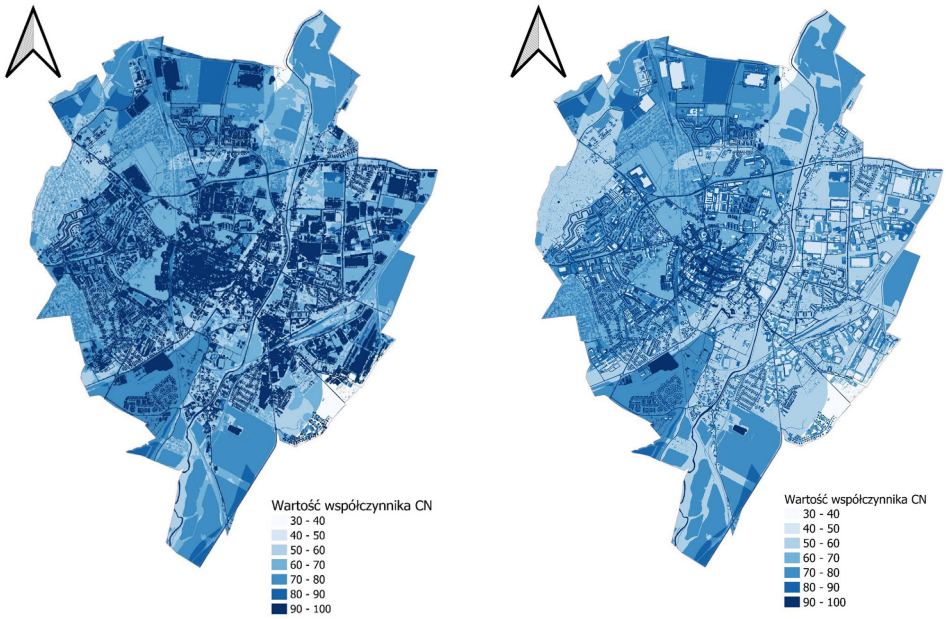
Rodzaj pokrycia terenu	Powierzchnia [km^2]	Udział w powierzchni gminy [%]	Powierzchnia [km^2]	Udział w powierzchni gminy [%]
	Powierzchnie przed zmianą		Powierzchnie po zmianie	
Grunt odsłonięty, niezabudowany	0,45	2,1%	0,45	2,1%
Wody powierzchniowe	0,22	1,0%	0,22	1,0%
Inne powierzchnie utwardzone	3,04	14,0%	3,04	14,0%
Niska roślinność (trawy, murawy itp.)	6,15	28,3%	5,90	27,1%
Wysoka lub gęsta roślinność (krzewy, lasy)	5,56	25,6%	5,81	26,8%
Pola uprawne	2,81	12,9%	2,81	12,9%
Drogi utwardzone	1,20	5,5%	1,20	5,5%
Drogi nieutwardzone	0,09	0,4%	0,09	0,4%
Linie kolejowe	0,13	0,6%	0,13	0,6%
Budynki	2,10	9,6%	0,77	3,5%
Zielone dachy	–	–	1,33	6,1%

Wdrożenie zaproponowanych rozwiązań przyniosło znaczącą poprawę parametrów hydrologicznych:

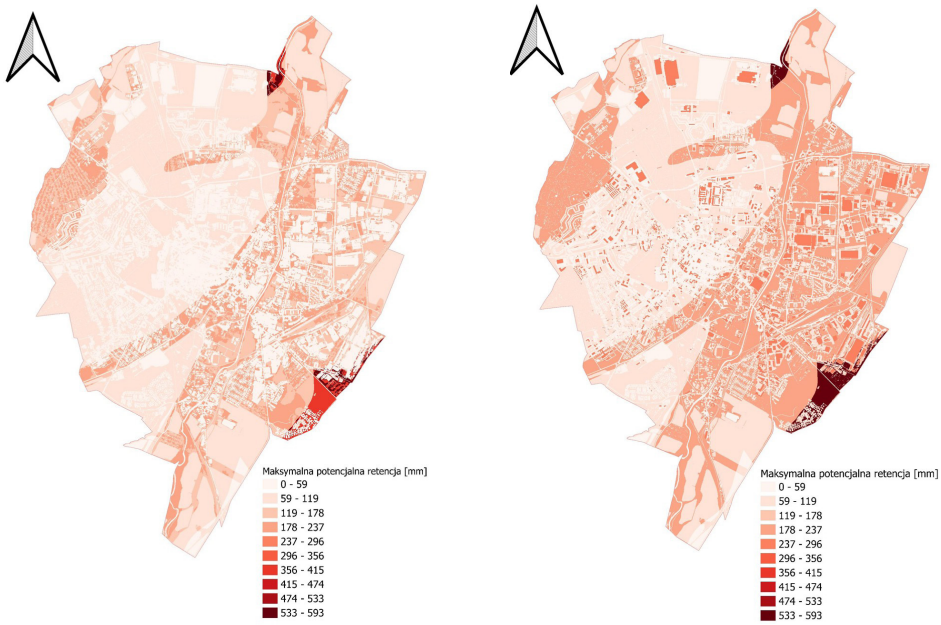
- Średnia wartość współczynnika dla miasta spadła z 83,77 do 76,43 [10].
- Średnia maksymalna potencjalna retencja wzrosła z 59,38 mm do 109,89 mm, co oznacza prawie dwukrotny wzrost (o 85%) zdolności magazynowych zlewni miejskiej [4, 10].

Największy przyrost retencji zaobserwowano we wschodniej, przemysłowej strefie miasta, gdzie duża powierzchnia płaskich dachów horyzontalnych oraz rozległych parkingów pozwoliła na szerokie zastosowanie dachów zielonych i nawierzchni ażurowych. W centrum miasta poprawa miała charakter umiarkowany z uwagi na ograniczenia przestrzenne i gęstą zabudowę mieszkaniową, co wskazuje na konieczność uzupełnienia tam działań o mikrorozwiązania punktowe (np. ogrody deszczowe, skrzynki rozsączające) [13, 14, 32]. Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono wyniki wartości współczynników CN oraz retencji przed i po zmianach.

DOI: 10.65545/GWITS.2026.10.01



Rys. 2. Zmienność współczynnika *CN* dla miasta Świdnica przed zmianami (lewy), po zmianach (prawy) (opracowanie własne)
Fig. 2. *CN* parameter variability for the Świdnica city before (left) and after (right) implementation (authors' own study)



Rys. 3. Zmienność maksymalnej potencjalnej retencji dla miasta Świdnica przed zmianami (lewy), po zmianach (prawy) (opracowanie własne)
Fig. 3. Maximum potential retention for the Świdnica city before (left) and after (right) implementation (authors' own study)

5. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzona analiza potencjału retencyjnego miasta Świdnica, oparta na integracji wysokorozdzielczych danych przestrzennych w środowisku GIS z metodą hydrologiczną SCS-CN, pozwoliła na ilościową i przestrzenną ocenę zdolności magazynowych terenu zurbanizowanego. Wyznaczona dla stanu istniejącego średnia wartość współczynnika CN = 83,77 oraz maksymalnej potencjalnej retencji S = 59,38 mm potwierdzają przewagę spływu bezpośredniego nad naturalną infiltracją, co plasuje Świdnicę w grupie obszarów o podwyższonym ryzyku występowania powodzi miejskich [10, 13, 14]. Najniższy potencjał retencyjny zidentyfikowano w centrum miasta (zwarta zabudowa) oraz we wschodniej strefie przemysłowej [13, 14].

Ilościowa ocena zaproponowanego scenariusza adaptacyjnego wykazała, że wdrożenie rozproszonej błękitno-zielonej infrastruktury (BZI) – obejmującej montaż retencyjnych zielonych dachów na obiektach przemysłowych i publicznych (1,33 km^2; powierzchni miasta), zamianę nieprzepuszczalnych parkingów na nawierzchnie ażurowe (3,04 km^2; 14,0%) oraz nowe zadrzewienia (0,25 km^2) – prowadzi do obniżenia średniego wskaźnika CN do 76,43 oraz niemal dwukrotnego wzrostu retencji maksymalnej do 109,89 mm [2, 10, 17]. Uzyskane wyniki wpisują się w cele strategiczne Miejskiego Planu Adaptacji do zmian klimatu dla Świdnicy (MPA) oraz rekomendacje raportu Instytutu Rozwoju Terytorialnego (IRT) dotyczące konieczności redukcji odpływu powierzchniowego [13, 14, 31, 32].

Na podstawie przeprowadzonych analiz sformułowano następujące wnioski końcowe:

Świdnica charakteryzuje się ograniczoną naturalną zdolnością zatrzymywania wód opadowych [13, 14]. Głównym czynnikiem generującym gwałtowny spływ powierzchniowy jest wysoki stopień uszczelnienia terenu w strefach zwartej zabudowy i rejonach przemysłowych, połączony z obecnością gleb o ograniczonej przepuszczalności (grupy hydrologiczne *B* i *C*) [10].

Wykazano znaczące rozbieżności w ocenie struktury pokrycia terenu między ogólnodostępną bazą CORINE Land Cover (udział zabudowy 64,5%) a wysokorozdzielczymi danymi teledetekcyjnymi SCALGO (30,1%) [23]. Stosowanie danych regionalnych (CLC) w analizach mikroskalowych prowadzi do nadmiernej generalizacji, dlatego rzetelna diagnostyka miejska wymaga stosowania danych o wysokiej szczegółowości przestrzennej [13, 14, 23].

Wariantowa symulacja potencjału retencyjnego udowodniła, że nawet częściowe przekształcenie istniejących powierzchni utwardzonych i dachowych (łącznie 22,3% obszaru miasta) pozwala na niemal dwukrotne zwiększenie zdolności retencyjnych zlewni miejskiej [2, 10, 17]. Największy efekt hydrologiczny uzyskano w wielkopowierzchniowych strefach przemysłowych poprzez połączenie dachów zielonych i nawierzchni przepuszczalnych [10].

Opracowane mapy przestrzennego rozkładu parametrów retencyjnych stanowią praktyczne narzędzie diagnostyczne dla samorządu terytorialnego. Pozwalają na precyzyjne wyznaczanie stref priorytetowych dla inwestycji proretencyjnych oraz wspierają wdrażanie Miejskiego Planu Adaptacji [31, 32].

Poprawa odporności miasta na ekstremalne zjawiska opadowe wymaga łączenia rozwiązań technicznych (modernizacja kanalizacji) z działaniami opartymi na przyrodzie (NBS/BZI) oraz odpowiednimi zapisami w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego [2, 4, 7].

Przedstawiona metodyka SCS-CN ma charakter wskaźnikowy i nie uwzględnia pełnej dynamiki odpływu w sieci kanalizacyjnej [10]. Dalsze prace powinny koncentrować się na powiązaniu map potencjału retencyjnego z hydrodynamicznym modelowaniem sieci kanalizacji deszczowej dla opadów miarodajnych oraz na analizie wydajności wpustów ulicznych i mikrodepresji terenowych [8, 21, 23].

6. Literatura

[1] Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy. (2025). *Klimat Polski 2024*. IMGW-PIB.

[2] Januchta-Szostak, A. (2020). Błękitno-zielona infrastruktura jako narzędzie adaptacji miast do zmian klimatu i zagospodarowania wód opadowych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej*, 2020.

[3] Fawzy, S., Osman, A. I., Doran, J., & Rooney, D. W. (2020). Strategies for mitigation of climate change: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 18(6), 2069–2094. https://doi.org/10.1007/s10311-020-01059-w

[4] Mika, A., Bełcik, M., & Wdowikowski, M. (2026). Zgoda wodnoprawna jako element systemu gospodarowania wodami / Water law consent as an element of the water management system. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna,* 100(6). https://doi.org/10.65545/GWITS.2026.06.05

[5] Almaaitah, T., Appleby, M., Rosenblat, H., Drake, J., & Joksimovic, D. (2021). The potential of Blue-Green infrastructure as a climate change adaptation strategy: A systematic literature review. *Blue-Green Systems*, 3(1), 223–248. https://doi.org/10.2166/bgs.2021.016

[6] Iwaszuk, E., Rudik, G., Duin, L., Tokarz, A., Sochacka, A., & van der Heijden, R. (2019). *Błękitno-zielona infrastruktura dla łagodzenia zmian klimatu w miastach – katalog techniczny.* Ecologic Institute & Fundacja Sendzimira.

[7] Hajto, M. (Red.), Bidłasik, M., Kuśmierz, A., Marcinkowski, M., Potapowicz, I., Rajkowska, B., Romańczak, A., & Siwiec, E. (2023). *Podręcznik adaptacji dla miast. Wytyczne do przygotowania Miejskiego Planu Adaptacji do zmian klimatu. Aktualizacja 2023.* Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy.

[8] Barszcz, M. (2015). Zastosowanie modelu SWMM do prognozy przepływów prawdopodobnych w zlewni miejskiej. Przegląd Naukowy. *Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 24(2), 166–177.

[9] Rybka, P, Jurasz, J., & Wdowikowski, M. (2023). Potencjał retencyjny miasta. Część 1: Metody. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 97(10), 18–29. https://doi.org/10.15199/17.2023.10.3

[10] U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. (2000). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical reference manual* (CPD-74B). U.S. Army Corps of Engineers.

[11] Krężałek, K. (2012). Mała retencja na terenach zurbanizowanych. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie*, 55(4), 166–169.

[12] Ministerstwo Funduszy i Polityki Regionalnej. (2019). *Krajowa Strategia Rozwoju Regionalnego 2030. Rozwój społecznie wrażliwy i terytorialnie zrównoważony*. MFiPR.

[13] Instytut Rozwoju Terytorialnego. (2025). *Analiza potencjału retencyjnego na obszarze województwa dolnośląskiego.* IRT.

[14] Instytut Rozwoju Terytorialnego. (2025). *Analiza potencjału retencyjnego na obszarze województwa dolnośląskiego. Rekomendacje. Moduł 8a*. IRT.

[15] Calliari, E., Staccione, A., & Mysiak, J. (2019). An assessment framework for climate-proof nature-based solutions. *Science of the Total Environmen*t, 656, 691–700. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.341

[16] Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C. A. J., Smith, A., & Turner, B. (2020). Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375(1794), 20190120. https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0120

[17] Zwoździak J., Szałata Ł., Zwoździak A., Kwiecińska K., & Byelyayev M. (2020). Water retention in nature-based solutions—Assessment of potential economic effects for local social groups. *Water*, 12(12), 3347. https://doi.org/10.3390/w12123347

[18] Wang, Y., Cai, G., Yang, L., Zhang, N., & Du, M. (2022). Monitoring of urban ecological environment including air quality using satellite imagery. *PLoS ONE,* 17(8), e0266759. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266759

[19] Wałęga, A., Młyński, D., Wojkowski, J., Radecki-Pawlik, A., & Lepeška, T. (2020). New empirical model using landscape hydric potential method to estimate median peak discharges in mountain ungauged catchments. *Water*, 12(4), 983. https://doi.org/10.3390/w12040983

[20] Wojkowski, J., Wałęga, A., Radecki-Pawlik, A., Młyński, D., & Lepeška, T. (2022). The influence of land cover changes on landscape hydric potential and river flows: Upper Vistula, Western Carpathians. *CATENA*, 210, 105878. https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105878

[21] Liang, Y., Liao, W., & Wang, H. (2025). A high-resolution DEM-based method for tracking urban pluvial–fluvial floods. *Remote Sensing*, 17(7), 1225. https://doi.org/10.3390/rs17071225

[22] Muhadi, N. A., Abdullah, A. F., Bejo, S. K., Mahadi, M. R., & Mijic, A. (2020). The use of LiDAR-derived DEM in flood applications: A review. R*emote Sensing*, 12(14), 2308. https://doi.org/10.3390/rs12142308

[23] Warzecha, B., & Dudek-Klimiuk, J. (2023). Stormwater runoff management in Sandomierz, as an example of medium-sized European city, using SCALGO Live. *Journal of Water and Land Development*, 59, 267–274. https://doi.org/10.24425/jwld.2023.148451

[24] Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. W *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium* (Vol. 1, pp. 309–317). NASA.

[25] Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., & Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32(1), 1–6. https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1

[26] Moula, M. M., Shonom, I. J., Islam, A., & Hossain, M. M. (2025). *An interactive Google Earth Engine application for global multi-scale vegetation analysis using NDVI thresholding*. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2509.01628

[27] Kakwani, N. S., & Kalbar, P. P. (2022). Measuring urban water circularity: Development and implementation of a Water Circularity Indicator. *Sustainable Production and Consumption*, 31, 723–735. https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.03.029

[28] Patel, N., Jänicke, B., Burghardt, R., Vulova, S., & Otto, F. (2025). Assessing progress in urban climate adaptation: A review of indicators for heat- and water-sensitive urban development. *Climate Resilience and Sustainability,* 4(1), e70009. https://doi.org/10.1002/cli2.70009

[29] Dubel, A., & Królikowska, K. (2025). *Rekomendacje dla miast, regionów i aglomeracji do przygotowania OPZ lub SIWZ dla opracowania planu adaptacji do zmiany klimatu oraz jego wdrażania i monitorowania*. MIP4Adapt. https://crs.org.pl/wp-content/uploads/2025/08/MIP4Adapt-kluczowe-elementy-planu-adaptacji_rekomendacje.pdf

[30] Dąbrowski, T. (2025). Miejskie plany adaptacji do zmian klimatu w świetle nowelizacji ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska. *Prawo i Więź*, 58(5). https://doi.org/10.36128/s7gw1e95

[31] BMT Polska Sp. z o.o. (2021). *Miejski Plan Adaptacji do zmian klimatu dla Gminy Miasto Świdnica do 2030 r. Gmina Miasto Świdnica*.

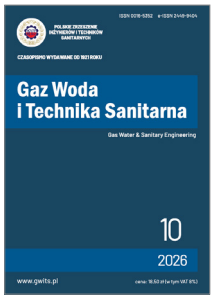
[32] Gmina Miasto Świdnica. (2025). *Raport z realizacji Miejskiego Planu Adaptacji do zmian klimatu dla Gminy Miasto Świdnica do 2030 r. za lata 2022–2024*. Urząd Miejski w Świdnicy.

[33] Urząd Miejski w Świdnicy. (2024). *Dane statystyczne i środowiskowe dla miasta Świdnica*. Urząd Miejski w Świdnicy.

DOI: 10.65545/GWITS.2026.10.02

POLSKIE ZRZESZENIE INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW SANITARNYCH

Gaz Woda i Technika Sanitarna
Gas Water & Sanitary Engineering



Artykuł dostępny / Open Access: www.gwits.pl

Poprzeczna przeszkoda w kanale deszczowym – studium przypadku ku przestrodze

Transverse obstacle in a stormwater sewer – a cautionary case study

Małgorzata Kutyłowska[1]*

[1] *Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Wrocławska*
* *Kontakt / Correspondence: malgorzata.kutylowska@pwr.edu.pl*

Streszczenie:
W pracy ukazano nieprawidłowo wykonaną inwestycję polegającą na przecisku rury gazowej w poprzek istniejącego betonowego kanału deszczowego. Nieprawidłowość została zaobserwowana podczas rutynowej kontroli wykonanej metodą inspekcji telewizyjnej. Zwrócono uwagę na zagrożenia wynikające z takiej sytuacji i wskazano na możliwości poprawy w przyszłości w celu uniknięcia podobnych zdarzeń. Zaznaczono, iż kluczową rolę pełni nadzór budowlany, który powinien na bieżąco monitorować przebieg prac budowlanych. Natomiast kamerowanie kanalizacji powinno odbywać się również w sytuacji prowadzenia w pobliżu innych prac budowlanych, aby jak najszybciej zlokalizować nieprawidłowość.
Słowa kluczowe: beton, bezpieczeństwo, odpowiedzialność, przewód gazowy

Abstract:
This paper presents a case of a poorly executed project involving the pipe-jacking of a gas line across an existing concrete stormwater sewer. The defect was detected during a routine CCTV inspection. The risks associated with this situation are highlighted, and potential improvements for future projects are suggested to prevent similar incidents. Emphasis is placed on the crucial role of construction supervision in continuously monitoring the progress of construction work. Furthermore, it is noted that sewer inspections using camera equipment should also be conducted when other construction activities are taking place nearby, in order to detect any irregularities as quickly as possible.
Keywords: concrete, safety, responsibility, gas pipe

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach zagadnienie bezpieczeństwa jest szeroko dyskutowane zarówno w codziennych rozmowach, jak i w opracowaniach naukowych mających na celu usystematyzowanie tej problematyki [1, 2]. Dodatkowo powstają opracowania dotyczące ochrony i bezpiecznego działania infrastruktury krytycznej w skali całego kraju [3], również w kontekście odporności cybernetycznej [4] i wpływu ewentualnych awarii informatycznych na bezpieczeństwo działania systemów wodociągowych [5].

W przypadku sieci kanalizacyjnych już kilka lat temu zostały opracowane i omówione metody oceny ryzyka awarii przewodów [6] z uwzględnieniem również występujących osadów [7]. Ponadto bezpieczeństwo funkcjonowania kanalizacji deszczowej i systemów odwodnienia związane jest z prawidłowym oszacowanie ilości opadów [8], co pozwoli uniknąć przeciążenia sieci i wylań na powierzchnię terenu. Niestety przeciętny użytkownik nie zdaje sobie sprawy, co tak naprawdę dzieje się pod ziemią i niekiedy sam przyczynia się do nieprawidłowego działania kanalizacji (głównie przewody ściekowe i ogólnospławne), co w formie popularnonaukowej zostało zaprezentowane na stronie internetowej Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Rzeszowie [9]. Natomiast w tym artykule aspekt bezpieczeństwa zostanie omówiony w kontekście nie tyle niefrasobliwości, ale wręcz podejścia podpadającego pod kodeks karny. Niniejsza praca jest kolejną częścią z serii dotyczącej ciekawych, a zarazem niebezpiecznych przypadków zaobserwowanych podczas inspekcji telewizyjnej przeprowadzanej w ramach planowych prac zespołu zajmującego się kamerowaniem kanalizacji w miejskim przedsiębiorstwie komunalnym. Dwa wcześniejsze opracowania [10, 11] dotyczyły nagłego zawału kanału w trakcie inspekcji oraz deformacji tworzywowego kanału po krótkim czasie eksploatacji. Natomiast celem tej pracy jest ukazanie sytuacji skrajnie groźnego sposobu rozwiązania skrzyżowania dwóch podziemnych rurociągów (kanał deszczowy i gazociąg). Poza aspektami czysto technicznymi artykuł ma na celu zwrócenie uwagi na konieczność odpowiedzialnego nadzoru i odbioru prac

Artykuł / Article: Nadesłany / Received: 7.10.2026; Zrecenzowany / Revised: 14.10.2026; Zaakceptowany / Accepted: 16.10.2026; Opublikowany / Published: 26.10.2026

Prawa autorskie: © 2026 autorów. Licencjobiorca: PZITS. Artykuł w otwartym dostępie na licencji Creative Commons CC BY 4.0. / Copyright: © 2026 by the authors. Licensee PZITS. This article is an open access under the Creative Commons CC BY 4.0 license.

wykonawczych w miejscach, w których mamy do czynienia z możliwością ewentualnej kolizji z istniejącą infrastrukturą podziemną. Ponadto celem jest wskazanie na potencjalne zagrożenia i ich skutki oddziałujące na mieszkańców i całą okolicę w pobliżu zaobserwowanej nieprawidłowości w działaniu różnego typu rurociągów, zwłaszcza jeśli jednym z przewodów jest gazociąg. Należy oczywiście podkreślić już na wstępie, że taka sytuacja, jak opisana poniżej nie powinna była się zdarzyć, gdyż jest to złamanie wszelkich standardów i moim zdaniem powinno to grozić nawet odpowiedzialnością karną. Opisywany przypadek kolizji dwóch sieci ma służyć jako przykład ogromnych błędów i delikatnie mówiąc zaniedbań oraz powinien być przestrogą dla wszystkich, począwszy od projektantów, poprzez wykonawców i eksploatatorów sieci, a skończywszy nawet na zwykłych użytkownikach infrastruktury komunalnej. Zwłaszcza, że ta ostatnia grupa nie zdaje sobie niemal wcale sprawy, że może chodzić po dosłownie tykającej bombie w postaci źle wykonanych robót inżynierskich, które na powierzchni wcale nie są uwidocznione. Miejmy nadzieję, że podobnych przypadków nie ma prawie wcale w skali całego kraju, jednakże odpowiedzialność i działanie właśnie ku przestrodze skłoniło do podjęcia tego jakże ważkiego, acz trochę niewygodnego tematu.

2. Metodyka badań i poligon badawczy

Analizowany odcinek kanalizacji deszczowej zlokalizowany jest w pewnej części miasta. Z oczywistych względów nie mogą zostać podane zbyt szczegółowe dane dotyczące lokalizacji i prac naprawczych oraz postępowań wyjaśniających, które miały miejsce po kamerowaniu i obejmowały rozwiązanie problemu ewidentnej kolizji dwóch sieci infrastruktury podziemnej (kanalizacja deszczowa i sieć gazowa). Asfaltowa ulica, pod którą znajduje się kanał deszczowy, jest wąską osiedlową drogą, na której ledwo mieszczą się dwa samochody, i której stan techniczny przedstawiony jest na rysunku 1. Pobocze jest nieutwardzone, a niecki terenowe gromadzą wodę opadową (rys. 1a), co już na pierwszy rzut oka wskazuje na nieprawidłowe odprowadzenie wód opadowych z ulicy. Ponadto analiza rys. 1b wskazuje na wielkie zaniedbania w sposobie eksploatacji wpustów deszczowych. Okoliczna zabudowa stanowi domy jednorodzinne zarówno poniemieckie, jak i nowsze z lat 70–80. XX w. To rozróżnienie na lata budowy ma znaczenie w kontekście zaobserwowanej w trakcie badań przeszkody we wnętrzu kanału deszczowego.



Rys. 1. Lokalizacja kanalizacji; a) osiedlowa uliczka, b) wpust deszczowy (źródło: Google Maps)
Fig. 1. Stormwater sewer localization; a) neighborhood street, stormwater inlet (source: Google Maps)

W tabeli 1 zestawiono podstawowe parametry techniczne badanego odcinka sieci deszczowej. Badaniu pod spadek został poddany betonowy kanał o średnicy 0,2 m. Inspekcja telewizyjna w ramach typowej inwentaryzacji sieci i obserwacje nieprawidłowości opisanych w dalszej części pracy zostały wykonane w trzeciej dekadzie kwietnia w czasie pogody bezdeszczowej. W dniu inspekcji telewizyjnej temperatura powietrza była wyjątkowo wysoka (ok. 27°C), natomiast pod wieczór nad miastem przeszedł front burzowy, po którym temperatura spadła do ok. 12°C. W całym kwietniu tamtego roku temperatury wahały się w granicach od kilku do niemal 30°C. Nie odbiegały one w swoich wartościach od temperatur z wielolecia 1991–2020. W całym miesiącu usłonecznienie wynosiło ok. 160 h, a suma miesięcznych opadów nie przekroczyła 40 mm i nie wykazywała anomalii w stosunku do okresu 1971–2000 [12]. Badaniu poddany był odcinek o całkowitej długości 39,8 m. Jednak pomiar został zakończony już w odległości 3,8 m od studzienki początkowej ze względu na brak możliwości przejścia kamery, co dokładnie zostanie omówione poniżej.

Tabela 1. Dane badanego odcinka kanału deszczowego źródło: przedsiębiorstwo komunalne
Table 1. Data of inspected stormwater sewer section source: municipal company

Długość pomiaru	Nawierzchnia, Umiejscowienie	Typ, Wymiar, [m]	Materiał	Kierunek pomiaru	Studzienka pocz. D = 1 m, stopnie złazowe	Rodzaj badania
3,82	asfalt, jezdnia	kołowy; 0,2	beton	pod spadek	stan dostateczny, stopnie skorodowane	inwentaryzacja

Kanalizacja deszczowa została ułożona w tym miejscu kilkadziesiąt lat temu, co zbiegło się z rozwojem zabudowy mieszkalnej przy tej ulicy. Warto w tym miejscu zwrócić uwagę na fakt, iż według obecnie obowiązujących wytycznych minimalna średnica kanału deszczowego wynosi 0,4 m (w szczególnych przypadkach 0,3 m) [13], co wynika ze zmian w strukturze i intensywności opadów w ostatnich dziesięcioleciach. Na rysunku 2 przedstawiono widok studzienki od dołu. Jest ona w górnej części murowana, co również potwierdza czas wykonania sieci kanalizacyjnej, gdyż obecnie zgodnie z wytycznymi [14] zaleca się całkowicie prefabrykowane betonowe studnie lub, w uzasadnionych sytuacjach, wykonane z GRP lub tworzyw sztucznych.



Rys. 2. Studzienka (źródło: przedsiębiorstwo komunalne)
Fig. 2. Manhole (source: municipal company)

DOI: 10.65545/GWITS.2026.10.02

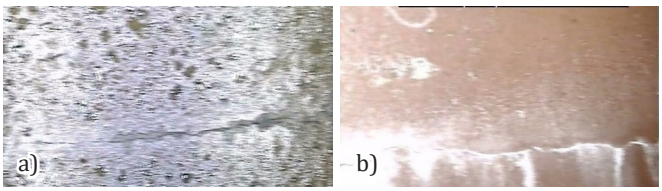
3. Wyniki i dyskusja

W tabeli 2 zestawiono pozostałe zaobserwowane nieprawidłowości, zanim pomiar został ukończony. Na rysunku 3 ukazano pęknięcia struktury kanału przed przeszkodą w postaci przecisku innego rurociągu.

Tabela 2. Wyniki inspekcji odcinka kanału deszczowego źródło: przedsiębiorstwo komunalne

Table 2. Inspection results' of stormwater sewer section source: municipal company

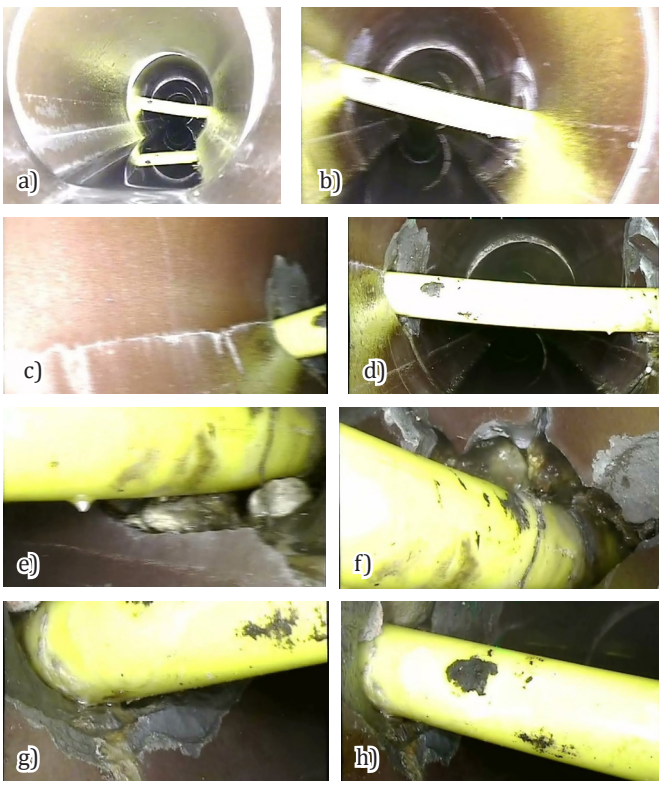
Lp.	Odległość, [m]	Nieprawidłowość	Kierunek
1.	0,5	pęknięcie podłużne, dł. 20 cm, <3 mm	sklepienie
2.	3,45	pęknięcie podłużne, <3 mm	lewo
3.	3,82	ubytek skorupy, wystająca przeszkoda do 10%	lewo, prawo



Rys. 3. Pęknięcie podłużne; a) nr 1, b) nr 2 (źródło: przedsiębiorstwo komunalne)

Fig. 3. Longitudinal crack; a) No. 1, b) No. 2 (source: municipal company)

Wystająca przeszkoda w punkcie 3 w tabeli 2 to jest przecisk rury gazowej w poprzek kanału deszczowego, co zostało zobrazowane z kilku perspektyw na rysunku 4.



Rys. 4. Przecisk rury gazowej w poprzek kanału deszczowego (źródło: przedsiębiorstwo komunalne)

Fig. 4. Gas pipe jacking across stormwater sewer (source: municipal company)

Pęknięcia podłużne (rys. 3) po latach eksploatacji mogą propagować i tym samym spowodować całkowitą destrukcję struktury tego odcinka kanalizacji, a w konsekwencji nawet zawalenie się fragmentu przewodu. Niebezpieczne jest to zwłaszcza w niedalekiej odległości od przecisku (rys. 3b i 4c), gdyż wraz ze zniszczeniem kanału deszczowego katastrofa budowlana grozi również rurociągowi gazowemu. A jakie mogą być dalsze skutki takiej sytuacji? To jest pytanie retoryczne, na które i tak każdy zna odpowiedź. Na rys. 4a zauważalne jest odbicie światła, stąd żółta rura gazowa widoczna jest w lustrze ścieków. Natomiast na rys. 4b na ścianach kanału widoczne są odbicia światła generowanego przez kamerę inspekcyjną, której głowica była odchylona (stąd wrażenie ułożenia rurociągu w poprzek z pewnym spadkiem).

Analizując kadry zbliżenia (rys. 4d–h), można zastanawiać się, jak w ogóle mogło dojść do takiej sytuacji, jak komuś mogło w ogóle przyjść do głowy wykonanie takiego przecisku. Z uwagi na wymiar kanału deszczowego i wielkość przeszkody zlokalizowanej w poprzek kanalizacji można wnioskować, że rura gazowa stanowi przyłącze do jednego z okolicznych domów, a nie fragment sieci przesyłowej. Głębokość ułożenia i przykrycie przedmiotowego odcinka kanału deszczowego wynosiły odpowiednio 1,75 m i 1,55 m. Zgodnie z najnowszymi wytycznymi do projektowania Polskiej Spółki Gazownictwa [15] minimalne przykrycie przyłącza gazowego wynosi 0,6 m. Natomiast w miejscach skrzyżowań z inną infrastrukturą podziemną odległość między powierzchnią zewnętrznej ścianki gazociągu a skrajnym elementem uzbrojenia terenu nie może być mniejsza niż 0,2 m [15]. Wytyczne te w treści powołują się na Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 2013 r. Analizowany przypadek przecisku został zauważony podczas inspekcji telewizyjnej wykonanej później niż w 2013 roku. Jednak samo wykonanie przyłącza gazowego, a wcześniej budowa kanalizacji miały miejsce dużo wcześniej niż kilkanaście lat temu. Jednak na pewno nigdy nie było możliwe (nawet zagłębiając bardziej przewód gazowy z uwagi na lokalną głębokość przemarzania gruntu), aby roboty podziemne wykonane zostały w taki sposób, jak pokazano na rys. 4. Ze względu na delikatność omawianej materii postawione zostaną jedynie hipotezy badawcze związane z tak niebezpieczną kolizją dwóch rodzajów sieci podziemnych.

Na rysunkach 4e i 4f dokładnie widać pokruszone kawałki betonu i kamienie, które naciskają na konstrukcje rury gazowej. Po wielu latach eksploatacji taki nacisk może spowodować rozszczelnienie przewodu gazowego (powstanie dziura w strukturze rury), co w konsekwencji stanowi zagrożenie wybuchem. Ponadto na zdjęciach (rys. 4d i 4g) zauważalna jest zmiana w strukturze betonu (jaśniejsze fragmenty) w miejscu „połączenia" z przewodem gazowym, co lokalnie powoduje osłabienie konstrukcji kanału i również stanowi zagrożenie, że po pewnym czasie eksploatacji to słabsze ogniwo ulegnie pokruszeniu.

Można zatem zastanawiać się, czy jest to przyłącze do domu poniemieckiego, który został podłączony do sieci w chwili budowy na tym osiedlu sieci gazowej, która powstawała niemal równolegle do zabudowy mieszkalnej sprzed kilkudziesięciu lat. Jeśli tak, to dlaczego inwestor, projektant i wykonawca nie uwzględnili istniejącej wcześniej lub ułożonej w podobnym czasie kanalizacji deszczowej. Czy plany uzbrojenia podziemnego nie były znane? Czy może sieć kanalizacyjna nie została prawidłowo naniesiona na mapy? Czy raczej po prostu podczas wykonywania przyłącza

nikt nie zwracał żadnej uwagi na inne elementy infrastruktury podziemnej? Którakolwiek odpowiedź prowadzi nas do konkluzji, że inwestycja została wykonana niezgodnie ze sztuką inżynierską i stanowiła zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi oraz mogła spowodować szkody materialne w wyniku ewentualnego wybuchu gazu. Zatem takie „rozwiązanie" konstrukcyjne jest nie do zaakceptowania.

Już ponad 30 lat temu wskazywano, że m. in. węglowodory ropopochodne są obecne wzdłuż ciągów komunikacyjnych [16]. Również nowsze badania [17, 18] zawierają konkluzje dotyczące obecności tego typu związków w wodach opadowych i roztopowych trafiających następnie do kanalizacji deszczowej. Węglowodory ropopochodne w kontakcie z gazem ziemnym (gdyby doszło do rozszczelnienia przedmiotowej przeszkody w kanale deszczowym) i dodatkowym źródłem zapłonu, mogą spowodować wybuch. Jak wskazano w opracowaniu [19] zdarzają się wycieki gazu z sieci dystrybucji. Zatem również i w przypadku przyłączy możemy mieć do czynienia z nieszczelnościami. W przypadku opisywanym w niniejszym artykule mówimy o wodach opadowych dostających się do kanalizacji wzdłuż małej uliczki osiedlowej, a nie przy trasie szybkiego ruchu, więc ryzyko zaistnienia sprzyjającej wybuchowi sytuacji jest niewielkie (chociażby ze względu na najpewniej śladowe ilości związków ropopochodnych). Jednak fakt małego natężenia ruchu i nieznacznych (w porównaniu do np. dróg w centrum miasta lub arterii przelotowych) ilości substancji ropopochodnych, nie zwalniają z konieczności wskazania potencjalnie możliwych skutków tak niefrasobliwie wykonanej instalacji. Niebezpieczne związki chemiczne w relatywnie małych ilościach, ale jednak są obecne w składzie ścieków deszczowych, gdyż mówimy tu o ściekach we wnętrzu kanału, a nie o wodach opadowych gromadzonych na potrzeby ponownego ich wykorzystania [20].

Kolejnym punktem do analizy może być teza, że jest to przyłącze do domu wybudowanego w późniejszych latach. W takim przypadku nadal pozostają otwarte pytania postawione powyżej. Głównie zastanawiająca i alarmująca powinna być okoliczność braku naniesionej sieci deszczowej na mapę do celów projektowych. W żadnym wypadku niemożliwe jest, aby wykonywać podłączenie sieci gazowej bez informacji o istniejących już instalacjach podziemnych. I nie jest tu wcale wytłumaczeniem, że jest to mała, wąska uliczka osiedlowa o bardzo niewielkim natężeniu ruchu, więc obciążenia dynamiczne powstałe w wyniku poruszania się pojazdów dojeżdżających do posesji nie mają wpływu na podziemne konstrukcje i nie spowodują katastrofy budowlanej. Każde obciążenie wynikające z ruchu ulicznego oddziałuje na infrastrukturę podziemną, w tym również na sieci gazowe [21, 22]. Należy mieć też na uwadze, że w obecnych czasach taką niewielką ulicą poruszają się nie tylko samochody osobowe, ale również i śmieciarki oraz pojazdy dostawcze, np. auta kurierskie. Zatem okresowo nacisk na powierzchnię jest większy niż wynikałoby to z zabudowy mieszkalnej. Dodatkowo oba przewody ułożone są relatywnie płytko (nie głębiej niż 1,8 m), a nie mamy pewności, czy na całej długości grunt pomiędzy rurociągami a powierzchnią spełnia wymogi przeniesienia obciążeń od taboru samochodowego.

Analiza zdjęć z rys. 4 skłania do postawienia tezy, iż rura gazowa została wykonana metodą bezwykopową. W przeciwnym przypadku nikt przy zdrowych zmysłach nie wykonałby w taki sposób tej instalacji. Dziwi też, że podczas układania rury gazowej nikt nie zwrócił uwagi na np. większy opór „gruntu" w dwóch miejscach, czyli podczas przebijania ściany kanału deszczowego, który przy średnicy 0,2 m powinien mieć kilkucentymetrową grubość betonu. Literatura przedmiotu dokładnie opisuje technologie bezwykopowej budowy sieci podziemnych [23, 24] zarówno w formie przewiertów strerowanych, jak i przecisków hydraulicznych. W żadnym przypadku (co jest oczywiste) nie ma mowy o wykonaniu przewiertu lub przecisku w poprzek istniejącej przeszkody, naruszając jej konstrukcję. Dodatkowo we wnikliwej pracy [23] autorka dokładnie omówiła przeciski pneumatyczne, mikrotunelowanie oraz sposoby sterowania i kontroli podczas wykonywania inwestycji metodą bezwykopową. Ponadto wskazano [23] na główne zasady projektowania przewiertów i przecisków. Natomiast w opracowaniu [24] autor wskazał na niestandardowe rozwiązania, nowe techniki i rozwój metod bezwykopowego układania rurociągów. Chyba warto byłoby, aby projektanci i wykonawcy sięgali po opisaną metodologię i kierowali się zasadami nie tylko prawidłowego zaprojektowania i wykonania inwestycji, ale również zasadami bezpieczeństwa. Kluczową rolę pełni także nadzór budowlany, który w przypadku opisywanej tutaj sytuacji niewątpliwie zawiódł. Istotny jest nadzór nie tylko przy samym odbiorze inwestycji, ale przede wszystkim na poszczególnych etapach budowy. Wydaje się, że gdyby podczas układania przewodu gazowego nadzór budowlany na bieżąco sprawdzał postęp i prawidłowość wykonania kolejnych etapów, to uniknęłoby się tak wręcz tragicznego sposobu realizacji tej instalacji. Zatem odpowiedzialność spoczywa na wielu podmiotach zaangażowanych w proces inwestycyjny. Pewną rolę odgrywa również inwestor, który powinien mieć świadomość, czy projektant, wykonawca i nadzór budowlany są podmiotami wiarygodnymi na rynku usług budowlanych. Dodatkowo przykład opisany powyżej powinien uczulić wszystkich na konieczność posługiwania się aktualnymi mapami, na których nie powinno być braków w infrastrukturze podziemnej.

Kolejnym istotnym elementem analizy „niefrasobliwości" pokazanej na rys. 4 jest zagadnienie ewentualnej pracy pod ciśnieniem kanału deszczowego. Jak wiadomo z codziennych doświadczeń, jak i z przykładowych doniesień literaturowych [25, 26], coraz częściej mamy do czynienia z wylaniami na powierzchnię terenu i pracą sieci kanalizacji deszczowej pod ciśnieniem ze względu na krótkotrwałe, acz intensywne deszcze, których chwilowe natężenie nie było brane pod uwagę podczas projektowania jeszcze kilkadziesiąt lat temu. W takiej sytuacji siła naporu ścieków deszczowych zgromadzonych we wnętrzu kanału może doprowadzić do zniszczenia konstrukcji ułożonej w poprzek (jak na rys. 4). A taki przypadek prowadziłby wprost do katastrofy budowlanej skutkującej nie tylko stratami w infrastrukturze, ale przede wszystkim śmiercią lub utratą zdrowia okolicznych mieszkańców. Jak ogromną, niszczycielską siłą jest napierająca woda mogliśmy jako społeczeństwo już kilkakrotnie przekonać się podczas powodzi z ostatnich 30 lat. Ponadto może się okazać, że kanał sam w sobie byłby w stanie przenieść znaczną ilość wód opadów, ale uzbrojenie i inne instalacje stanowią przeszkodę. Na rys. 1b ukazano stan zaniedbania wpustu deszczowego w okolicy omawianego kanału. Z jednej strony zarośnięty wpust uniemożliwia przedostanie się wody opadowej do wnętrza kanału, co powoduje zaleganie deszczu na powierzchni terenu (rys. 1a) i lokalne podtopienia. Z drugiej strony trawa oraz inne stałe elementy mogą zostać wymyte (nawet wyrwane) pod wpływem siły nawalnego opadu i w ten sposób dostać się do kanalizacji, co skutecznie zmniejszy (przynajmniej w pewnej części) przepustowość przewodu, a tym samym zwiększy ryzyko pracy

DOI: 10.65545/GWITS.2026.10.02

ciśnieniowej tego odcinka kanału grawitacyjnego. Dochodzimy tutaj do aspektu odpowiedzialności za stan techniczny i sposób eksploatacji infrastruktury związanej z odprowadzaniem wód opadowych. W ciekawym zbiorczym opracowaniu [27] opisano społeczną odpowiedzialność w sektorze przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych. Warto byłoby na poziomie poszczególnych jednostek samorządu terytorialnego wskazać podmioty odpowiedzialne i wdrożyć odpowiednie procedury (jeśli jeszcze gdzieś takowe nie istnieją) właściwej eksploatacji nie tylko z uwzględnieniem wnętrza kanałów, ale również dodatkowego uzbrojenia. A w kolejnym etapie zasadne wydaje się przedstawienie konsekwencji i ewentualnych kar w przypadku braku prawidłowego nadzoru nad powierzoną infrastrukturą. Pomoże to w perspektywie kolejnych lat minimalizować ryzyko wystąpienia takich przypadków, jak pokazane na rys. 1. W ten sposób uzupełniłoby się wspomnianą społeczną odpowiedzialność o aspekt typowo techniczny.

4. Podsumowanie

Podsumowując opisany przypadek ku przestrodze należy wskazać na kilka najistotniejszych zagadnień:

- Mapy do celów projektowych powinny zawierać informacje o wszystkich instalacjach podziemnych i być na bieżąco uaktualniane po zrealizowaniu kolejnej inwestycji budowlanej lub modernizacji istniejącej sieci.
- Podczas projektowania i wykonawstwa należy posługiwać się aktualnymi mapami.
- Nadzór budowlany powinien w sposób odpowiedzialny wykonywać swoje obowiązki i na każdym etapie realizacji inwestycji dokonywać przeglądów poprawności działania.
- Należy dbać o drożność nie tylko kanałów, ale również wpustów deszczowych, co spowoduje mniejsze ryzyko zapchań kanałów deszczowych wynikających z przedostania się do wnętrza fragmentów liści, gałęzi, itp.
- Po stwierdzeniu (np. podczas inspekcji telewizyjnej) ogromnej nieprawidłowości należy zawiadomić odpowiednie służby, aby nie było przyzwolenia na tolerowanie wykonywania prac budowlanych zagrażających zdrowiu i życiu ludzi.
- Warto rozważyć konieczność inspekcji telewizyjnej na tych odcinkach kanalizacji, w okolicach których niedawno przeprowadzane były inne prace budowlane. Pozwoli to na zauważenie nieprawidłowości szybciej niż po kilku, kilkunastu lub nawet kilkudziesięciu latach od przeprowadzenia tych inwestycji na innych obiektach liniowych.

5. Literatura

[1] Szczepański, A. (2023). Pojęcie bezpieczeństwa i jego typologia. *Zeszyty Naukowe Collegium Witelona,* 48(3), 27–44. https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.4380

[2] Motylińska, P., & Pieczka-Węgorkiewicz, A. (2025). Poczucie bezpieczeństwa informacyjnego – obszar znaczeniowy pojęcia w perspektywie studentów. *Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis. Studia de Securitate*, 15(1), 25–41. https://doi.org/10.24917/20820917.15.1.21.2

[3] Jakubiak, E. (2018). Ochrona infrastruktury krytycznej w Polsce. *Zeszyty Naukowe SGSP,* 66(1-2), 165–175.

[4] Czuryk, M. (2023). Cybersecurity and protection of critical infrastructure. *Studia Iuridica Lublinensia*, 32(5), 43–52. https://doi.org/10.17951/sil.2023.32.5.43-52

[5] Tchórzewska-Cieślak, B., Rak, J. R., & Rożnowski, M. (2024). Bezpieczeństwo systemów wodociągowych w aspekcie zagrożeń w cyberprzestrzeni. *INSTAL.* https://doi.org/10.36119/15.2024.5.5

[6] Kuliczkowska, E., & Wijas, K. (2020). Sposoby wyznaczania ryzyka awarii przewodów kanalizacyjnych. *INSTAL*, (4), 50–55. https://doi.org/10.36119/15.2020.4.8

[7] Kuliczkowska, E. (2023). Ryzyko podtopień sieci kanalizacyjnych spowodowanych występowaniem osadów w kanałach. *INSTAL*, (6), 42–46. https://doi.org/10.36119/15.2023.6.7

[8] Licznar, P. (2018). *Analiza opadów atmosferycznych na potrzeby projektowania systemów odwodnienia* (Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, nr 137). Komitet Inżynierii Środowiska PAN.

[9] Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Sp. z o.o. w Rzeszowie. (2023). *Kanalizacja to bezpieczeństwo sanitarne – należy jej się właściwe traktowanie.* https://mpwik.rzeszow.pl/kanalizacja-to-bezpieczenstwo-sanitarne-nalezy-jej-sie-wlasciwe-traktowanie (dostęp 7.10.2026)

[10] Kutyłowska, M. & Cieżak, W. (2025). Nagły zawał kanału deszczowego – wpływ na ludzkie życie i środowisko. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 99(4), 5–9. https://doi.org/10.15199/17.2025.4.2

[11] Kutyłowska, M. (2025). Deformacja przekroju nowego kanału deszczowego wykonanego z tworzywa sztucznego. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 99(7-8), 18–22. https://doi.org/10.15199/17.2025.7-8.3

[12] Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy. *ogólnie dostępne historyczne dane meteorologiczne*. https://klimat.imgw.pl/pl/biuletyn-monitoring (Dostep 25.09.2026)

[13] Kotowski, A. (2015). *Podstawy bezpiecznego wymiarowania odwodnień terenów. Tom I: Sieci kanalizacyjne* (wyd. 2). Wydawnictwo Seidel-Przywecki.

[14] Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji S.A. we Wrocławiu. (2022). *Miejskie sieci i przyłącza oraz obiekty i urządzenia wodociągowe i kanalizacyjne. Wytyczne projektowania i budowy.*

[15] Polska Spółka Gazownictwa Sp. z o.o. (2026). *Zasady projektowania gazociągów stalowych niskiego i średniego ciśnienia oraz gazociągów polietylenowych* (wyd. 4, ZMS/22/2026/1).

[16] Latimer, J., Hoffman, E., Hoffman, G., Fasching, J., & Quinn, J. (1990). Sources of petroleum hydrocarbons in urban runoff. *Water Air & Soil Pollution*, 52(1–2). https://doi.org/10.1007/bf00283111

[17] Libera, E., Tarnowski, K., Bering, S., & Janus, M. (2026). Zanieczyszczenia wód opadowych lub roztopowych z nawierzchni komunikacyjnych węglowodorami ropopochodnymi oraz zawiesiną ogólną. *INSTAL*, (3), 47–50. https://doi.org/10.17512/INSTAL.2026.03.04

[18] Zhang, Q., Hong, N., & Liu, A. (2025). Understanding petroleum hydrocarbon pollution characteristics on urban roads. *Environmental Pollution*, 391, 127606. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.127606

[19] Osiadacz, A. J. (2026). Wykrywanie i kontrolowanie wycieków gazu. *Gaz Woda i Technika Sanitarna*, 100(5), 25–31. https://doi.org/10.65545/GWITS.2026.05.04

[20] Umiejewska, K., Malarski, M., Miszta-Kruk, K., Hładki, P., & Żubrowska-Sudoł, M. (2026). Wody opadowe i ścieki szare – potencjał ponownego wykorzystania w budynkach. *Gaz Woda i Technika Sanitarna*, 100(2), 13–16. https://doi.org/10.65545/GWITS.2026.02.03

[21] Robert, D., Chan, D., Rajeev, P., & Kodikara, J. (2022). Effects of operational loads on buried water pipes using field test. *Tunnelling and Underground Space Technology,* 124, 104463. https://doi.org/10.1016/j.tust.2022.104463

[22] Zhang, J., Gu, X., Zhou, Y., Wang, Y., Zhang, H., &Zhang, Y. (2023). Mechanical properties of buried gas pipeline under traffic loads. *Processes*, 11, 3087. https://doi.org/10.3390/pr11113087

[23] Zwierzchowska, A. (2009). *Technologie bezwykopowej budowy sieci gazowych, wodociągowych i kanalizacyjnych*. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej.

[24] Przybyła, B. (2025). Przecisk hydrauliczny – klasyczna technika bezwykopowa w zmieniających się odsłonach. *Materiały Budowlane*, 633(5), 134–137.

[25] Pietras, B., & Pyrc, R. (2025). Extreme short-duration rainfall and urban flood hazard: case studies of convective events in Warsaw and Zamość, Poland. *Water,* 17, 2671. https://doi.org/10.3390/w17182671

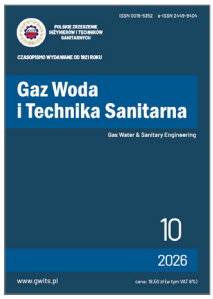
[26] Kilsdonk, R., Bomers, A., & Wijnberg, K. (2022). Predicting urban flooding due to extreme precipitation using a long short-term memory neural network. *Hydrology,* 9, 105. https://doi.org/10.3390/hydrology9060105

[27] Fenert, J., Żubrowska-Sudoł, M., & Iwińska, K. (2026). Społeczna odpowiedzialność w kontekście przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych. *Gaz Woda i Technika Sanitarna,* 100(7), 38–45. https://doi.org/10.65545/GWITS.2026.07.05

DOI: 10.65545/GWITS.2026.10.03

POLSKIE ZRZESZENIE INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW SANITARNYCH

Gaz Woda i Technika Sanitarna
Gas Water & Sanitary Engineering



Artykuł dostępny / Open Access: www.gwits.pl

Analiza doboru sprężarek odśrodkowych w tłoczniach gazu w zmiennych warunkach użytkowania

Analysis of centrifugal compressor selection in gas compressor stations under variable operating conditions

Adrianna Kornacka[1], *Maciej Witek*[1]*

[1] *Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska*
* *Kontakt / Correspondence: maciej.witek@pw.edu.pl*

Streszczenie:
W artykule przedstawiono analizę doboru sprężarek wirowych w tłoczniach gazu ziemnego z uwzględnieniem zmiennych warunków eksploatacyjnych. Obliczenia przeprowadzono metodą deterministyczną dla ośmiu punktów pracy odpowiadających warunkom letnim i zimowym. Wyznaczono współczynnik ściśliwości i gęstość gazu, parametry termodynamiczne procesu sprężania oraz zapotrzebowanie na moc mechaniczną sprężarki z wykorzystaniem modeli izentropowego i politropowego. Przy stałym strumieniu objętości gazu przeanalizowano wpływ temperatury gazu na ssaniu, stopnia sprężania oraz sprawności izentropowej na wymaganą moc sprężarki. Dodatkowo przeanalizowano wpływ 20% mol domieszki wodoru do gazu ziemnego na obliczeniową moc izentropową sprężarki wirowe.
Słowa kluczowe: tłocznia gazu, sprężarka wirowa, model politropowy, model izentropowy

Abstract:
This article presents an analysis of the selection of centrifugal compressors, used in natural gas compressor stations, taking into account variable operating conditions. The calculations were performed using a deterministic method for eight operating points corresponding to summer and winter conditions. A gas compressibility factor and density, thermodynamic parameters of the compression process, and the compressor mechanical power demand were determined using isentropic and polytropic models, and the obtained results were compared. At a constant volumetric gas flow rate, the effects of suction gas temperature, compression ratio, and isentropic efficiency on the required compressor power were analysed. In addition, the effect of a blended natural gas with 20% mol hydrogen on calculated isentropic power of centrifugal compressor was analysed.
Keywords: gas compressor station, centrifugal compressor, polytropic model, isentropic model

1. Wstęp

Stacje kompresorowe stanowią istotny element systemów przesyłowych gazu ziemnego, umożliwiający utrzymanie wymaganych parametrów transportu, w szczególności ciśnień i przepływu. Jednym z kluczowych zagadnień projektowych i eksploatacyjnych jest właściwy dobór agregatów sprężarkowych do zmiennych warunków funkcjonowania sieci. Parametry tłoczni mogą zmieniać się w zależności od ciśnienia ssania i tłoczenia, strumienia sprężanego gazu, jego składu oraz temperatury gazu i powietrza atmosferycznego [6]. W tłoczniach gazu stosowane są agregaty sprężarkowe tłokowe oraz wirowe. W nowo projektowanych tłoczniach w systemach przesyłowych stosowane są przede wszystkim sprężarki wirowe odśrodkowe, których dobór wymaga uwzględnienia zarówno zapotrzebowania na moc, jak i dopuszczalnego zakresu pracy wynikającego z charakterystyki agregatu sprężarkowego. Praca kompresora wirowego w pobliżu granicy pompażu lub w obszarze obniżonej sprawności może prowadzić do niestabilności działania maszyny, wzrostu obciążeń mechanicznych oraz pogorszenia efektywności agregatu. Z tego względu dobór sprężarki powinien uwzględniać zmienność parametrów użytkowania oraz położenie przewidywanych punktów pracy w polu charakterystyki. Celem przeprowadzonej analizy była ocena doboru sprężarek wirowych do warunków użytkowania tłoczni gazu oraz określenie wpływu wybranych parametrów procesu na zapotrzebowanie na moc. Obliczenia wykonano dla punktów odpowiadających warunkom letnim i zimowym. Uzyskane wartości porównano z wynikami programu

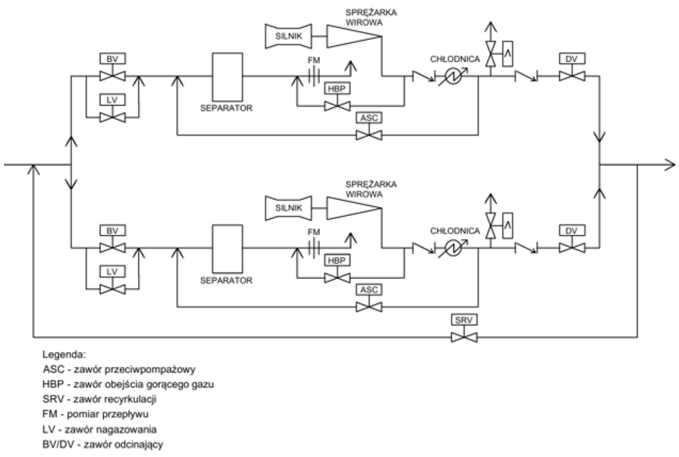
Artykuł / Article: Nadesłany / Received: 22.09.2026; Zrecenzowany / Revised: 29.09.2026; Zaakceptowany / Accepted: 1.10.2026; Opublikowany / Published: 26.10.2026

Prawa autorskie: © 2026 autorów. Licencjobiorca: PZITS. Artykuł w otwartym dostępie na licencji Creative Commons CC BY 4.0. / Copyright: © 2026 by the authors. Licensee PZITS. This article is an open access under the Creative Commons CC BY 4.0 license.

doboru producenta sprężarek, a następnie przeprowadzono analizę z wykorzystaniem modeli izentropowego i politropowego. Oceniono również wpływ temperatury gazu na ssaniu, stopnia sprężania i sprawności izentropowej oraz przeanalizowano przypadek podnoszenia ciśnienia mieszaniny gazu ziemnego zawierającej 20% mol wodoru. Niniejszy artykuł powstał na podstawie pracy dyplomowej zrealizowanej w 2026 r. na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej.

2. Elementy tłoczni gazu

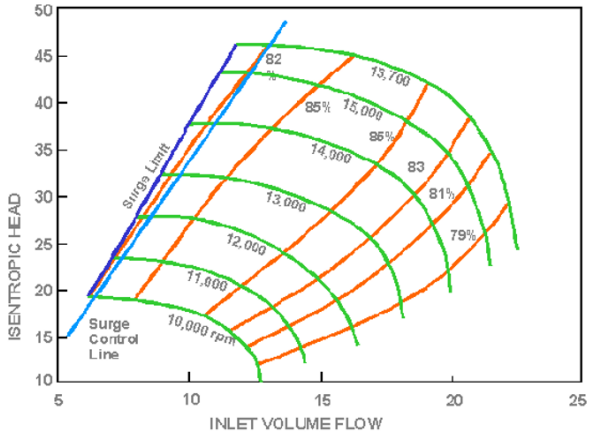
Tłocznia gazu stanowi zespół instalacji technologicznych, których zadaniem jest podwyższenie ciśnienia gazu do poziomu umożliwiającego jego transport w systemie przesyłowym. Do podstawowych elementów tłoczni należą gazociągi technologiczne, agregaty sprężarkowe wraz z napędami, układy recyrkulacyjne, instalacje odcinające i upustowe, systemy sterowania i zabezpieczeń oraz wyposażenie pomocnicze. Istotnym elementem stacji kompresorów są również układy oczyszczania i chłodzenia gazu [8]. Schemat ideowy tłoczni gazu z dwoma agregatami sprężarkowymi odśrodkowymi przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat ideowy rozpatrywanej tłoczni gazu (opracowanie własne na podstawie [1])
Fig. 1. Schematic diagram of a considered gas compressor station (authors' own study based on [1])

W przedstawionym układzie gaz przed doprowadzeniem do sprężarek przepływa przez separatory, natomiast po procesie sprężania kierowany jest do chłodnic, które umożliwiają obniżenie temperatury gazu do poziomu zapewniającego odpowiednie warunki dalszego transportu i pracy elementów gazociągów po stronie wyjściowej. W tłoczniach gazu ziemnego najczęściej stosowane są chłodnice powietrzne, w których ciepło odbierane jest przez otaczającą atmosferę [2]. Istotnym elementem wyposażenia sprężarek wirowych jest obwód recyrkulacyjny umożliwiający zawrócenie części sprężonego gazu z tłoczenia kompresora na stronę ssawną. Układ ten stabilizuje pracę agregatu sprężarkowego oraz ogranicza ryzyko wystąpienia pompażu. W analizowanym schemacie każdy zespół sprężarkowy wyposażony jest w zawór przeciwpompażowy, umożliwiający skierowanie części gazu z wylotu kompresora przez chłodnicę końcową z powrotem na stronę ssawną [1].

Sprężarki wirowe mogą być napędzane silnikami turbospalinowymi lub wysokoobrotowymi silnikami elektrycznymi. Wymagania ogólne dotyczące sprężarek odśrodkowych stosowanych w przemyśle gazu ziemnego określono m.in. w normie ISO 10439-1 [3]. Zasada ich działania opiera się na przekazywaniu energii mechanicznej przepływającemu gazowi za pośrednictwem wirnika, czego efektem jest wzrost ciśnienia przetłaczanego czynnika. Warunki pracy sprężarki wirowej przedstawiane są za pomocą charakterystyk danej maszyny, określającej zależności pomiędzy przetłaczanym strumieniem, przyrostem energii gazu, prędkością obrotową oraz sprawnością. Zbiór charakterystyk umożliwia określenie dopuszczalnego pola pracy sprężarki oraz ocenę położenia poszczególnych punktów eksploatacyjnych [5].



Rys. 2. Przykładowe pole pracy sprężarki wirowej [5]
Fig. 2. Example operating range of the centrifugal compressor [5]

Jednym z podstawowych ograniczeń operacyjnych sprężarek wirowych jest zjawisko pompażu występujące przy zbyt małym strumieniu przetłaczanego gazu dla danej prędkości obrotowej. Może ono powodować pulsacje ciśnienia, przepływ zwrotny oraz drgania prowadzące do uszkodzeń mechanicznych. Na rys. 2 zaznaczono linię sterowania przeciwpompażowego, ograniczającą dopuszczalny obszar pracy sprężarki od strony małych strumieni przepływu. Z tego względu charakterystyka sprężarki określa dopuszczalne pole pracy ograniczone między innymi linią pompażu oraz minimalną i maksymalną prędkością obrotową [5]. Dobór sprężarki dla określonych warunków użytkowania wymaga wyznaczenia parametrów procesu sprężania i zapotrzebowania na moc, a następnie naniesienia punktów pracy na charakterystykę maszyny. Za poprawnie dobraną można uznać sprężarkę, dla której analizowane punkty znajdują się w dopuszczalnym obszarze pracy, z zachowaniem odpowiedniego marginesu względem granicy pompażu oraz ograniczeń prędkości obrotowej i sprawności.

3. Dane wejściowe i metodyka obliczeń sprężarek wirowych

Dobór agregatów sprężarkowych może być prowadzony z wykorzystaniem modelowania probabilistycznego, uwzględniającego zmienność statystyczną parametrów pracy tłoczni lub deterministycznego, opartego na analizie konkretnych punktów pracy [4]. W niniejszym artykule zastosowano podejście

deterministyczne, umożliwiające ocenę położenia wybranych punktów eksploatacyjnych na charakterystykach sprężarek oraz obliczenie odpowiadającego im zapotrzebowania na moc.

Analizą objęto osiem punktów pracy sprężarki, obejmujących cztery warianty odpowiadające warunkom letnim (S1-S4) oraz cztery odpowiadające warunkom zimowym (W1-W4). Dane wejściowe dla punktów referencyjnych S1 i W1 przyjęto na podstawie raportu obliczeniowego programu producenta sprężarek [9]. Dla pozostałych punktów pracy przyjęto zmienne wartości ciśnienia gazu na ssaniu i tłoczeniu oraz strumienia objętości, zgodnie z założeniami przedstawionymi w pracy dyplomowej. Dla warunków letnich przyjęto temperaturę gazu na ssaniu równą 25°C, natomiast dla warunków zimowych 0°C. Rozpatrywane punkty różniły się wartościami ciśnienia na ssaniu i tłoczeniu, strumienia objętościowego oraz sprawności izentropowej sprężarki. Zestawienie parametrów przyjętych dla wszystkich ośmiu punktów pracy przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Podstawowe dane analizowanych punktów pracy (opracowanie własne)
Table 1. Basic data for the analysed operating points (authors' own study)

Punkt	T_1 [°C]	p_1 [kPa]	p_2 [kPa]	Q_1 [m³/h]	ηis [%]
S1	25	3100	7100	7409,11	76,9
S2	25	3400	5800	8245,45	61,1
S3	25	4500	8500	6221,39	76,3
S4	25	3100	7100	4445,46	80,6
W1	0	3100	7100	6636,91	77,9
W2	0	3400	5800	7368,10	63,7
W3	0	4500	8500	5508,13	77,5
W4	0	3100	7100	3982,15	80,3

Na podstawie składu gazu ziemnego wyznaczono masę molową mieszaniny wynoszącą 16,372 kg/kmol. Następnie określono temperaturę i ciśnienie pseudokrytyczne mieszaniny oraz odpowiadające im parametry pseudoredukowane. Współczynnik ściśliwości gazu wyznaczono za pomocą korelacji Papay, stanowiącej analityczne przybliżenie zależności przedstawianych na wykresie Standinga-Katza [11]. Obliczone właściwości gazu wykorzystano następnie do określenia parametrów procesu sprężania dla poszczególnych punktów pracy.

3.1. Metodyka wyznaczania mocy maszyny w modelu izentropowym

Zapotrzebowanie na moc sprężarki wyznaczono przy założeniu izentropowego procesu sprężania, z uwzględnieniem właściwości gazu rzeczywistego. Moc przekazywaną sprężanemu gazowi określono na podstawie strumienia masowego oraz przyrostu entalpii zgodnie z zależnością [7]:

$$P_G = \dot{m} \cdot \Delta h \tag{1}$$

gdzie:
P_G – moc oddana gazowi, kW
$\dot{m}$ – strumień masowy gazu, kg/s
Δh – przyrost entalpii gazu, kJ/kg

Strumień masowy wyznaczono na podstawie gęstości gazu w warunkach ssania i strumienia objętościowego:

$$\dot{m} = \rho_1 \cdot Q_1 \tag{2}$$

gdzie:
ρ_1 – gęstość gazu w warunkach ssania (p_1, T_1), kg/m³
Q_1 – strumień objętości gazu w warunkach ssania (p_1, T_1), m³/s

Gęstość gazu w warunkach ssania wyznaczono ze zmodyfikowanego równania Clapeyrona, z uwzględnieniem współczynnika ściśliwości:

$$\rho_1 = \frac{p_1}{(Z_1 \cdot R \cdot T_1)} \tag{3}$$

gdzie:
T_1 – temperatura gazu na ssaniu, K
p_1 – ciśnienie statyczne gazu na ssaniu, Pa
Z_1 – współczynnik ściśliwości w warunkach ssania (p_1, T_1)
R – indywidualna stała gazowa, J/kgK

Dla izentropowego procesu sprężania temperaturę gazu po sprężaniu wyznaczono z zależności:

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \tag{4}$$

gdzie:
k – wykładnik izentropy
T_2 – temperatura gazu po sprężaniu izentropowym, K

Przyrost entalpii gazu w procesie izentropowym wyznaczono z zależności:

$$\Delta h = c_p \cdot T_1 \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right] \tag{5}$$

gdzie:
c_p – ciepło właściwe gazu przy stałym ciśnieniu, kJ/kgK

Po wyznaczeniu parametrów procesu określono wymaganą moc mechaniczną na wale sprężarki z uwzględnieniem sprawności całkowitej:

$$P_{wał} = \frac{P_G}{\eta_c} \tag{6}$$

gdzie:
$P_{wał}$ – wymagana moc mechaniczna na wale sprężarki, kW
η_c – sprawność całkowita sprężarki

Sprawność całkowitą określono jako iloczyn sprawności mechanicznej i izentropowej:

$$\eta_c = \eta_m \cdot \eta_{iz} \tag{7}$$

gdzie:
η_c – sprawność całkowita sprężarki
η_m – sprawność mechaniczna sprężarki
η_{iz} – sprawność izentropowa procesu sprężania

Dla każdego z ośmiu analizowanych punktów pracy wyznaczono współczynnik ściśliwości, gęstość gazu, strumień masowy, temperaturę po sprężaniu, przyrost entalpii oraz wymaganą moc sprężarki. Wyznaczone wartości wykorzystano następnie do oceny położenia punktów roboczych na charakterystykach przykładowych sprężarek dostępnych na rynku.

3.2. Metodyka wyznaczania mocy maszyny w modelu politropowym

W celu porównania wyników uzyskanych przy zastosowaniu różnych modeli termodynamicznych przeprowadzono również

DOI: 10.65545/GWITS.2026.10.03

obliczenia z wykorzystaniem modelu politropowego. Obliczenia wykonano dla tych samych ośmiu punktów pracy S1-S4 i W1-W4, które analizowano w modelu izentropowym. Do wyznaczenia parametrów procesu wykorzystano politropową różnicę entalpii (pracę sprężarki) oraz sprawność politropową.

Politropową pracę sprężania wyznaczono zgodnie z zależnością [7]:

$$\Delta h_n = \left(\frac{n}{n-1}\right) Z_1 R_s T_1 \left[\varepsilon^{\frac{n-1}{n}} - 1\right] \quad (8)$$

gdzie:

Δh_n – politropowa praca sprężarki, J/kg
n – wykładnik politropy
Z_1 – współczynnik ściśliwości gazu w warunkach ssania
R_S – indywidualna stała gazowa, J/kgK
T_1 – temperatura gazu na ssaniu, K
$p1$ i p_2 – oznaczają odpowiednio ciśnienie ssania i tłoczenia, Pa
$\varepsilon = p_2/p_1$ – stopień sprężania

Moc sprężarki w modelu politropowym wyznaczono z uwzględnieniem strumienia masowego gazu oraz sprawności politropowej zgodnie z zależnością:

$$P_{poly} = \frac{\dot{m} \cdot \Delta h_n}{\eta_{poly}} \quad (9)$$

gdzie:

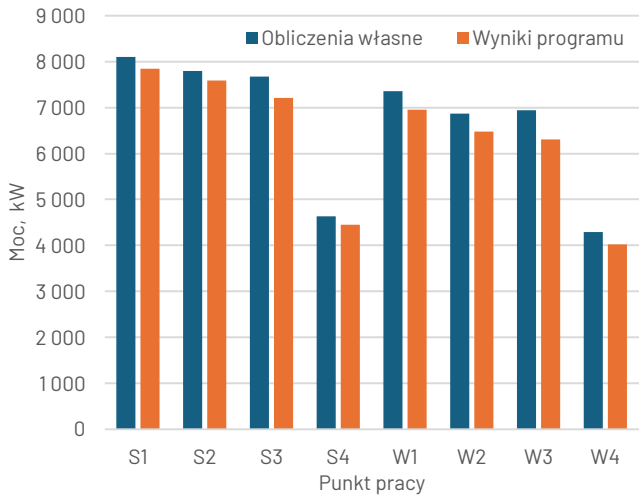
P_{poly} – moc sprężarki wyznaczona metodą politropową, kW
$\dot{m}$ – strumień masowy gazu, kg/s
η_{poly} – sprawność politropowa sprężarki

Obliczenia przeprowadzono dla wszystkich analizowanych punktów pracy. Uzyskane wartości mocy politropowej porównano następnie z mocą wyznaczoną przy zastosowaniu modelu izentropowego, określając różnice bezwzględne i względne pomiędzy wynikami obu metod.

4. Wyniki obliczeń i dobór agregatu sprężarkowego

4.1. Weryfikacja modelu obliczeniowego

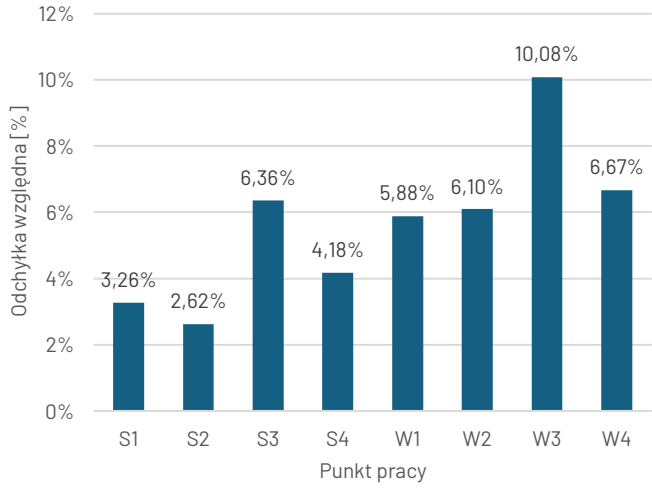
Dla analizowanych punktów pracy wyznaczono zapotrzebowanie na moc sprężarki w warunkach letnich i zimowych z wykorzystaniem modelu izentropowego. Dla punktu S1 obliczona moc na wale wyniosła 8,10 MW, natomiast dla odpowiadającego mu wariantu zimowego W1 7,36 MW. W celu weryfikacji zastosowanej metody wyniki obliczeń własnych porównano z wartościami uzyskanymi z programu doboru producenta sprężarek [9]. Dla punktów odpowiadających warunkom letnim odchyłki względne mieściły się w zakresie 2,6–6,4%, natomiast dla warunków zimowych wynosiły 5,9–10,1%. We wszystkich analizowanych przypadkach wartości mocy wyznaczone metodą analityczną były wyższe od wartości uzyskanych w programie producenta. Porównanie wyników dla poszczególnych punktów pracy przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Porównanie mocy sprężarki wyznaczonej metodą analityczną z wykorzystaniem modelu izentropowego oraz za pomocą programu doboru producenta sprężarek dla punktów S1-S4 i W1-W4 (opracowanie własne)

Fig. 3. Comparison of compressor power determined analytically using the isentropic model and with the compressor manufacturer's selection software for operating points S1-S4 and W1-W4 (authors' own study)

Najmniejszą odchyłkę względną uzyskano dla punktu S2 i wyniosła ona 2,62%, natomiast największa dla punktu W3 o wartości 10,08%. Odchyłki względne dla poszczególnych punktów pracy przedstawiono na rys. 4.

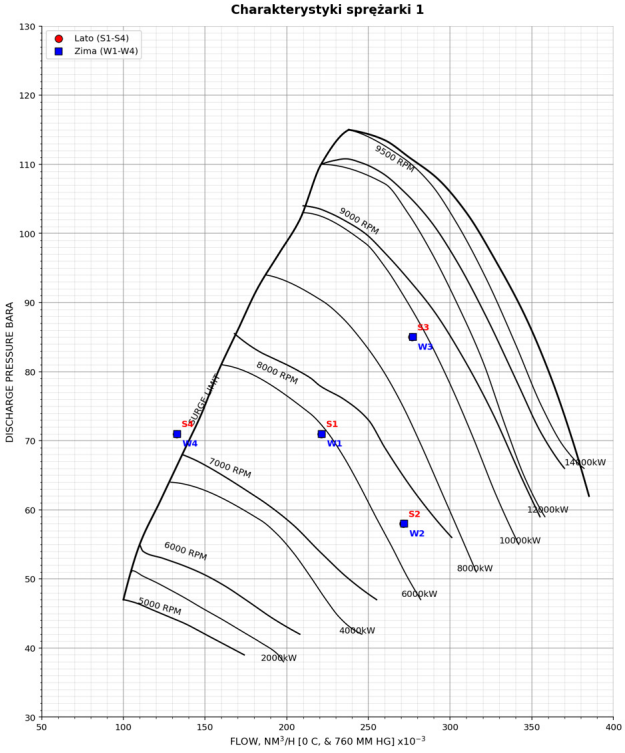


Rys. 4. Odchyłka względna mocy sprężarki wyznaczonej z wykorzystaniem modelu izentropowego względem wartości uzyskanych w programie doboru producenta sprężarek dla analizowanych punktów pracy (opracowanie własne)

Fig. 4. Relative deviation of compressor power determined using the isentropic model from the values obtained with the compressor manufacturer's selection software for the analysed operating points (authors' own study)

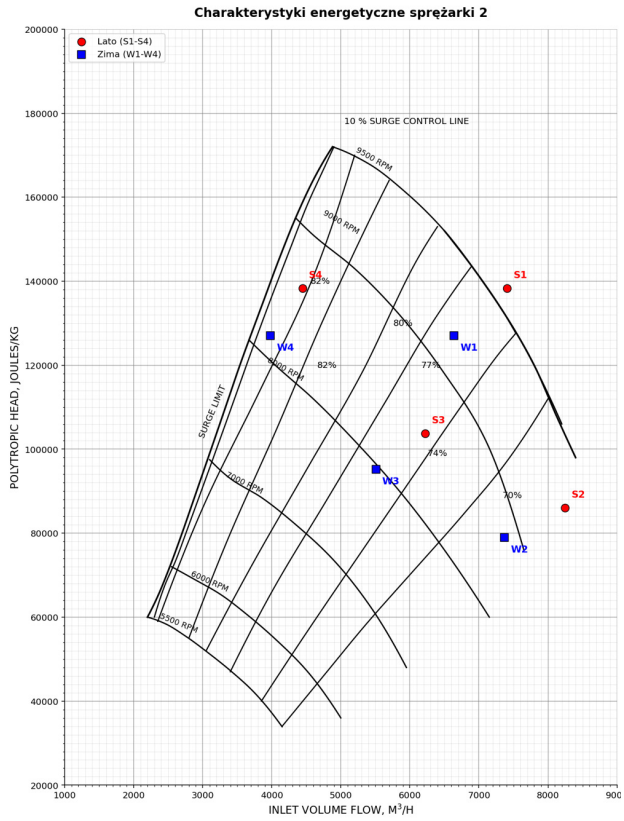
4.2. Dobór sprężarki na podstawie charakterystyk

Wyznaczone punkty pracy naniesiono na charakterystyki przyjętych sprężarek w celu oceny ich położenia względem dopuszczalnego obszaru użytkowania. Charakterystyki sprężarek wirowych odtworzono w środowisku Python na podstawie danych producenta agregatów [10]. Uwzględniały one linie prędkości obrotowej, obszary sprawności oraz ograniczenia dopuszczalnego zakresu pracy. W pierwszym etapie rozważano charakterystykę sprężarki nr 1 przedstawioną na rys. 5. Punkty S4 i W4 znalazły się poza granicą stabilnej pracy, natomiast punkty S3 i W3 znajdowały się w jej bezpośrednim sąsiedztwie. Pozostałe punkty mieściły się w dopuszczalnym obszarze charakterystyki. Oznacza to, że sprężarka nr 1 nie zapewniała prawidłowej pracy w całym analizowanym zakresie warunków eksploatacyjnych tłoczni gazu.



Rys. 5. Pole pracy sprężarki nr 1 z naniesionymi punktami S1-S4 i W1-W4 (opracowanie własne na podstawie [10])
Fig. 5. Operating range of compressor No. 1 with operating points S1-S4 and W1-W4 (authors' own study based on [10])

W kolejnym etapie oceniono charakterystykę sprężarki nr 2 przedstawionej na rys. 6. Wszystkie rozpatrywane punkty znajdowały się w dopuszczalnym obszarze jej pracy, ograniczonym linią sterowania przeciwpompażowego oraz granicą maksymalnej prędkości obrotowej. Punkty W1, W3 i W4 znajdowały się dodatkowo w obszarze najkorzystniejszej sprawności politropowej. Dla punktu S1 przyjęto prędkość obrotową około 5% wyższą od wartości granicznej przedstawionej na charakterystyce bazowej. W ramach przyjętych założeń sprężarkę nr 2 uznano za właściwie dobraną do analizowanego zakresu pracy.

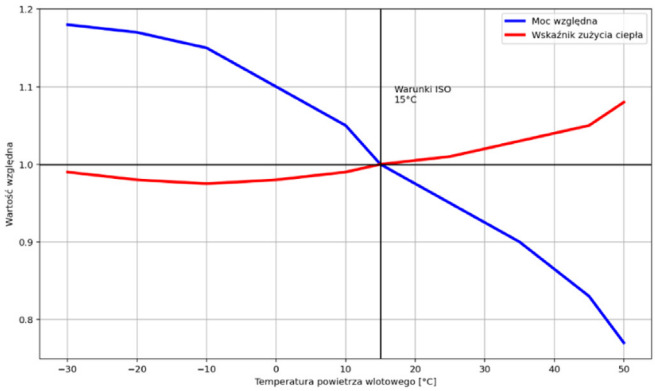


Rys. 6. Pole pracy sprężarki nr 2 z naniesionymi punktami S1-S4 i W1-W4 (opracowanie własne na podstawie [10])
Fig. 6. Operating range of compressor No. 2 with operating points S1-S4 and W1-W4 (authors' own study based on [10])

4.3. Kryteria doboru silnika turbospalinowego

Dobór silnika turbospalinowego stanowiącego napęd sprężarki wymaga uwzględnienia zapotrzebowania na moc mechaniczną na wale oraz warunków otoczenia determinujących dostępną moc turbiny. Do dalszej oceny przyjmuje się największą wartość zapotrzebowania na moc spośród analizowanych punktów pracy. Wstępne kryterium zakłada, że znamionowa moc turbiny gazowej w warunkach odniesienia powinna być nie mniejsza od wymaganej mocy na wale sprężarki. Istotnym czynnikiem jest temperatura powietrza zewnętrznego. Wraz ze wzrostem temperatury zmniejsza się jego gęstość, co prowadzi do ograniczenia strumienia masowego powietrza do spalania i w konsekwencji do spadku mocy turbiny [1]. Na rys. 7 przedstawiono wpływ temperatury powietrza zewnętrznego na względną moc turbiny gazowej oraz wskaźnik zużycia ciepła. Wartości odniesiono do warunków ISO przy temperaturze 15°C.

DOI: 10.65545/GWITS.2026.10.03



Rys. 7. Wpływ temperatury powietrza zewnętrznego na względną moc turbiny gazowej i wskaźnik zużycia ciepła (opracowanie własne)
Fig. 7. Effect of ambient air temperature on the relative gas turbine power and heat rate (authors' own study)

W procedurze doboru uwzględniono również zapas mocy związany ze stratami oraz zmiennością warunków operacyjnych. Przyjęto zapas wynoszący 10%, a warunek końcowy zapisano w postaci:

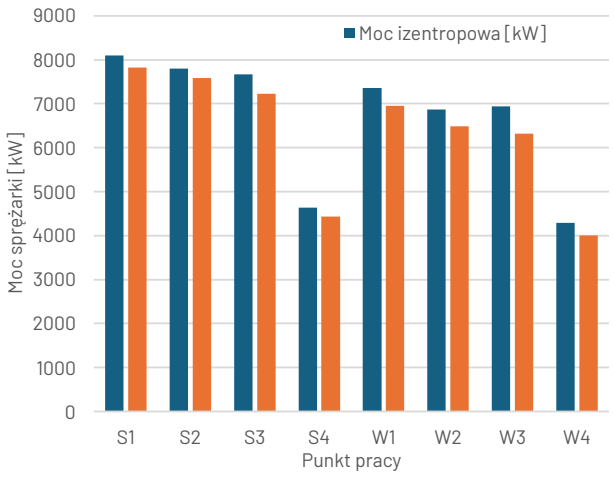
$$P_{turbiny} \geq 1{,}1\ P_{wał} \tag{10}$$

gdzie:

$P_{turbiny}$ – wymagana moc turbiny z uwzględnieniem zapasu, kW
$P_{wał}$ – wymagana moc na wale sprężarki, kW

4.4. Porównanie modelu izentropowego i politropowego

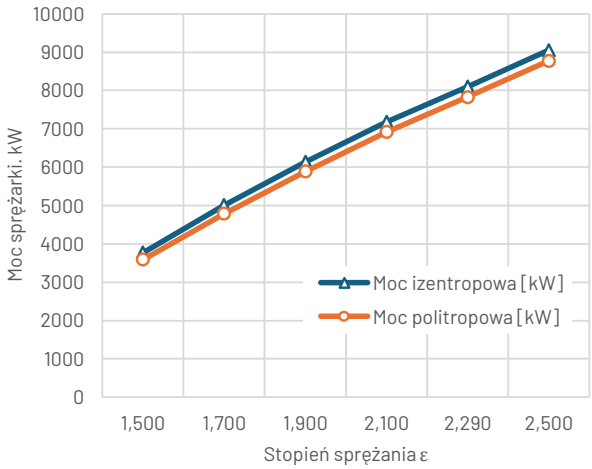
Porównanie wyników wykazało, iż dla wszystkich analizowanych punktów pracy moc wyznaczona przy zastosowaniu modelu politropowego była niższa od wartości uzyskanej z modelu izentropowego. Różnica względna mieściła się w zakresie od około 2,6% dla punktu S2, do 9,0% dla punktu W3. Oznacza to, że oba modele prowadzą do zbliżonych wyników zapotrzebowania na moc, jednak przyjęty sposób opisu procesu sprężania wpływa na końcową wartość obliczonej mocy mechanicznej. Porównanie wartości mocy uzyskanych dla obu modeli w poszczególnych punktach pracy przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Porównanie mocy sprężarki wyznaczonej metodą izentropową i politropową dla analizowanych punktów pracy (opracowanie własne)
Fig. 8. Comparison of compressor power determined using the isentropic and polytropic methods for the analysed operating points (authors' own study)

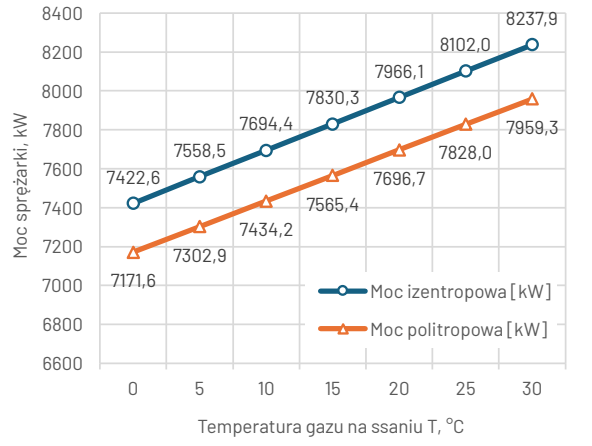
4.5. Analiza wrażliwości dla parametrów użytkowania

Wpływ parametrów eksploatacyjnych na zapotrzebowanie na moc oceniono na podstawie analizy wrażliwości względem temperatury gazu na ssaniu, stopnia sprężania oraz sprawności izentropowej. Obliczenia wykonano przy zmianie jednego parametru, przy zachowaniu pozostałych wielkości na poziomie odpowiadającym punktowi referencyjnemu S1. Wpływ zmian temperatury gazu na ssaniu przedstawiono na rys. 9. Wzrost temperatury gazu na ssaniu w zakresie od 0 do 30°C spowodował zwiększenie mocy izentropowej z około 7,42 do 8,24 MW, natomiast mocy politropowej z około 7,17 do 7,96 MW. Względna różnica pomiędzy wynikami obu modeli pozostawała na poziomie około 3,38%.



Rys. 9. Wpływ temperatury gazu na ssaniu na moc izentropową i politropową sprężarki (opracowanie własne)
Fig. 9. Effect of gas suction temperature on the isentropic and polytropic compressor power (authors' own study)

Znacznie większy wpływ na zapotrzebowanie na moc wykazał stopień sprężania, co przedstawiono na rys. 10. Jego wzrost z 1,5 do 2,5 spowodował zwiększenie mocy izentropowej z 3,77 do 9,05 MW, natomiast mocy politropowej z 3,59 do 8,77 MW.



Rys 10. Wpływ stopnia sprężania na moc izentropową i politropową sprężarki (opracowanie własne)
Fig. 10. Effect of pressure ratio on the isentropic and polytropic compressor power (authors' own study)

Odwrotną zależność uzyskano dla sprawności izentropowej. Jej wzrost z 75% do 90%, przy zachowaniu pozostałych parametrów na stałym poziomie, spowodował zmniejszenie wymaganej mocy sprężarki z 8,31 do 6,92 MW, co odpowiada spadkowi względnemu o 16,7%. Spośród analizowanych parametrów największy wpływ na zapotrzebowanie na moc wykazał stopień sprężania.

4.6. Wpływ 20% mol domieszki wodoru

Oceniono również wpływ 20% mol domieszki wodoru do gazu ziemnego na wybrane właściwości mieszaniny oraz zapotrzebowanie na moc sprężarki. Dla zachowania spójności metodyki współczynnik ściśliwości gazu bazowego oraz mieszaniny zawierającej wodór wyznaczono z wykorzystaniem równania stanu Penga–Robinsona. Domieszka wodoru wpływa na właściwości fizyczne i energetyczne transportowanej mieszaniny gazowej, co ma znaczenie dla warunków przepływu w istniejących gazociągach o określonej średnicy i chropowatości wewnętrznej [12]. Wpływ domieszki wodoru na parametry pracy sprężarek odśrodkowych gazu ziemnego był również przedmiotem analiz przedstawionych w publikacji [13].

Dodatek 20% mol H_2 do paliwa gazowego grupy E spowodował zmniejszenie masy molowej mieszaniny z 16,372 do 13,505 kg/kmol oraz jej gęstości z 21,94 do 17,65 kg/m^3. Jednocześnie współczynnik ściśliwości wzrósł z 0,934 do 0,957, tj. o około 2,5%. Przy zachowaniu stałych wartości ciśnienia na ssaniu i tłoczeniu, temperatury gazu na ssaniu, strumienia objętościowego oraz przyrostu entalpii, zmniejszenie gęstości mieszaniny na skutek domieszki wodoru spowodowało spadek strumienia masowego z 45,15 do 36,33 kg/s. W konsekwencji obliczona moc izentropowa sprężarki zmniejszyła się z 8118,74 do 6533,60 kW, co odpowiada spadkowi o około 19,5%. Zestawienie analizowanych parametrów przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wpływ 20% mol H_2 na parametry mieszaniny i moc sprężarki (opracowanie własne)
Table 2. Table 2. Effect of 20 mol% H_2 addition on mixture parameters and compressor power (authors' own study)

Parametr	Gaz ziemny	Gaz ziemny + 20% mol H_2
Masa molowa [kg/kmol]	16,372	13,505
Współczynnik ściśliwości Z [–]	0,934	0,957
Gęstość [kg/m³]	21,94	17,65
Strumień masowy [kg/s]	45,15	36,33
Moc izentropowa sprężarki [MW]	8,12	6,53

5. Podsumowanie

Analiza położenia punktów na charakterystykach wykazała, iż sprężarka nr 1 nie zapewniała dopuszczalnych warunków pracy w całym rozpatrywanym zakresie użytkowania. Dla sprężarki nr 2 wszystkie analizowane punkty znajdowały się w dopuszczalnym polu pracy, przy czym dla punktu S1 przyjęto prędkość obrotową około 5% większą od wartości granicznej przedstawionej na charakterystyce bazowej, co jest zgodne z zaleceniami producenta.

Przy doborze silnika turbospalinowego stanowiącego napęd sprężarki należy uwzględnić nie tylko maksymalne zapotrzebowanie na moc mechaniczną, lecz również wpływ temperatury powietrza zewnętrznego na dostępną moc silnika turbospalinowego. W przyjętej procedurze doboru napędu uwzględniono dodatkowo 10% zapas mocy związany ze stratami wewnętrznymi oraz zmiennością warunków użytkowania.

Porównanie obliczeń własnych z wynikami programu doboru producenta sprężarek wykazało różnice zależne od punktu pracy. Dla warunków letnich odchyłki względne wynosiły 2,6–6,4%, natomiast dla wariantów zimowych 5,9–10,1%. We wszystkich analizowanych przypadkach wartości mocy wyznaczone metodą analityczną były wyższe od wartości uzyskanych z programu producenta.

Porównanie modeli izentropowego i politropowego wykazało, iż dla wszystkich analizowanych punktów pracy, moc wyznaczona modelem politropowym była niższa od mocy uzyskanej w modelu izentropowym. Różnice względne wynosiły od około 2,6% dla punktu S2 do 9,0% dla punktu W3, co wskazuje, że wybór modelu termodynamicznego wpływa na końcową wartość obliczonego zapotrzebowania na moc.

Analiza wrażliwości wykazała istotny wpływ parametrów eksploatacyjnych na zapotrzebowanie na moc sprężarki. Wzrost temperatury gazu na ssaniu od 0°C do 30°C spowodował wzrost mocy o około 11%, natomiast zwiększenie sprawności izentropowej z 75% do 90% zmniejszyło wymaganą moc o około 16,7%. Największy wpływ w analizowanych zakresach zmian miał stopień sprężania, w którego przypadku wzrost z 1,5 do 2,5 spowodował zwiększenie mocy izentropowej o około 140%.

Analiza wpływu 20% mol domieszki wodoru wykazała wzrost współczynnika ściśliwości mieszaniny o ~2,5% oraz zmniejszenie jej gęstości o około 19,5%. Przy zachowaniu pozostałych parametrów procesu, spowodowało to zmniejszenie strumienia masowego, a w konsekwencji obniżenie obliczeniowej mocy sprężarki o ~19,5%.

6. Literatura

[1] Brun, K., & Kurz, R. (2019). *Introduction to gas turbine theory*. Solar Turbines Incorporated.

[2] Chaczykowski, M., & Osiadacz, A. J. (2024). Tłocznia-główny element gazowego systemu przesyłowego. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 98(4). https://doi.org/10.15199/17.2024.4.2

[3] International Organization for Standardization. (2015). ISO 10439-1:2015 *Petroleum, petrochemical and natural gas industries—Centrifugal compressors.*

[4] Kurz, R., Thorp, J. M., Zentmyer, E. G., & Brun, K. (2013). A Novel Methodology for Optimal design of compressor plants using Probabilistic plant design. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 135(11). https://doi.org/10.1115/1.4025069

[5] Kurz, R., & White, R. C. (2007). Centrifugal compressor map. *Proceedings of the Thirty-Sixth Turbomachinery Symposium*. Turbomachinery Laboratory, Texas A&M University.

[6] Kurz, R., White, R. C., & Brun, K. (2014). Transient operation in pipeline compressor stations. *ASME Turbo Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition*. ASME. https://doi.org/10.1115/GT2014-25016

[7] Osiadacz, A. J. (2022). Analiza parametrów pracy sprężarek gazowych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 96(6). https://doi.org/10.15199/17.2022.6.3

[8] Polski Komitet Normalizacyjny. (2025). *PN-EN 12583+A1:2025-04. Infrastruktura gazowa – Tłocznie – Wymagania funkcjonalne.*

[9] Solar Turbines Incorporated. (2013). *Gas compressor and engine simulation (GCASE): Calculation report.*

[10] Solar Turbines Incorporated. (2010). *Estimated compressor performance: MARS 100-16000S* (GCASE Rev. 3.7.3: DB162.20, Control No. I-BR09002006 SHT.2)

[11] Standing, M. B., & Katz, D. L. (1942). Density of natural gases. *Transactions of the AIME*, 146(01), 140–149. https://doi.org/10.2118/942140-g

[12] Witek, M., & Uilhoorn, F. (2022). Impact of hydrogen blended natural gas on linepack energy for existing high pressure pipelines. *Archives of Thermodynamics*, 43(3), 111–124. https://doi.org/10.24425/ather.2022.143174

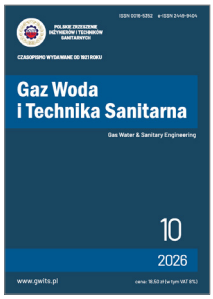
[13] Xiong, Z., Liu, Y., Cai, Y., Chang, W., Wang, Z., Li, Z., & Peng, S. (2025). Research on the effect of green hydrogen blending on natural gas centrifugal compressor performance. *Renewable Energy*, 242, 122378. https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.122378

DOI: 10.65545/GWITS.2026.10.03

DOI: 10.65545/GWITS.2026.10.04

POLSKIE ZRZESZENIE INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW SANITARNYCH

Gaz Woda i Technika Sanitarna
Gas Water & Sanitary Engineering



Artykuł dostępny / Open Access: www.gwits.pl

Analizatory korelacyjne w ocenie jakości biogazu/biometanu i bioLNG

Correlation analyzers for biogas/biomethane and bio-LNG quality

Grzegorz Rosłonek[1]*

[1] *Orlen S.A.*
* *Kontakt / Correspondence: grzegorz.roslonek@pgnig.pl*

Streszczenie:
Artykuł przedstawia i analizuje możliwości wykorzystania analizatorów korelacyjnych jako efektywnej alternatywy dla tradycyjnej chromatografii gazowej w monitorowaniu parametrów energetycznych i cech jakościowych nowoczesnych paliw gazowych. Przedstawiono ograniczenia metody klasycznej chromatografii gazowej w porównaniu do szybkich metod korelacyjnych. Pokazano potencjalne zalety urządzeń korelacyjnych dla sieci inteligentnych i dynamicznych zmian jakości paliw w tych sieciach. Przedstawiono potencjalne możliwości zastosowania urządzeń korelacyjnych oraz wskazano ich potencjalne wady. Zaprezentowano możliwy przełom w metrologii pomiarów z wykorzystaniem analizatorów korelacyjnych w odniesieniu do spodziewanych w najbliższej przyszłości uproszczeń składu paliw gazowych.
Słowa kluczowe: analizatory korelacyjne, chromatografia gazowa, jakość gazu, metrologia gazu, biometan, bioLNG

Abstract:
The article presents and analyzes the possibilities of using correlation devices as an effective alternative to traditional gas chromatography in monitoring the energy parameters and quality characteristics of modern gaseous fuels. The author highlights the limitations of the classical gas chromatography method, with its discrete operation mode, compared to fast correlation methods. Potential advantages of correlation devices for smart grids and dynamic changes in fuel quality in these networks are demonstrated. The essence of correlation phenomena and the potential applications of correlation devices are presented, while also pointing out their potential disadvantages. A possible breakthrough in measurement metrology using correlation analyzers is showcased in relation to the expected simplification of gaseous fuel composition in the near future.
Keywords: correlative analyzers, gas chromatography, gas quality, gas metrology, biomethane, bioLNG

1. Wstęp

Tradycyjna ocena jakości gazu opiera się na popularnej metodzie analitycznej - chromatografii gazowej (GC), która choć precyzyjna, jest procesem dyskretnym i kosztownym. Dotyczy to zarówno kosztów inwestycyjnych związanych z budową tych systemów analitycznych jak i następczych kosztów operacyjnych związanych z ich funkcjonowaniem (np. gazy wzorcowe i eksploatacyjne). W dobie możliwych dynamicznych zmian jakościowych paliw gazowych w sieciach, gdzie do sieci tych może trafiać gaz z różnych źródeł (LNG, biometan, wodór), kluczowa staje się szybkość oceny jakości paliwa.

Współczesne metody GC są znacznie szybsze niż te sprzed dekady lub starsze, ale nie są to jednak metody umożliwiające całkowicie ciągły pomiar. W rzeczywistości są to metody okresowe. Czas jednego pełnego cyklu analitycznego w przypadku GC w warunkach procesowych on-line wynosi od 3 do 10 min. Generuje to luki informacyjne, które w dobie możliwych szybkich zmian parametrów gazu w sieciach inteligentnych (Smart Grids) mogą być problematyczne. Chromatografia gazowa jest w przemyśle gazu ziemnego szczegółowo znana (np. [1, 2]) i z tego względu nie będzie przedmiotem wnikliwej analizy w niniejszym artykule.

Aktualnie, oprócz analizatorów GC istnieją na rynku, od co najmniej dwóch dekad, analizatory korelacyjne (ang.: correlative devices, CD), które oferują pomiar quasi-ciągły, pozwalający na bardzo szybkie dostosowanie wszelkich procesów w przemyśle i gospodarce komunalnej do zmieniających się parametrów paliwa gazowego, głównie kaloryczności. Czas pomiaru wartości danego parametru w przypadku zastosowania analizatorów korelacyjnych wynosi praktycznie kilka sekund, czyli ich główną przewagą jest czas odpowiedzi liczony w sekundach. Może to pozwolić na natychmiastową reakcję systemów automatyki na zmianę kaloryczności lub gęstości przesyłanego paliwa.

Artykuł / Article: Nadesłany / Received: 7.10.2026; Zrecenzowany / Revised: 10.10.2026; Zaakceptowany / Accepted: 12.10.2026; Opublikowany / Published: 26.10.2026

Prawa autorskie: © 2026 autorów. Licencjobiorca: PZITS. Artykuł w otwartym dostępie na licencji Creative Commons CC BY 4.0. / Copyright: © 2026 by the authors. Licensee PZITS. This article is an open access under the Creative Commons CC BY 4.0 license.

2. Zasada działania analizatorów korelacyjnych (CD)

Analizatory korelacyjne to urządzenia mierzące daną wielkość, np.: prędkość dźwięku, przenikalność dielektryczną, przewodnictwo cieplne, pasmo absorpcji (głównie IR), które są skorelowane w określony sposób z inną wielkością pochodną, najczęściej dowolną wartością kaloryczną, parametrami gęstościowymi (d_n, r_n), czy po prostu stężeniami niektórych składników mieszaniny [1–6]. Rodzaj korelacji musi być dokładnie znany, ale korelacje te nie muszą być liniowe. W sposób matematyczny zasadę działania urządzeń korelacyjnych opisują wzory (1) i (2):

$$\varepsilon = f(Hs) \quad (1)$$

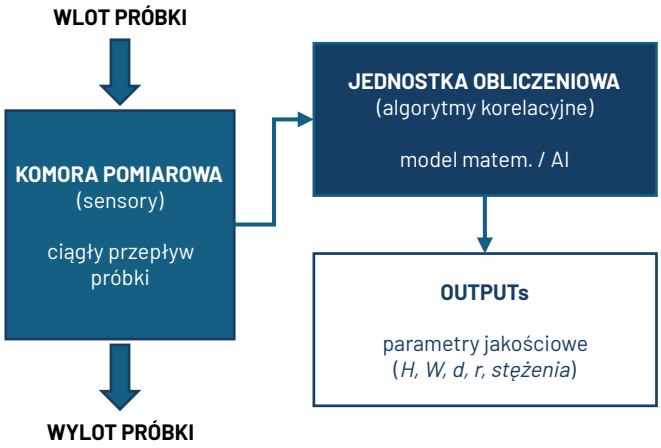
$$Hs = f^{-1}(e) \quad (2)$$

gdzie:

Hs – wybrana wartość kaloryczna, najczęściej ciepło spalania

e – ustalona wielkość prosta, np.: przenikalność dielektryczna, przewodnictwo cieplne, prędkość dźwięku w danym ośrodku

Na rys. 1 pokazano schemat ideowy analizatora korelacyjnego (CD). Współczesne zestawy CD są tak konstruowane, że wykorzystuje się w nich więcej niż jedną korelację, lub pomiar korelacyjny z innym pomiarem bezpośrednim. Okresowo adjustuje się je także względem gazu referencyjnego, którym może być zarówno gaz jednoskładnikowy, najczęściej czysty metan, jak i ustalona mieszanina gazowa. Podejście takie znacznie poprawia ich parametry metrologiczne – dokładność, powtarzalność oraz ostatecznie niepewność. W tabeli 1 podano typowe wartości parametrów metrologicznych analizatorów korelacyjnych i porównano je z analogicznymi wartościami dla metody chromatografii gazowej dla analiz gazów ziemnych. Wartości te są podane na podstawie doświadczeń autora niniejszego opracowania.



Rys. 1. Schemat ideowy analizatora korelacyjnego (*H* – wartości kaloryczne, *W* - liczby Wobbego, *d* – gęstość względna, *r* – gęstość normalna)

Fig. 1. Schematic diagram of the correlation analyzer (H – calorific values, W – Wobbe indices, d – relative density, r – normal density)

3. Przykładowe korelacje

Podstawowe korelacje w urządzeniach CD to te, gdzie uwikłana jest zależność danej wielkości mierzonej bezpośrednio z parametrami kalorycznymi i gęstościowymi. Przykłady korelacji [1] bezpośrednich podano poniżej:

- ciepło spalania – liczba atomów węgla w cząsteczce (rys. 2),
- ciepło spalania – masa molowa,
- ciepło spalania prędkość dźwięku,
- ciepło spalania – indeks refrakcji,
- współczynnik sumacyjny [7] – liczba atomów węgla w cząsteczce,

oraz niektóre korelacje pośrednie wynikające z tych powyżej:

- ciepło spalania – masa molowa,
- prędkość dźwięku – masa molowa,
- prędkość dźwięku – gęstość (względna, normalna).

Warto zwrócić uwagę, że dla różnych korelacji dla węglowodorów, gdzie brana jest pod uwagę liczba atomów węgla w cząsteczce, to korelacje te są także spełnione dla wodoru, dla którego liczba atomów węgla przyjęta jest jako zero (rys. 2).

4. Zastosowania analizatorów korelacyjnych do oceny jakości gazu ziemnego, LNG i biometanu

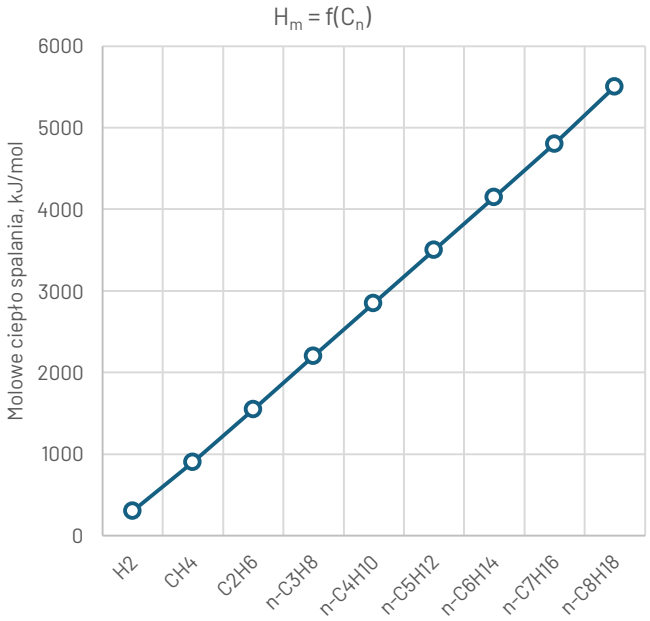
Przez ostatnie dwie dekady przyjęło się, że w odniesieniu do gazu ziemnego analizatory korelacyjne doskonale nadawały się jako urządzenia technologiczne, do kontroli i sterowania procesami przemysłowymi. Sceptycznie traktowano możliwość zastosowania ich w pomiarach rozliczeniowych. Wykorzystanie CD jako urządzenia technologiczne wiązało się bezpośrednio z szybkością ich działania. Porównanie parametrów metrologicznych CD z parametrami chromatografów gazowych GC wyraźnie preferuje te drugie jako lepsze urządzenia do rozliczeń [4].

Tabela 1. Analizatory korelacyjne – zestawianie parametrów metrologicznych w porównaniu z GC, Źródło: opracowanie własne na podstawie kart katalogowych producentów.

Table 1. Correlation analyzers – comparison of metrological parameters versus GC. Source: author's own compilation based on manufacturers' data sheets

	GZ	bioFUEL	dla GC (GZ)
dokładność	< 0,5% rel. (CV, W) < 2 unit MN < 1% rel. dla *d* (gęstość) < 0,2% abs. dla CO_2	< 0,5% rel. (CV, W) < 2 unit MN < 0,05% rel. dla *d* (gęstość) < 0,1% abs. dla CO_2	< 0,2% rel. (CV, W) < 1 unit MN < 0,1% rel. dla *d* (gęstość) <0,05% abs. dla CO_2
powtarzalność	< 0,5% rel. (CV, W) < 1 unit MN < 0,5% rel. dla *d* (gęstość) < 0,1% abs. dla CO_2	< 0,25% rel. (CV, W) < 1 unit MN < 0,25% rel. dla *d* (gęstość) <0,05% abs. dla CO_2	< 0,1% rel. (CV, W) (?) < 0,25% rel. dla *d* (gęstość) (?)
czas odpowiedzi	< 5s	< 5s	3–10 min.
stabilność (dryf)	< 0,01 MJ/m³/mies.	< 0,01 MJ/m³/mies.	< 0,01 MJ/m³/mies.
odporność na zmianę matrycy	wysoka dla matryc uproszczonych	wysoka dla matryc uproszczonych	bardzo wysoka
zużycie gazu pomiarowego	< 3 l/min.	< 3 l/min.	(?)
koszt inwestycyjny CAPEX	–	–	wyższy
koszt eksploatacji OPEX	niższy	niższy	wyższy
odporność na wibracje	odporny	odporny	mniej odporny

DOI: 10.65545/GWITS.2026.10.04



Rys. 2. Korelacja pomiędzy molowym ciepłem spalania węglowodorów alifatycznych i liczbą atomów węgla w cząsteczce – zastawienie autora wg danych z [7]

Fig. 2. Correlation between the molar heat of combustion of aliphatic hydrocarbons and the number of carbon atoms in the molecule – author's compilation based on data from [7]

W chromatografii gazowej każdy ze składników jest oznaczany oddzielnie i jego parametry fizykochemiczne, zgodnie z jego wagą stężeniową, wnoszą wkład dla odpowiednich wartości danych parametrów dla całej mieszaniny. W analizatorach korelacyjnych podejście jest inne. Mieszaninę gazowa traktuje się w pierwszej kolejności jako układ dwuskładnikowy, czyli:

zastępczy składnik inertny + zastępczy węglowodór

gdzie ilość obydwu składników zastępczych, inertnego i węglowodorowego, określa się początkowo metodami korelacyjnymi. Przyjmuje się, że składnik inertny to dwutlenek węgla i azot. W drugim stopniu pomiarowym można poprzez pomiar bezpośredni wyznaczać stężenia niektórych składników węglowodorowych i inertnych, np. metodą spektralną IR, uzyskując tym samym bezpośrednie informacje nt. stężenia CO_2 czy CH_4. W ten sposób uściślamy informacje o badanym paliwie do postaci:

azot + dwutlenek węgla + metan + węglowodór zastępczy

Powyższy zasób informacji może nie być jeszcze wystarczający dla każdego gazu ziemnego z powodów:

- rozbudowanej matrycy węglowodorowej i tym samym wysokiej zawartości cięższych węglowodorów w mieszaninie jako całości,
- obecności dodatków wodorowych (w przyszłości),
- wysokiej zawartości składników inertnych (gazy L),
- obecności w składnikach inertnych innych komponentów niż azot i dwutlenek węgla (np. obecność helu, który jako gaz szlachetny jest niereaktywny i dlatego trudno oznaczalny).

Te wymienione powyżej komplikacje powodowały, że analizatory korelacyjne nie były stosowane do celów rozliczeniowych w przemyśle gazu ziemnego. Urządzenia CD po prostu przegrywały konkurencję z zestawami procesowych chromatografów gazowych. Zdecydowanie inaczej wygląda problem matrycy całościowej w przypadku paliw gazowych przetworzonych lub będących substytutami gazu ziemnego, czyli takich jak:

- biogaz – dla którego zawsze dominującym składnikiem inertnym będzie dwutlenek węgla a jedynym składnikiem węglowodorowym będzie metan,
- biometan – który praktycznie jest paliwem dwuskładnikowym, czyli metan i dwutlenek węgla,
- bioLNG – dla którego zdecydowanie dominującym składnikiem jest metan a jako składnik inertny występuje azot na bardzo niskim poziomie stężenia,
- LNG – w którym zakres ilościowy matrycy węglowodorowej jest zawężony, czyli praktycznie C_1-C_3 a zdecydowanie dominującym składnikiem jest metan, oraz jako składnik inertny występuje jedynie azot na niskim poziomie stężenia,
- LPG – gdzie występują w praktyce jedynie węglowodory bez frakcji inertnych – LPG nie jest jednak przedmiotem niniejszej prezentacji.

Uproszczona matryca dla biogazu, biometanu i bioLNG powoduje automatycznie eliminację dotychczasowych wad analizatorów CD jako ewentualnych urządzeń rozliczeniowych. Osiągnięcie wysokich parametrów metrologicznych przez urządzenia CD dla tych paliw, w połączeniu z bardzo szybkim czasem reakcji dla CD, stawia te analizatory w przewadze względem systemów chromatograficznych. Pomimo, że na ten moment nie widać wyraźnej tendencji aplikacyjnej systemów CD na biogazowniach, biometanowniach, czy nawet na terminalach LNG, to należy jednak zauważyć, że obszar biogazu/biometanu i obszar LNG małej skali, są to obszary dopiero rozwijające się w Polsce, oraz w innych krajach. Wobec tego silniejszej tendencji aplikacyjnej dla CD możemy się spodziewać w najbliższej przyszłości, ale dziś można stwierdzić, że taka tendencja się właśnie rozpoczęła. Dowodzą tego już dokonane aplikacje na jeszcze nielicznych obiektach biogazowych oraz biometanowych.

5. Potencjalne obszary zastosowań analizatorów korelacyjnych (CD)

W najbliższej przyszłości analizatory korelacyjne będą miały zastosowania wszędzie tam, gdzie będzie możliwość wykorzystania ich ewidentnych zalet, czyli głównie szybkiego czasu odpowiedzi, oraz gdzie sama matryca paliwa gazowego nie spowoduje, że metody chromatograficzne będą dokładniejsze (tabela 1). Potencjalne obszary zastosowań podano poniżej.

5.1. Biogazownie

Zastosowanie do wsparcia procesów szybkiego reagowania:

- optymalizacja procesu fermentacji poprzez szybkie wykrywanie procesu zakwaszania pulpy fermentacyjnej – funkcja technologiczna,
- sterowanie instalacją uszlachetniania biogazu, czyli kontrola sprawności kolumn aminowych lub kontrola parametrów procesu membranowego – funkcja technologiczna,
- monitoring gazu odpadowego off-gas – kontrola tzw. methane slip (ucieczka metanu) – funkcja technologiczna,
- zapewnienie bezpieczeństwa pracy urządzeń kogeneracyjnych CHP – zapewnienie właściwej kaloryczności paliwa

do silnika oraz wsparcie oceny ilości podanego paliwa – funkcja hybrydowa, tzn. technologiczna i rozliczeniowa,
- monitoring zanieczyszczeń w paliwie gazowym do silnika CHP – np. poprzez monitoring stężenie siarkowodoru metodą IR – funkcja technologiczna.

Na dzień dzisiejszy można stwierdzić, że analizatory korelacyjne już są urządzeniami powszechnie stosowanymi na biogazowniach, także w Polsce.

5.2. Biometanownie

Zastosowanie do wsparcia procesów szybkiego reagowania w połączeniu ze wsparciem procesów rozliczeniowych:
- uzdatnianie biogazu do biometanu – j.w. pkt. b),
- kontrola jakości przed procesem wprowadzenia do sieci gazu ziemnego – funkcja rozliczeniowa, z rolą funkcji fast-cut-off, czyli z funkcją bezpiecznika – funkcja technologiczna,
- monitorowanie strat metanu, methane slip,
- przygotowanie do produkcji bioLNG – monitoring zanieczyszczeń CO_2 na bardzo niskim poziomie stężenia – funkcja technologiczna.

Obiekty biometanowe w Polsce dopiero powstają, ale na tych jeszcze nielicznych w naszym kraju analizatory korelacyjne też są już stosowane.

5.3. Instalacje LNG i bioLNG

Zastosowanie do wsparcia procesów szybkiego reagowania w połączeniu ze wsparciem procesów rozliczeniowych:
- kontrola procesów regazyfikacji – funkcja rozliczeniowa,
- zarządzanie parametrami gazu odpadowego BOG i wsparcie systemów ponownego skraplania – funkcja technologiczna,
- bilansowanie procesowe – funkcja rozliczeniowa.
- monitoring procesu starzenia się LNG (LNG ageing) – nie dotyczy bioLNG – funkcja technologiczna,
- wykrywanie zjawiska Roll-Over – nie dotyczy bioLNG – funkcja technologiczna (zapobieganie zjawisku poprzez ewentualne wymuszone mieszanie za pomocą pomp LNG).

Większość z wymienionych powyżej funkcji, w szczególności funkcje technologiczne, mają już praktyczne zastosowanie, podczas gdy w odniesieniu do niektórych należy się spodziewać ich zastosowania w najbliższej przyszłości.

W odniesieniu do LNG analizatory korelacyjne są stosowane m.in. na dużych terminalach morskich LNG, np. w Zeebrugge w Belgii, czy na terminalu Gate w Rotterdamie w Holandii, na małym morskim terminalu w Inkoo w Finlandii na Morzu Bałtyckim. Stosuje się je także na nabrzeżach bunkrowych LNG w Hamburgu czy Rotterdamie do oceny efektów starzenia się paliwa bunkrowego.

6. Podsumowanie i wnioski

Analizatory korelacyjne (CD) stanowią efektywną technicznie alternatywę dla chromatografii gazowej (GC), oferując niemal natychmiastowy pomiar parametrów gazu, co jest kluczowe w zarządzaniu nowoczesnymi sieciami (Smart Grids). Zastosowanie metod CD jest szczególnie uzasadnione w przypadku takich paliw gazowych jak biometan i bioLNG, które charakteryzują się uproszczoną matrycą składników. W przeciwieństwie do dyskretnej chromatografii gazowej, analizatory korelacyjne zapewniają stałą kontrolę kaloryczności i gęstości gazu, umożliwiając szybką reakcję systemów automatyki w celu zapewnienia stałości procesów i przeciwdziałaniu wytwarzania produktu końcowego o nieakceptowalnych parametrach.

Co najmniej pięć poniższych cech techniczno-rynkowych sprawia, że analizatory korelacyjne nie stanowią techniki pomiarowej zapomnianej.

6.1. Paradygmat szybkości pomiaru

Analizatory korelacyjne (CD) stanowią niezbędne uzupełnienie systemów chromatograficznych w nowoczesnym gazownictwie. Ich kluczowa przewaga – czas odpowiedzi liczony w sekundach – pozwala na eliminację „luk informacyjnych" typowych dla cykli GC, co jest warunkiem koniecznym dla efektywnego zarządzania sieciami typu *Smart Grids*.

6.2. Przełomowa rola uproszczonej matrycy

Od niedawna, główna bariera stosowania urządzeń CD w rozliczeniach gazu ziemnego (złożoność frakcji węglowodorowej) traci na znaczeniu w przypadku biometanu i bioLNG. Niemal dwuskładnikowy charakter tych paliw (metan + składnik inertny) drastycznie redukuje nieliniowość korelacji, co pozwala analizatorom CD na osiągnięcie stabilności i niepewności pomiarowej porównywalnej z metodami referencyjnymi.

6.3. Optymalizacja kosztów (OPEX i CAPEX)

Analizatory korelacyjne oferują znaczące oszczędności eksploatacyjne. Brak konieczności stosowania gazów nośnych (hel, argon) oraz uproszczone procedury serwisowe w porównaniu do GC, czyli tańsze, czynią je optymalnym rozwiązaniem dla rozproszonej infrastruktury biometanowej i terminali LNG małej skali, gdzie rentowność inwestycji zależy od minimalizacji kosztów utrzymania ruchu.

6.4. Zastosowania procesowe i bezpieczeństwo

W obszarze biogazowni i terminali LNG, urządzenia CD są bezkonkurencyjne w zadaniach ochrony procesowej (np. ochrona silników CHP przed zmianą kaloryczności czy sterowanie pętlą regazyfikacji). Zdolność do quassi-ciągłego monitorowania składu pozwala na natychmiastowe odcięcie gazu pozanormatywnego, co bezpośrednio przekłada się na bezpieczeństwo techniczne infrastruktury i redukcję nieoczekiwanych kosztów.

6.5. Perspektywy normalizacyjne

Spodziewany rozwój rynku gazów odnawialnych w Polsce i Europie wymusi szerszą akceptację metod korelacyjnych. Naturalnym wydaje się dążenie, aby w miarę upowszechniania biometanu, organy normalizacyjne i operatorzy sieci dążyli do dopuszczenia analizatorów CD jako pełnoprawnych urządzeń rozliczeniowych w punktach o uproszczonej charakterystyce składu gazu.

DOI: 10.65545/GWITS.2026.10.04

6.6. Model hybrydowy

Coraz częściej operatorzy w UE stosują model hybrydowy – CD on-line do sterowania procesem i wczesnego wykrywania odstępstw, GC okresowo do weryfikacji i rozliczeń handlowych. Takie podejście obniża koszty OPEX o 60–70% przy zachowaniu zgodności z normą PN-EN 16723-1 [8] oraz PN-EN 16723-2 [9].

7. Literatura

[1] Rosłonek G., Bojewski J., Sobczak M., Nadzór metrologiczny nad laboratoryjnymi chromatografami gazowymi do kontroli jakości gazu ziemnego, *Analityka*, 2005, nr 3, 27-33.

[2] Rosłonek, G., Bojewski, J., & Sobczak, M. (2005). Metoda poprawy precyzji analiz chromatograficznych gazów ziemnych poprzez kontrolowany sposób wprowadzania próbki na analizator w warunkach "barostatycznych". *Gaz Woda i Technika Sanitarna*, (4). 78(4), 7-9.

[3] Rosłonek, G. (2025). *Technologie korelacyjne w szybkiej analizie podstawowych parametrów paliw gazowych, w tym LNG i bioLNG*. Warsztaty FlowMeTech, Spała, 17–19 września 2025

[4] Ulbig, P., & Herbstritt, B. (2004). Correlation of physical properties: An alternative to gas chromatography? PTB-Mitteilungen, 114.

[5] Frobin, S., & Schley, P. (2011). *Inferential determination of natural gas quality parameters*. International Gas Union Research Conference (IGRC), Seoul, South Korea.

[6] Rieth, C. (2017). *Energy determination of natural gas and biomethane using correlative methods*. 9th International Gas Analysis Symposium (GAS Analysis), Rotterdam, Netherlands.

[7] Polski Komitet Normalizacyjny. (2016). PN-EN ISO 6976:2016. *Gaz ziemny – Obliczanie wartości kalorycznych, gęstości, gęstości względnej i liczby Wobbego na podstawie składu.*

[8] Polski Komitet Normalizacyjny. (2016). PN-EN 16723-1:2016. *Gaz ziemny i biometan do stosowania w transporcie oraz do wprowadzania do sieci gazu ziemnego – Część 1: Specyfikacja dla gazu wprowadzanego do sieci gazu ziemnego.*

[9] Polski Komitet Normalizacyjny. (2017). PN-EN 16723-2:2017. *Gaz ziemny i biometan do stosowania w transporcie oraz do wprowadzania do sieci gazu ziemnego – Część 2: Specyfikacja paliw do pojazdów samochodowych.*

Wydział Inżynierii Środowiska
Politechniki Warszawskiej

Studia podyplomowe

INŻYNIERIA GAZOWNICTWA

TEMATYKA STUDIÓW

- Nowoczesne techniki i metody zarządzania w gazownictwie
- Komputerowe modelowanie sieci gazowych
- Transport i magazynowanie, dystrybucja i użytkowanie gazu, wodoru i biometanu oraz ich mieszanin
- Wychwytywanie i transport CO_2
- Techniki pomiarowe, zagadnienia ekonomiczne i prawne

FORMA STUDIÓW

Studia w całości prowadzone są w trybie stacjonarnym – zajęcia prowadzone są w Gmachu Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej.

Zajęcia odbywają się w weekendy zjazdowe w godzinach:

- sobota 12:00 - 20:00
- niedziela 8:00 – 16:00

Studia są dwusemestralne. Kończą się egzaminami pisemnymi. W drugim semestrze Studenci wykonują pracę projektową.

WYKŁADOWCY

Wykładowcy to pracownicy Politechniki Warszawskiej, Politechniki Śląskiej i Politechniki Gdańskiej oraz przedstawiciele firm gazowniczych lub podmiotów współpracujących z sektorem gazownictwa.

MODUŁY TEMATYCZNE

Program studiów obejmuje dziesięć modułów tematycznych:

I. Projektowanie sieci gazowych
II. Komputerowe metody obliczania sieci gazowych
III. Techniczne problemy przesyłu i magazynowania gazu
IV. Techniczne problemy dystrybucji i użytkowania gazu
V. Nowe technologie w procesie dekarbonizacji gazownictwa
VI. Gospodarka wodorowa (wytwarzanie, transport, magazynowanie)
VII. Gospodarka biometanowa (biogaz, biometan, transport biometanu)
VIII. Problemy transportu siecią gazową mieszanin gazu ziemnego z wodorem / biometanem
IX. Problemy rozliczania dostarczanych odbiorcom mieszanin gazu ziemnego z wodorem / biometanem
X. Technologie wychwytu oraz transportu rurociągowego dwutlenku węgla

WIZYTY STUDYJNE

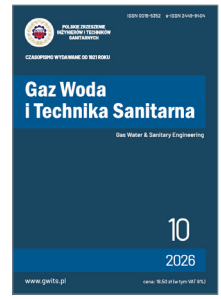
Przewidziane są wizyty studyjne w: zakładzie produkcji biogazu, zakładzie produkcji zewnętrznych i wewnętrznych izolacji antykorozyjnych rur stalowych, terminalu LNG, kawernowym magazynie gazu oraz w zakładzie produkcji wodoru.

Informacje i rekrutacja: irk.pw.edu.pl

DOI: 10.65545/GWITS.2026.10.05

POLSKIE ZRZESZENIE INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW SANITARNYCH

Gaz Woda i Technika Sanitarna
Gas Water & Sanitary Engineering



Artykuł dostępny / Open Access: www.gwits.pl

Potential directions for the development of hydrogen energy in Poland

Potencjalne kierunki rozwoju energetyki wodorowej w Polsce

Arkadiusz Dyjas[1], Michał Kwiczała[1], Jakub Lisiecki[1], Kamil Meyer[1], Martyna Rykowska[1], Kacper Skupiński[1], Julia Stasiak[1]

[1] *Faculty of Electrical and Control Engineering, Gdansk University of Technology*
* *Correspondence / Kontakt: 180302@student.pg.edu.pl*

Abstract:
Hydrogen exhibits considerable potential in supporting the lowemission transition of the Polish district heating sector. A literature review indicates that steam methane reforming remains the most commonly applied hydrogen production technology. Poland has substantial coal resources, allowing for coal gasification as a hydrogen production route; however, this option requires the deployment of additional technologies aimed at reducing greenhouse gas emissions. The study includes an analysis of the hydrogen production potential in Poland, an evaluation of technologies for hydrogen utilisation in district heating, and the identification of technical and technological solutions that could be implemented in the domestic district heating sector.
Keywords: hydrogen, district heating, environmental sustainability

Streszczenie:
Wodór wykazuje znaczny potencjał we wspieraniu niskoemisyjnej transformacji polskiego sektora ciepłownictwa systemowego. Przegląd literatury wskazuje, że reforming parowy metanu pozostaje najczęściej stosowaną technologią wytwarzania wodoru. Polska dysponuje znacznymi zasobami węgla, co umożliwia wykorzystanie zgazowania węgla jako metody produkcji wodoru; opcja ta wymaga jednak wdrożenia dodatkowych technologii mających na celu ograniczenie emisji gazów cieplarnianych. Opracowanie obejmuje analizę potencjału produkcji wodoru w Polsce, ocenę technologii wykorzystania wodoru w ciepłownictwie systemowym oraz identyfikację rozwiązań technicznych i technologicznych, które mogłyby zostać wdrożone w krajowym sektorze ciepłowniczym.
Słowa kluczowe: wodór, system ciepłowniczy, zrównoważony środowiskowo

1. Introduction

The extraction and utilization of energy from fossil fuels contribute significantly to greenhouse gas emissions, leading to increasingly rapid climate change worldwide. Global energy demand continues to grow; however, efforts are being made to reduce the consumption of fossil fuels in order to make energy generation less harmful to the climate and the natural environment. The comprehensive transformation of energy production, distribution, and consumption, based on replacing high-emission energy sources with low-emission alternatives, is referred to as the energy transition. The energy transition also encompasses the modernisation of power grids, changes in consumer behaviour, and the development of new technologies, such as energy storage systems and hydrogen technologies.

In Poland, the foundation of the energy transition is the national strategy *Energy Policy of Poland until 2040* (PEP2040), which aims to ensure energy security while maintaining economic competitiveness, improving energy efficiency, and reducing the environmental impact of the energy sector, taking into account the optimal utilisation of domestic energy resources [1]. The development of hydrogen technologies represents a promising pathway for achieving the objectives of PEP2040. Owing to its high calorific value, hydrogen has significant potential to support the low-emission transformation of the energy sector. It is characterised by a lower heating value of approximately 120 MJ/kg and a specific energy of about 33 Wh/g. To date, hydrogen has been primarily used as a component of rocket fuels, in fuel cells, and within the chemical industry. However, with ongoing advances in hydrogen production technologies, the range

Artykuł / Article: Nadesłany / Received: 21.09.2026; Zrecenzowany / Revised: 20.10.2026; Zaakceptowany / Accepted: 25.10.2026; Opublikowany / Published: 26.10.2026

Prawa autorskie: © 2026 autorów. Licencjobiorca: PZITS. Artykuł w otwartym dostępie na licencji Creative Commons CC BY 4.0. / Copyright: © 2026 by the authors. Licensee PZITS. This article is an open access under the Creative Commons CC BY 4.0 license.

of its potential applications is expanding, including its utilisation in the energy sector. The document defining the main objectives of the hydrogen economy in Poland and the actions required to achieve them is the *Polish Hydrogen Strategy to 2030 with a Perspective to 2040* (PHS). The primary goal of the PHS is to establish and develop a domestic hydrogen economy to support the achievement of climate neutrality while maintaining the competitiveness of the Polish economy [2]. The implementation of the PHS objectives is expected to significantly accelerate the decarbonisation of key sectors in Poland. Moreover, it will enable environmentally sustainable, large-scale hydrogen production and support the gradual development of a zero-emission economy in Poland.

2. Technologies for hydrogen production

2.1. Steam reforming of natural gas

Steam methane reforming (SMR) is the most widely applied and cost-effective method of hydrogen production. The process is based on the reaction of methane with steam to produce hydrogen. In the presence of a metallic catalyst and at sufficiently high temperatures, typically in the range of 700–1100 °C, steam reacts with methane, resulting in a synthesis gas composed primarily of hydrogen and carbon monoxide (see fig. 1). To date, SMR remains one of the most economically viable hydrogen production routes; however, its principal drawback is the associated emission of carbon dioxide. Consequently, there is a need to equip SMR units with carbon capture and storage (CCS) technologies, which can reduce carbon dioxide emissions by up to approximately 80%.

SMR units are characterised by installed capacities of up to 300 MW, efficiencies in the range of 70–80%, and relatively long operational lifetimes of up to 30 years. Capital investment costs are typically in the range of 400– 600 USD/kW [3].

2.2. Coal gasification

Coal gasification, also referred to as coal gasification processes, is the conversion of coal (hard coal or lignite) into a gas containing hydrogen. Compared to steam methane reforming, coal gasification is a more technologically advanced and, consequently, more capitalintensive process. Poland is not characterised by abundant natural gas resources; however, it possesses significant deposits of hard coal. Nevertheless, for this method to become economically viable, it is necessary to balance projected coal surpluses in Poland over a time horizon of at least 20 years [4].

The efficiency of coal gasification technology is approximately 60%. The highest reported coal gasification capacity has reached approximately 250 MW.

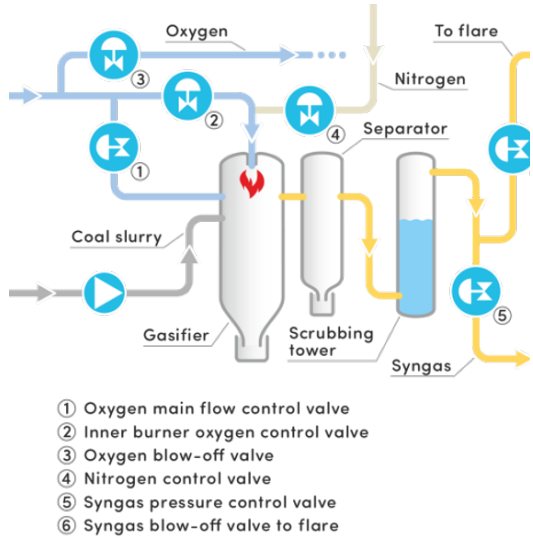


Fig. 1. Coal gasification scheme [5]
Rys. 1. Instalacja gazyfikacji węgla [5]

2.3. Water electrolysis

Hydrogen can be produced via water electrolysis, a chemical process in which the application of an electric potential to water results in its decomposition into hydrogen and oxygen (see fig. 2). The key component of the electrolysis process is the electrolyser, which consists of multiple cells connected in series and/or in parallel, converting water into hydrogen and oxygen. In hydrogen technologies, oxygen is typically considered a by-product; it is generally not stored and is instead vented to the atmosphere.

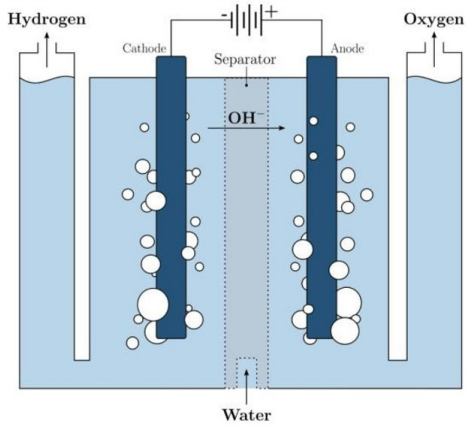


Fig. 2. Scheme of electrolysis cell [6]
Rys. 2. Schemat elektrolizera [6]

Three main types of electrolysers can be distinguished:

- **Alkaline electrolysers (AEL)**, which consist of two electrodes separated by a gas-tight diaphragm that prevents the mixing of the produced gases. The entire system is immersed in an electrolyte solution, typically potassium hydroxide (KOH) or aqueous solutions such as sodium hydroxide (NaOH) or sodium chloride (NaCl).
- **Polymer electrolyte membrane electrolysers** (PEM), which are composed of two electrodes and a solid electrolyte in the form of a thin polymer membrane, most commonly Nafion.

- **High-temperature solid oxide electrolysers** (SOE), which consist of two electrodes and a membrane typically made of yttria-stabilised zirconia (YSZ), allowing the transport of negatively charged oxygen ions only.

The type of electrolyser determines the economic viability of hydrogen electrolysis, as each of the above technologies differs in terms of capacity, capital cost, and technology maturity. Alkaline electrolyser systems are characterised by capacities of up to 150 MW and efficiencies in the range of 65–82%. Capital investment costs typically range from 850 to 1500 USD/kW. In the case of PEM electrolysers, installed capacities usually range from approximately 150 kW to 1 MW, efficiencies are in the range of 65–78%, and capital costs amount to 1500–3800 USD/kW. A direct comparison of SOE electrolysers with the other types is currently not feasible due to the lack of commercial-scale industrial deployment.

2.4. Biological hydrogen production technologies

The term *biological hydrogen production technologies* refers to a group of technologies based on biological processes in which hydrogen is produced either as a primary product or as a by-product of biological processes such as photosynthesis or fermentation. These technologies are characterised by relatively low hydrogen yields; nevertheless, they continue to be developed due to their zero-emission character, waste-free operation, and environmental friendliness. Despite these advantages, their potential is currently considered to be greater for smallscale applications rather than for industrial-scale deployment.

3. Hydrogen storage technologies

3.1. Compressed hydrogen storage

Compressed hydrogen gas (CHG) technology is currently the most widely applied method of hydrogen storage. Hydrogen can be stored in steel or composite tanks, as well as in underground structures such as post-mining shafts or geological formations (e.g. salt caverns), where the gas is compressed to pressures typically ranging from 100 to 800 bar [7].

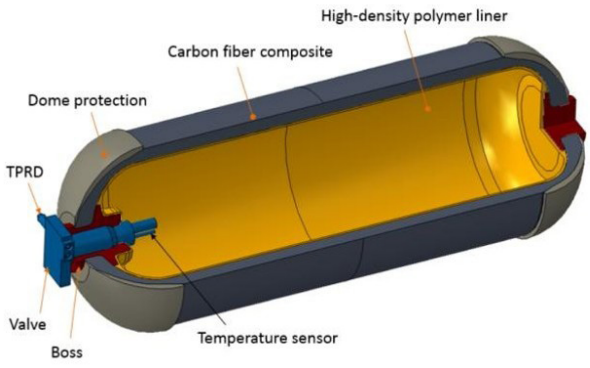


Fig. 3. Pressurised hydrogen storage tank [8]
Rys. 3. Zbiornik ciśnieniowy do magazynowania wodoru [8]

An increase in pressure is proportional to an increase in energy density—doubling the pressure results in an approximately doubled amount of stored energy (see fig. 3). The compression pressure depends on the specific application: in underground storage at ambient temperature, pressures in the range of 20–180 bar are typically applied; in heavy-duty transport, 350–500 bar; in fuel cell electric vehicles, up to 700 bar; and in stationary applications, up to 800 bar [9].

Typical capital investment costs amount to 400–700 USD per kilogram of storage capacity, while operational costs are approximately 0.4 USD/kg. The levelised cost of hydrogen storage is estimated to be in the range of 0.16–0.5 USD/kg [10].

3.2. Liquid hydrogen storage

Liquid hydrogen storage involves storing hydrogen at temperatures below its critical temperature of −240.18°C, typically around −250°C (20 K). This enables a higher volumetric storage density compared to compressed hydrogen, amounting to approximately 0.07 kg/L versus 0.03 kg/L for compressed storage at 700 bar [9].

This technology faces challenges related to the high costs of cryogenic cooling equipment and the inability to actively cool the liquid due to hydrogen's very low boiling point. Consequently, efforts are focused primarily on achieving the highest possible level of thermal insulation. For small storage tanks with a volume of approximately 60 m^3, boiloff losses are on the order of 0.4% of stored hydrogen per day, whereas for large tanks with a capacity of around 3000 m^3, boil-off losses decrease to approximately 0.07% per day [11].

Capital investment costs range from 30 to 105 USD/kg of storage capacity, operational energy requirements amount to 6.8–15 kWh/kg, and the levelised cost of storage is estimated at approximately 0.06–0.12 USD/kg [10].

3.3. Solid-state hydrogen storage

In this technology, the ability of metals, alloys, and intermetallic compounds to absorb hydrogen is utilised. This enables the achievement of high energy density under near-ambient conditions of pressure and temperature. A representative example is iron–titanium alloy (FeTi), which exhibits a relatively narrow hysteresis and low absorption pressure, making it a favourable material for cyclic hydrogen storage applications [9].

Hydrogen storage can be carried out at ambient temperature; however, the chemical absorption reaction is typically exothermic and may generate significant amounts of heat, thereby requiring the use of cooling systems. Conversely, hydrogen desorption requires heating of the storage material [9].

Capital investment costs largely depend on current metal prices; under favourable conditions, they can be estimated at approximately 20 USD/kg for the storage material alone. Depending on the metal used, levelised storage costs currently achievable are in the range of 0.38–0.45 USD/kWh, which may begin to make this technology competitive with alternative hydrogen storage methods [12].

DOI: 10.65545/GWITS.2026.10.05

4. Hydrogen transport technologies

4.1. Modernisation of the existing gas pipeline network

In order to enable the implementation of hydrogen technologies in Poland, the hydrogen transport aspect must also be analysed. A significant share (approximately 30%) of the Polish gas pipeline network was constructed more than 40 years ago. The older the pipelines, the less efficient gas transmission becomes due to increased internal surface roughness, corrosion processes, and higher leakage rates. This indicates that the existing gas pipeline infrastructure requires modernisation. Pipelines constructed between 25 and 40 years ago may also require refurbishment due to changes in construction standards over recent decades. Modern pipelines are equipped with external insulating coatings that reduce the risk of corrosion, which older pipelines often lack.

Consequently, the modernisation of the gas pipeline network is essential for the implementation of hydrogen technologies in Poland. Such modernisation should be carried out in accordance with the latest technological solutions, in order to minimise energy losses associated with gas transmission. Furthermore, the Polish transmission network is divided into sections determined by operating pressure levels. The vast majority of pipelines (approximately 85%) operate at pressures in the range of 2.5–6.3 MPa. This network configuration necessitates pressure adjustments to match operating conditions, resulting in significant energy losses. Currently, the most economically viable scenario involves the construction of pipelines designed to operate at a maximum working pressure of 8.4 MPa. This enables an increase in the transmission capacity of a pipeline of a given diameter by approximately 40%, as illustrated in Fig. 4.

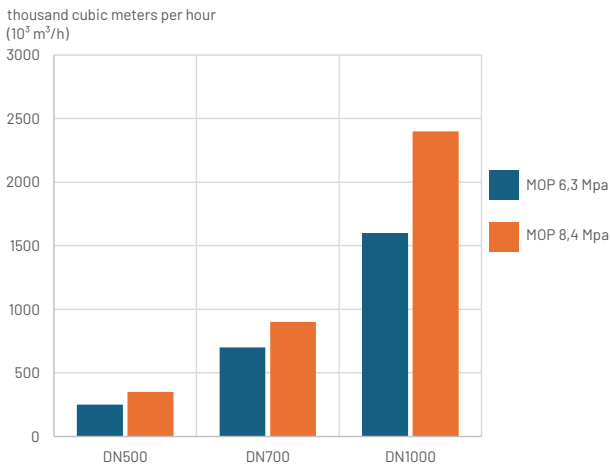


Fig. 4. Comparison of gas pipelines transmission capacity with diameters DN500 – DN 1000 with different pressure supply: 6,3 MPa, 8,4 MPa [9]

Rys. 4. Porównanie przepustowości gazociągów o średnicach DN500 – DN1000 przy różnych ciśnieniach zasilania: 6,3 MPa, 8,4 MPa [9]

Therefore, ageing gas pipelines should be progressively replaced with new ones, and efforts should be made to standardise the transmission network with respect to operating pressures at a level of 8.4 MPa. Planned investments should be optimally designed, with the selection of solutions that are economically viable, energyefficient, and compliant with applicable technical requirements. In addition, these solutions must ensure the security of gas supply.

For hydrogen-based energy utilisation to become economically feasible, the refurbishment and expansion of the transmission network are indispensable. Under the current conditions, hydrogen transport is associated with substantial losses, both in terms of energy and cost. Moreover, the existing system structure prevents the optimal distribution of hydrogen across the country.

4.2. Control and operation of the transmission system

The modernisation of the transmission network and the standardisation of operating pressure to 8.4 MPa enable the supply of individual regions of the country from multiple directions and lead to the emergence of new gas flow paths within the system. As a result, system flexibility is enhanced, which in turn improves stable operation under both normal operating conditions and emergency states. It also enables the optimisation of compressor station operation, as gas can be supplied to compressor stations from different directions. Furthermore, it allows a larger portion of the transmission system to be supplied from a single compressor station, thereby reducing the number of compressor stations required to operate simultaneously. Improvements in the quality and conditions of transmission system control have a decisive impact on the economic feasibility of implementing hydrogen technologies at the national level.

5. Barriers

5.1. Economical barriers

From the perspective of Poland, the most economically viable hydrogen production methods are steam methane reforming and coal gasification. Compared to alternative pathways, these technologies are significantly more mature, and their industrial-scale deployment has been more thoroughly investigated, resulting in substantially lower overall costs than those associated with other hydrogen production technologies. However, due to their inherent greenhouse gas emissions, these methods cannot be readily classified as green energy sources. Over the coming decades, there is therefore a need to develop alternative production pathways, in particular water electrolysis, which is considered the technology with the greatest potential to meet the objectives of the energy strategies of both Poland and the European Union.

Unfortunately, the development of new technologies is associated with high costs, primarily due to the need for further optimisation and the implementation of large-scale demonstration and deployment projects. The current EU subsidy framework and the level of funding allocated from the Polish state budget for these purposes may prove insufficient to meet market demand.

An additional economic barrier is the necessity to modernise existing gas networks to enable the transmission of hydrogen–natural gas blends, as well as to develop adequate infrastructure for efficient hydrogen storage. If the costs associated with hydrogen technologies are not stabilised, the hydrogen economy may fail to develop at a pace sufficient to compete with other low-emission energy sources.

5.2. Regulatory barriers

The primary source of regulation for the energy sector in Poland is the Energy Law Act, which defines the principles of shaping the national energy policy, the rules and conditions for the supply and use of fuels and energy, including heat, as well as the operation of energy enterprises, and specifies the authorities competent in matters related to fuel and energy management [13]. However, this Act does not cover regulations concerning the extraction of fossil fuels or their underground storage. The Regulation of the Minister of Climate and Environment of 6 August 2022 amending the regulation on the detailed conditions for the functioning of the gas system [14] constitutes a key regulatory framework governing the participation of various entities in the gas system, introducing connection conditions and defining the terms for the provision of gas services.

The regulation also introduces guidelines for hydrogen blending into natural gas in Poland. It assumes a hydrogen admixture level of 0.0% mol/mol, while allowing for a potential increase up to 10% mol/mol. However, an increased hydrogen content is conditional upon the adaptation of metering and billing systems—both installations and networks—to enable the transmission of gaseous fuels with higher hydrogen concentrations in a manner that ensures the safety of end-user equipment.

Strategic documents such as the *Energy Policy of Poland until 2040* (PEP2040) [1] and the *Polish Hydrogen Strategy to 2030 with a Perspective to 2040* [2] introduce provisions defining issues related to the hydrogen economy in Poland, as well as specific objectives and development plans. These documents outline efforts aimed at the deployment of hydrogen technologies in Poland, including the safe transmission, distribution, and storage of hydrogen. They also address the establishment of a stable regulatory environment. As such, these strategic frameworks constitute significant support for the development of hydrogen technologies in Poland.

In order to effectively enable the use of hydrogen as an alternative fuel, it would be necessary to consider the introduction of new legal regulations facilitating the efficient deployment of hydrogen technologies.

Nevertheless, current national and EU-level trends indicate that hydrogen is becoming an increasingly attractive energy carrier, and that regulatory barriers—although present—do not pose as significant a challenge as economic factors, which remain the primary barrier to the development of hydrogen technologies in Poland.

5.3. Organisation barriers

In order to effectively implement hydrogen technologies in Poland, it is necessary to further develop hydrogen storage and transport technologies. Hydrogen storage solutions are associated with additional costs related to the introduction of a hydrogen economy in Poland, thereby exacerbating economic challenges. A similar issue applies to hydrogen transport, as it requires the modernisation of the gas pipeline network in Poland to enable hydrogen distribution and delivery to end users. Furthermore, the construction of new pipelines is also necessary to support this transition. Both hydrogen storage and transport intensify the economic challenge, as they generate additional capital and operational costs.

6. Conclusions and recomendations

6.1. Hydrogen production

Hydrogen-based energy sources may play a significant role in the transformation of the Polish energy sector. The implementation of the *Polish Hydrogen Strategy* (PHS) [2] is oriented towards the development of a hydrogen economy as one of the key elements in achieving climate neutrality. It should be emphasised, however, that investments in hydrogen technologies require substantial financial outlays necessary for the development of a new segment of the energy sector.

Among the analysed hydrogen production technologies, steam methane reforming and coal gasification stand out as solutions that can be implemented at an industrial scale. Steam methane reforming, however, requires access to substantial natural gas resources, which may constitute a significant constraint under Polish conditions. In contrast, hydrogen production via coal gasification enables the utilisation of domestic hard coal resources, thereby enhancing resource security while simultaneously maintaining dependence on fossil fuels. Neither of these technologies can be considered fully environmentally sustainable, as carbon dioxide is an inherent by-product of hydrogen production processes. Mitigating their environmental impact requires the application of carbon capture and storage (CCS) systems. In the case of steam methane reforming units, even with the application of capture systems, approximately 20% of the carbon dioxide generated in the process may still be emitted to the atmosphere, resulting in a significant carbon footprint [2].

The lowest-emission solution remains hydrogen production via water electrolysis, particularly when powered by renewable energy sources. However, this technology is not yet sufficiently mature or cost-effective to enable widespread industrial-scale deployment. Further research and technological development, as well as the gradual scaling-up of electrolytic installation capacities, are required for electrolysis-based hydrogen production to form the foundation of a zero-emission hydrogen economy in Poland.

From the perspective of Poland's energy transition, the adoption of a phased approach to the development of the hydrogen economy appears justified. In the short term, technologies based on steam methane reforming and coal gasification equipped with CCS installations may serve as transitional solutions. The efficiency of these methods is estimated at 70–75% [9], which may facilitate the development of hydrogen infrastructure and the accumulation of operational experience. At the same time, intensifying research, development, and investment in water electrolysis technologies should remain a priority. In the long term, this represents the only viable pathway to achieving genuine climate neutrality of the hydrogen sector in Poland, in line with the objectives set out in the *Polish Hydrogen Strategy* [2].

6.2. Hydrogen storage technologies

The development of energy storage systems is a key component of optimised energy systems, particularly in the context of the increasing share of renewable energy sources. In the case of hydrogen, the selection of a storage technology depends on storage conditions, the intended application, system scale, and operating mode.

DOI: 10.65545/GWITS.2026.10.05

Compressed gaseous hydrogen storage is characterised by relatively low unit costs; however, its application is mainly justified for short-term storage. Due to its low volumetric energy density and the requirement for high operating pressures, this technology primarily serves a buffering function in local energy systems and industrial installations. One form of compressed hydrogen storage involves the use of salt caverns (post-mining shafts). This storage method is considered seasonal, as it enables hydrogen storage over periods of several months or even years, as illustrated in Fig. 5 [15]. The utilisation of salt caverns represents a promising solution for large-scale, industrial hydrogen storage.

Liquid hydrogen storage enables an increase in energy density but is associated with high energy demand for cooling processes and elevated storage costs. Consequently, this technology is mainly applied in short-term storage systems where minimisation of storage volume is of critical importance [15].

Solid-state hydrogen storage, implemented using metals, allows for safe hydrogen storage at low operating pressures while achieving relatively high volumetric energy density. This technology is characterised by increased capital investment costs. Due to the high mass of the storage system and limited scalability, it is primarily suitable as a buffering solution for small- and medium-scale applications. Hydrogen stored using this technology can be retained over long periods, ranging from months to years.

Based on the conducted analysis, it can be concluded that hydrogen storage technologies should be selected on a case-by-case basis, taking into account system scale and the nature of demand. Gaseous and liquid hydrogen storage should primarily serve short-term storage functions, whereas material-based storage technologies may provide complementary buffering solutions. Compressed hydrogen storage in salt caverns represents a seasonal solution that enables long-term storage of hydrogen.

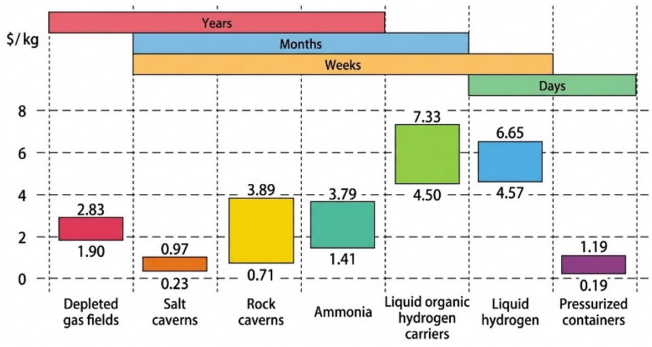


Fig. 5. Comparison of hydrogen storage technology costs at different time scales [15]

Rys. 5. Porównanie kosztów technologii magazynowania wodoru w różnych horyzontach czasowych [15]

6.3. General conclusions

The development of a hydrogen economy is associated with significant economic challenges, which currently constitute one of the main barriers to its widespread adoption. Investments in hydrogen production technologies, storage solutions, and hydrogen infrastructure are characterised by high capital expenditures, while the unit cost of hydrogen remains substantial. In the absence of cost stabilisation and predictable support mechanisms, the hydrogen economy has limited capacity for growth. Research conducted in recent years clearly indicates that despite observed reductions in electrolyser costs and ongoing technological progress, the overall cost of hydrogen production and storage remains high. As a result, the pace of hydrogen economy development is slower than assumed in strategic scenarios.

At the national level, the creation of a stable regulatory framework is of key importance, as it would enable the gradual reduction of hydrogen technology costs through economies of scale and long-term investment planning. It is necessary to introduce regulations that support the development of hydrogen storage facilities and the integration of hydrogen into the district heating sector, thereby contributing to the decarbonisation process. Without the parallel implementation of financial support mechanisms and the development of technical infrastructure, the hydrogen economy may remain a niche solution with limited relevance to the energy transition.

In conclusion, hydrogen has significant potential as an element of the long-term energy transition; however, its development requires a realistic and phased approach. High investment costs currently represent the primary barrier to the widespread deployment of hydrogen technologies.

This paper was prepared under supervision of Professor Waldemar Kamrat – Faculty of Electrical Engineering and Automation – Gdansk University of Technology

7. Bibliography

[1] Ministerstwo Klimatu i Środowiska. (2021). *Polityka energetyczna Polski do 2040 r. (PEP2040)*

[2] Ministerstwo Klimatu i Środowiska. (2021). *Polska Strategia Wodorowa do roku 2030 z perspektywą do roku 2040 r. (PSW)*

[3] Bartosik, M., Kamrat, W., Kaźmierkowski, M., i in. (2016). *Energia dla pokoleń. Raport Kongresu Elektryki Polskiej.* Stowarzyszenie Elektryków Polskich.

[4] Wiech, J. (b.d.). *Ekspert: Zgazowanie węgla powinno być w strategii Polski. Obecnie liderem tej technologii są Chiny.* Energetyka24. https://energetyka24.com/gornictwo/ekspertzgazowanie-wegla-powinno-byc-w-strategii-polskiobecnie-liderem-tej-technologii-sa-chiny-wywiad Access: 22.10.2025

[5] ARCA. (b.d.). *Coal gasification.* https://arcavalve.com/en/industrien/coal-gasification/coalgasification Access: 13.01.2026

[6] Stargate Hydrogen. (b.d.). *Exploring the basics of hydrogen electrolysis/water electrolysis.* https://stargatehydrogen.com/blog/basicsof-hydrogen-electrolysis Access: 22.10.2025

[7] American Society of Mechanical Engineers. (1992). *ASME B31.4: Liquid transportation systems for hydrocarbons, liquid petroleum gas, anhydrous ammonia, and alcohols.*

[8] U.S. Department of Energy. (b.d.). *Physical hydrogen storage.* https://www.energy.gov/eere/fuelcells/physicalhydrogen-storage Access: 12.12.2025

[9] Kamrat, W. (2022). *Gospodarka energetyczna w warunkach rynkowych*. Wydawnictwo Naukowe PWN.

[10] Burke, A., Ogden, J. M., Fulton, L., & Cerniauskas, S. (2024). *Hydrogen storage and transport: Technologies and costs (Research Report UCD-ITS-RR-24-17).* Institute of Transportation Studies, University of California, Davis.

[11] Morales-Ospino, R., Celzard, A., & Fierro, V. (2023). Strategies to recover and minimize boil-off losses during liquid hydrogen storage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 182, 113360. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113360

[12] Wang, X., Peng, P., Witman, M. D., Stavila, V., Allendorf, M. D., & Breunig, H. M. (2025). Technoeconomic Insights into Metal Hydrides for Stationary Hydrogen Storage. *Advanced Science*, 12(21), e2415736. https://doi.org/10.1002/advs.202415736

[13] *Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne* (Dz. U. 1997 Nr 54 poz. 348 ze zm.)

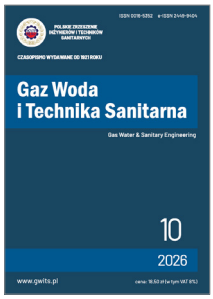
[14] *Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 6 sierpnia 2022 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu gazowego* (Dz. U. 2022 poz. 1899 ze zm.)

[15] Cao, Y., Yang, Y., Zhao, X., & Li, Q. (2021). A review of Seasonal Hydrogen Storage Multi-Energy Systems based on temporal and spatial characteristics. *Journal of Renewable Materials*, 9(11), 1823–1842. https://doi.org/10.32604/jrm.2021.015722

DOI: 10.65545/GWITS.2026.10.06

POLSKIE ZRZESZENIE INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW SANITARNYCH

Gaz Woda i Technika Sanitarna
Gas Water & Sanitary Engineering



Artykuł dostępny / Open Access: www.gwits.pl

Od pomiaru do dowodu, czyli rola świadectwa wzorcowania w obliczu bezkrytycznego zaufania do techniki nie tylko w branży sanitarnej

From measurement to evidence: the role of the calibration certificate in the face of uncritical trust in technology, not only in the sanitary industry

Witold Paleczek[1]*

[1] *Wydział Budownictwa, Politechnika Częstochowska*
* *Kontakt / Correspondence: witold.paleczek@pcz.pl*

Streszczenie:
Przedstawiono znaczenie dokumentacji metrologicznej aparatury pomiarowej stosowanej w technice sanitarnej, instalacyjnej oraz w obszarach bezpieczeństwa powszechnego. Omówiono rolę świadectw wzorcowania, paszportów technicznych i kontroli okresowych. Wykazano, że wynik pomiaru uzyskany przy użyciu urządzenia pozbawionego aktualnej dokumentacji metrologicznej może utracić walor wiarygodnego dowodu technicznego. Przedstawiono konsekwencje stosowania przyrządów niewzorcowanych oraz wskazano, że nawet najbardziej zaawansowana aparatura nie zastępuje wiedzy użytkownika i krytycznej oceny uzyskanego wyniku.
Słowa kluczowe: świadectwo wzorcowania, spójność pomiarowa, tolerancja, wiarygodność wyniku, interpretacja pomiaru

Abstract:
The paper presents the importance of metrological documentation for measuring instruments used in sanitary engineering, installation technology, and public safety applications. The role of calibration certificates, technical passports, and periodic inspections is discussed. It is demonstrated that a measurement result obtained using an instrument lacking valid metrological documentation may lose its value as reliable technical evidence. The consequences of using uncalibrated instruments are presented, and it is emphasized that even the most advanced measuring equipment cannot replace the user's expertise and critical evaluation of the obtained results.
Keywords: calibration certificate, metrological traceability, tolerance, reliability of result, measurement interpretation

1. Wstęp

Współczesna technika dysponuje aparaturą pomiarową o dokładności i powtarzalności, które jeszcze kilkadziesiąt lat temu były trudne do osiągnięcia w praktyce eksploatacyjnej. Postęp ten objął niemal wszystkie dziedziny życia gospodarczego, od techniki sanitarnej i gazowniczej, poprzez elektroenergetykę i geodezję, aż po diagnostykę medyczną. Wraz ze wzrostem możliwości technicznych urządzeń wzrosła również odpowiedzialność użytkownika za właściwą interpretację uzyskiwanych wyników.

Doświadczenie praktyczne pokazuje, że źródłem błędnych decyzji nie zawsze jest uszkodzenie przyrządu lub wada metody pomiarowej. W wielu przypadkach przyczyną nieprawidłowych wniosków okazuje się nadmierne zaufanie do wskazań urządzenia przy jednoczesnym pomijaniu ograniczeń metody pomiarowej, warunków wykonania pomiaru oraz wiedzy niezbędnej do prawidłowej interpretacji wyniku. Nawet wynik uzyskany przez sprawny przyrząd może zostać niewłaściwie wykorzystany, jeżeli nie zostanie poddany krytycznej analizie.

Szczególnego znaczenia nabiera zatem pytanie nie tylko o poprawność samego pomiaru, lecz również o możliwość uznania jego wyniku za wiarygodny dowód techniczny. Warunkiem takiej wiarygodności jest udokumentowane potwierdzenie właściwości metrologicznych stosowanego wyposażenia pomiarowego, realizowane między innymi poprzez wzorcowanie oraz zachowanie spójności metrologicznej.

Artykuł przedstawia znaczenie świadectwa wzorcowania i dokumentacji techniczno-metrologicznej w procesie budowania wartości dowodowej wyniku pomiaru. Wskazano również, że nawet najbardziej rygorystyczne procedury metrologiczne nie eliminują konieczności posiadania przez użytkownika odpowiedniej wiedzy technicznej oraz zdolności krytycznej oceny

Artykuł / Article: Nadesłany / Received: 7.10.2026; Zrecenzowany / Revised: 10.10.2026; Zaakceptowany / Accepted: 18.10.2026; Opublikowany / Published: 26.10.2026

Prawa autorskie: © 2026 autorów. Licencjobiorca: PZITS. Artykuł w otwartym dostępie na licencji Creative Commons CC BY 4.0. / Copyright: © 2026 by the authors. Licensee PZITS. This article is an open access under the Creative Commons CC BY 4.0 license.

uzyskanego wyniku. Można sformułować następującą triadę: przyrząd może być sprawny, dokumentacja może być prawidłowa, a decyzja może być błędna.

2. Wprowadzenie

Celem artykułu jest przedstawienie znaczenia świadectwa wzorcowania oraz dokumentacji techniczno-metrologicznej urządzeń pomiarowych stosowanych przede wszystkim w branży gazowniczej, wodociągowej i sanitarnej, a także wykazanie, że wiarygodność wyniku pomiaru jest nierozerwalnie związana z udokumentowanym potwierdzeniem właściwości metrologicznych stosowanego wyposażenia.

Współczesna gospodarka techniczna opiera swoje decyzje na wynikach pomiarów. Dotyczy to zarówno branży gazowniczej, wodociągowej i sanitarnej, jak również energetyki, geodezji, przemysłu czy medycyny. W każdej z tych dziedzin poprawność rozpoznania stanu technicznego obiektu, bezpieczeństwa użytkowania instalacji lub oceny zagrożenia zależy od wiarygodności wskazań przyrządów pomiarowych. Nawet niewielki błąd pomiaru może prowadzić do błędnych decyzji technicznych, ekonomicznych lub prawnych.

Szczególnego znaczenia zagadnienie to nabiera w branży gazowej i sanitarnej, gdzie odczyty wykonywane za pomocą analizatorów spalin, detektorów gazów, mierników stężenia tlenku węgla, przetworników ciśnienia czy wodomierzy stanowią podstawę oceny bezpieczeństwa eksploatacji instalacji. Detektory gazów wykorzystujące sensory elektrochemiczne podlegają naturalnym procesom starzenia i zmian parametrów metrologicznych. Bez okresowego wzorcowania oraz potwierdzenia ich właściwości za pomocą odpowiedniej dokumentacji metrologicznej mogą generować wyniki odbiegające od rzeczywistych wartości. W konsekwencji może dojść zarówno do niewykrycia stanu zagrożenia, jak i do nieuzasadnionego wyłączenia urządzeń lub instalacji z eksploatacji.

Podobny problem występuje w innych dziedzinach techniki. W elektroenergetyce od poprawności wskazań mierników zależy ocena skuteczności ochrony przeciwporażeniowej, natomiast w geodezji precyzja pomiarów GNSS ma bezpośredni wpływ na określanie granic nieruchomości, realizację inwestycji budowlanych oraz rozstrzyganie sporów własnościowych. W każdym z tych przypadków sam wynik pomiaru nie stanowi jeszcze dowodu jego poprawności. Konieczne jest wykazanie, że został on uzyskany przy użyciu przyrządu o potwierdzonych właściwościach metrologicznych.

Szczególnie wyraźnie problem ten widoczny jest również w medycynie. Współczesne systemy diagnostyczne, takie jak elektrokardiografy, rejestratory Holterowskie czy kardiomonitory, przetwarzają sygnały o bardzo małych amplitudach, podatne na zakłócenia i artefakty pomiarowe. Błędna interpretacja sygnału może prowadzić do postawienia niewłaściwej diagnozy i wdrożenia nieuzasadnionej terapii. Chociaż medycyna oraz technika sanitarna wydają się odległymi dziedzinami, w obu przypadkach źródłem problemu pozostaje to samo zagadnienie metrologiczne: możliwość zaufania wynikowi pomiaru.

Z tego względu coraz większe znaczenie przypisuje się dokumentom potwierdzającym przydatność metrologiczną przyrządów pomiarowych. Szczególne miejsce zajmuje świadectwo wzorcowania, zawierające informacje o wynikach wzorcowania, niepewności pomiaru oraz zachowaniu spójności metrologicznej. Dokument ten nie jest jedynie załącznikiem do urządzenia pomiarowego, lecz formalnym potwierdzeniem, że uzyskany wynik może stanowić podstawę decyzji technicznych, organizacyjnych, ekonomicznych lub prawnych.

W praktyce technicznej można zaobserwować zjawisko polegające na przypisywaniu wynikom pomiarów i dokumentacji technicznej roli zastępującej samodzielną analizę problemu. Tymczasem ani pomiar nie zastępuje rozumowania, ani dokument wiedzy użytkownika. Paradoks współczesnej techniki polega jednak na tym, że zbyt często pomiar zastępuje rozumowanie, a dokument zastępuje wiedzę.

3. Przegląd literatury przedmiotu i podstawy normatywne

Problematyka wiarygodności pomiarów oraz dokumentowania właściwości metrologicznych przyrządów pomiarowych jest przedmiotem regulacji prawnych, dokumentów metrologicznych oraz norm technicznych obowiązujących w wielu obszarach działalności gospodarczej i technicznej.

Podstawowe znaczenie dla współczesnej metrologii mają dokumenty opracowane przez Joint Committee for Guides in Metrology. Przewodnik GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) [3] określa zasady oceny niepewności pomiaru i stanowi fundament współczesnej analizy jakości wyników pomiarowych. Z kolei Międzynarodowy Słownik Metrologii VIM [4] definiuje podstawowe pojęcia związane z pomiarem, wzorcowaniem, spójnością pomiarową oraz błędami pomiarowymi, zapewniając jednolitość terminologiczną stosowaną w nauce i praktyce technicznej.

Istotne znaczenie dla zapewnienia wiarygodności wyników pomiarowych ma norma PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02 [6], określająca wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących. Norma ta wskazuje między innymi konieczność zachowania spójności pomiarowej, prowadzenia nadzoru nad wyposażeniem pomiarowym oraz dokumentowania procesów wzorcowania.

W obszarze wyrobów medycznych szczególne znaczenie posiada Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2017/745 (MDR) [2] oraz norma PN-EN ISO 13485:2016-04 [5]. Dokumenty te podkreślają konieczność zapewnienia bezpieczeństwa pacjentów poprzez stosowanie odpowiednio nadzorowanej aparatury, której parametry metrologiczne są kontrolowane i udokumentowane.

Przykłady branżowych wymagań dotyczących potwierdzania właściwości aparatury pomiarowej zawierają również normy odnoszące się do konkretnych grup urządzeń. Norma PN-EN 45544 [7] określa wymagania dla elektrycznych przyrządów służących do wykrywania i pomiaru stężeń gazów oraz par toksycznych w środowisku pracy. Z kolei normy PN-EN 60601-2-25 [8] oraz PN-EN 60601-2-47 [9] odnoszą się odpowiednio do elektrokardiografów oraz ambulatoryjnych systemów elektrokardiograficznych, wskazując wymagania dotyczące poprawności działania aparatury wykorzystywanej do celów diagnostycznych.

Znaczenie prawidłowo udokumentowanych pomiarów podkreślają również normy stosowane poza branżą sanitarną. Norma PN-EN 61557 [10] dotyczy urządzeń wykorzystywanych do pomiarów ochronnych w instalacjach elektroenergetycznych niskiego napięcia, natomiast norma PN-ISO 17123-8:2016-04 [11] opisuje procedury terenowej weryfikacji systemów GNSS RTK stosowanych w geodezji. W obu przypadkach wynik pomiaru może stanowić podstawę decyzji technicznych, administracyjnych lub prawnych, co wymaga zapewnienia odpowiedniej jakości metrologicznej stosowanej aparatury.

Znaczenie wiarygodności pomiarów znajduje również odzwierciedlenie w krajowych regulacjach branżowych. Przykładem jest rozporządzenie dotyczące standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych [1], które określa zasady pozyskiwania oraz dokumentowania danych pomiarowych wykorzystywanych w państwowym zasobie geodezyjnym i kartograficznym. W praktyce oznacza to konieczność stosowania aparatury zapewniającej odpowiednią dokładność i potwierdzone właściwości metrologiczne.

Analiza wskazanych dokumentów prowadzi do wspólnego wniosku, że niezależnie od branży, rodzaju aparatury oraz stopnia jej zaawansowania technicznego, warunkiem uznania wyniku pomiaru za wiarygodny jest możliwość wykazania jego spójności metrologicznej, identyfikowalności zastosowanego wyposażenia oraz właściwego nadzoru nad procesem pomiarowym. To właśnie w tym kontekście świadectwo wzorcowania staje się nie tylko dokumentem technicznym, lecz również jednym z podstawowych elementów budowania wartości dowodowej wyniku pomiaru.

Istotny wkład w rozwój metod oceny jakości wyników pomiarowych wniósł Duvernoy (2015) [14], przedstawiając praktyczne zasady wyznaczania niepewności wzorcowania oraz identyfikacji jej poszczególnych składników. Autor wskazuje, że prawidłowe oszacowanie niepewności stanowi integralną część procesu wzorcowania oraz warunek poprawnej interpretacji danych zawartych w świadectwie wzorcowania.

Podobny kierunek prezentują Csavina, Roberti, Taylor i Loescher (2017) [13], podkreślając ścisły związek pomiędzy wzorcowaniem, spójnością pomiarową oraz oceną niepewności pomiaru. Według autorów jedynie wyniki odniesione do uznanych wzorców pomiarowych mogą być uznane za porównywalne i wiarygodne, a tym samym stanowić podstawę podejmowania decyzji technicznych i organizacyjnych.

Znaczenie spójności metrologicznej oraz nadzoru metrologicznego zostało szeroko omówione przez Meskuotienė i współautorów (2022) [19]. Autorzy wykazali, że zarówno metrologia przemysłowa, jak i metrologia prawna opierają się na wspólnym fundamencie, którym jest możliwość prześledzenia nieprzerwanego łańcucha odniesień pomiarowych prowadzącego do wzorców krajowych i międzynarodowych. W pracy podkreślono, że brak udokumentowanej spójności pomiarowej ogranicza możliwość wykorzystania wyników pomiarów jako obiektywnej podstawy decyzji technicznych, administracyjnych oraz sądowych.

W ostatnich latach obserwowany jest dynamiczny rozwój cyfrowych metod dokumentowania procesów wzorcowania. Hackel, Härtig, Hornig i Wiedenhöfer (2017) [15] przedstawili koncepcję cyfrowego świadectwa wzorcowania (Digital Calibration Certificate, DCC), umożliwiającego automatyczną wymianę danych metrologicznych pomiędzy laboratoriami, użytkownikami przyrządów oraz systemami informatycznymi przedsiębiorstw. Rozwinięciem tej koncepcji są badania Yang i współautorów (2025) [22], którzy wykazali możliwość cyfrowego zapisu błędów wskazań oraz niepewności pomiarowych dla wzorcowych liczników energii elektrycznej. Kierunek ten wskazuje, że tradycyjne świadectwa papierowe mogą w przyszłości zostać zastąpione dokumentacją elektroniczną stanowiącą integralny element infrastruktury cyfrowej metrologii.

W polskiej literaturze metrologicznej szczególne znaczenie mają publikacje Puchały i Czarneckiego (2012a, 2012b) [20, 21]. Autorzy wskazują, że wzorcowanie powinno być traktowane jako jedna z podstawowych form nadzoru metrologicznego nad wyposażeniem pomiarowym przedsiębiorstw. Zwracają jednocześnie uwagę, że prawidłowa interpretacja danych zawartych w świadectwie wzorcowania wymaga znajomości takich pojęć jak błąd wskazania, poprawka, niepewność pomiaru oraz spójność metrologiczna. W praktyce użytkownik przyrządu powinien nie tylko posiadać aktualne świadectwo wzorcowania, ale również rozumieć znaczenie zawartych w nim informacji.

Znaczenie laboratoriów wzorcujących dla funkcjonowania systemów zarządzania jakością zostało przedstawione przez Malesę (2007) [18], który wykazał, że wiarygodność procesów pomiarowych stanowi jeden z warunków skutecznego funkcjonowania nowoczesnych systemów jakości. Z kolei Jenek (2024) [16] przedstawił współczesne ujęcie błędu i niepewności pomiaru, wskazując na probabilistyczny charakter oceny jakości wyników oraz ograniczenia wynikające z rzeczywistych warunków eksploatacji urządzeń pomiarowych.

Z punktu widzenia branży gazowniczej szczególnie interesujące są publikacje dotyczące wzorcowania aparatury procesowej oraz materiałów odniesienia. Cieciora i Hys (2014) [12] opisali zagadnienia związane z wytwarzaniem i certyfikacją gazowych materiałów odniesienia, stanowiących podstawę wzorcowania analizatorów gazowych i innych przyrządów służących do pomiaru składu mieszanin gazowych. Uzupełnieniem tych zagadnień są opracowania dotyczące wzorcowania przetworników ciśnienia przedstawione przez Kuczyńskiego (2020) [17], istotne w kontekście eksploatacji sieci gazowych, wodociągowych oraz instalacji technologicznych.

Analiza przedstawionej literatury prowadzi do jednoznacznego wniosku, że wiarygodność wyniku pomiarowego nie jest wyłącznie cechą samego przyrządu pomiarowego, lecz rezultatem funkcjonowania całego systemu metrologicznego obejmującego wzorcowanie, ocenę niepewności pomiaru, zapewnienie spójności metrologicznej oraz właściwe dokumentowanie tych działań. W konsekwencji świadectwo wzorcowania należy postrzegać nie tylko jako dokument techniczny, lecz również jako podstawowe potwierdzenie zaufania do wyniku pomiaru, od którego zależą decyzje techniczne, ekonomiczne, administracyjne i prawne.

4. Glosariusz podstawowych pojęć metrologicznych

Akredytacja laboratorium – Formalne potwierdzenie przez uprawnioną jednostkę, że laboratorium posiada kompetencje techniczne do wykonywania określonych badań lub wzorcowań zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO/IEC 17025.

Artefakt pomiarowy – fałszywy sygnał, zakłócenie lub błąd w obrazie/odczycie wygenerowany przez aparaturę pomiarową na skutek czynników zewnętrznych (np. ruch pacjenta, drgania

DOI: 10.65545/GWITS.2026.10.06

podłoża, obecność gazów towarzyszących), błędnie interpretowany przez użytkownika jako stan faktyczny badanego obiektu.

Błąd pomiaru – różnica pomiędzy wartością zmierzoną a wartością odniesienia przyjmowaną za prawdziwą lub umownie prawdziwą.

Cyfrowe świadectwo wzorcowania (DCC) – elektroniczna postać świadectwa wzorcowania umożliwiająca automatyczne przetwarzanie danych metrologicznych przez systemy informatyczne i urządzenia pomiarowe.

Deklaracja zgodności – dokument wystawiany przez producenta lub jego przedstawiciela potwierdzający, że wyrób spełnia wymagania odpowiednich norm i przepisów. Dokument ten nie potwierdza aktualnych właściwości metrologicznych urządzenia.

Dokumenty dopuszczeniowe – dokumenty potwierdzające spełnienie przez wyrób określonych wymagań konstrukcyjnych, funkcjonalnych lub bezpieczeństwa. Mogą obejmować m.in. certyfikaty badania typu, świadectwa dopuszczenia lub decyzje administracyjne dopuszczające urządzenie do użytkowania.

Gaz wzorcowy – mieszanina gazowa o dokładnie określonym składzie i znanej niepewności stężenia, stosowana do wzorcowania oraz sprawdzania analizatorów gazów i detektorów.

Interpretacja wyniku pomiaru – krytyczny proces intelektualny realizowany przez kompetentnego użytkownika, polegający na zestawieniu surowego wskazania przyrządu z niepewnością pomiaru, charakterystyką obiektu badanego oraz warunkami środowiskowymi w celu podjęcia decyzji technicznej lub medycznej.

Justowanie – zespół czynności wykonywanych na przyrządzie pomiarowym w celu doprowadzenia jego wskazań do zgodności z określonymi wymaganiami metrologicznymi. Justowanie polega na fizycznej lub programowej zmianie parametrów przyrządu tak, aby zminimalizować błędy wskazań. W odróżnieniu od wzorcowania justowanie modyfikuje właściwości przyrządu.

Kalibracja – patrz: wzorcowanie.

Karta urządzenia – dokument ewidencyjny przyrządu pomiarowego, zawierający historię jego eksploatacji, napraw, adiustacji oraz terminów kolejnych wzorcowań lub przeglądów konserwacyjnych.

Legalizacja – forma prawnej kontroli metrologicznej wykonywana dla określonych grup przyrządów pomiarowych objętych przepisami ustawy Prawo o miarach. Potwierdza spełnienie wymagań określonych dla danego rodzaju przyrządu.

Materiał odniesienia – substancja lub obiekt o znanych właściwościach, wykorzystywany jako punkt odniesienia podczas wzorcowania, sprawdzania lub walidacji metod pomiarowych.

Metrologia – nauka o pomiarach obejmująca zagadnienia jednostek miar, metod pomiarowych, niepewności pomiaru, wzorców oraz spójności metrologicznej.

Niepewność pomiaru – parametr związany z wynikiem pomiaru, charakteryzujący zakres wartości, które z określonym prawdopodobieństwem mogą być przypisane wielkości mierzonej.

Niewzorcowane urządzenie pomiarowe – przyrząd, dla którego nie można wykazać aktualnych właściwości metrologicznych poprzez odpowiednią dokumentację wzorcowania lub inną formę potwierdzenia spójności pomiarowej.

Paszport techniczny – dokumentacja eksploatacyjna urządzenia zawierająca informacje o identyfikacji przyrządu, historii użytkowania, naprawach, przeglądach, wzorcowaniach oraz innych zdarzeniach mających wpływ na jego stan techniczny i metrologiczny.

Poprawka – wartość dodawana algebraicznie do wyniku pomiaru w celu kompensacji znanego błędu systematycznego.

Rektyfikacja – regulacja elementów mechanicznych, optycznych, elektrycznych lub elektronicznych przyrządu mająca na celu przywrócenie jego prawidłowej geometrii, wzajemnego położenia elementów lub poprawnych parametrów pracy. Rektyfikacja jest często wykonywana przed wzorcowaniem lub justowaniem i ma na celu usunięcie przyczyn błędów wynikających z rozregulowania instrumentu.

Spójność metrologiczna (pomiarowa) – właściwość wyniku pomiaru umożliwiająca jego odniesienie do odpowiedniego wzorca poprzez nieprzerwany łańcuch wzorcowań, z których każde wnosi określoną niepewność pomiaru.

Świadectwo wzorcowania – dokument wystawiany przez laboratorium wzorcujące, zawierający wyniki wzorcowania, niepewności pomiaru, identyfikację wzorców odniesienia oraz potwierdzenie zachowania spójności metrologicznej.

Tolerancja (błąd maksymalny dopuszczalny) – w sensie metrologicznym: określony przez normy, przepisy lub producenta przedział wartości, w którym muszą mieścić się błędy przyrządu pomiarowego, aby został on uznany za zdatny do użytku. Tolerancja jest miarą narzuconą odgórnie, a nie cechą fizyczną przyrządu. W sensie psychologiczno-zawodowym: skrajnie niebezpieczne zjawisko społeczne polegające na „tolerowaniu" przez środowisko zawodowe (np. inżynieryjne, medyczne) braku podstawowych kompetencji, ignorancji oraz bezmyślności personelu zasłaniającego się posiadaniem rozmaitych certyfikatów.

Wartość dowodowa pomiaru – stopień, w jakim wynik pomiaru może być wykorzystany jako wiarygodna podstawa decyzji technicznych, administracyjnych, ekonomicznych lub prawnych.

Wzorcowanie – zespół czynności umożliwiających określenie zależności pomiędzy wskazaniami przyrządu pomiarowego a wartościami realizowanymi przez wzorce odniesienia; zbiór operacji ustalających relację między wartościami wskazanymi przez przyrząd pomiarowy a wartościami przypisanymi wzorcom jednostki miary. Wzorcowanie nie jest naprawą ani adiustacją przyrządu – określa jedynie jego aktualny błąd wskazania.

Wzorzec odniesienia – przyrząd lub materiał o znanej wartości wielkości mierzonej, wykorzystywany do wykonywania wzorcowań i zapewnienia spójności pomiarowej.

Wzorzec państwowy – najwyższy krajowy wzorzec danej jednostki miary, stanowiący podstawę krajowego systemu odniesień pomiarowych.

5. Dokumenty związane z urządzeniem pomiarowym

Deklaracja zgodności

Deklaracja zgodności jest dokumentem wystawianym przez producenta lub jego upoważnionego przedstawiciela, potwierdzającym, że urządzenie spełnia wymagania odpowiednich norm oraz przepisów krajowych i europejskich obowiązujących dla danej grupy wyrobów. Dokument ten odnosi się do etapu projektowania, wytwarzania i wprowadzania urządzenia do użytkowania.

Należy jednak podkreślić, że deklaracja zgodności nie stanowi potwierdzenia aktualnych właściwości metrologicznych konkretnego egzemplarza przyrządu znajdującego się w eksploatacji. W praktyce technicznej często błędnie utożsamia się deklarację zgodności z potwierdzeniem poprawności wskazań

urządzenia. Dokument ten nie zastępuje wzorcowania ani nie umożliwia oceny aktualnej wiarygodności wyników pomiarów.

Dokumenty dopuszczeniowe urządzenia do stosowania

W wielu obszarach techniki stosowane są dokumenty potwierdzające pozytywne przejście badań typu, badań kwalifikacyjnych, procedur certyfikacyjnych lub dopuszczeniowych. Dokumenty te potwierdzają spełnienie określonych wymagań konstrukcyjnych, funkcjonalnych lub bezpieczeństwa oraz możliwość stosowania wyrobu w przewidzianych warunkach eksploatacji.

Dokumenty dopuszczeniowe mają istotne znaczenie z punktu widzenia bezpieczeństwa użytkowania urządzeń, nie stanowią jednak potwierdzenia aktualnej poprawności metrologicznej konkretnego egzemplarza przyrządu wykorzystywanego podczas wykonywania pomiarów.

Świadectwo wzorcowania

Spośród wszystkich dokumentów związanych z wyposażeniem pomiarowym szczególną rolę odgrywa świadectwo wzorcowania. Wzorcowanie polega na porównaniu wskazań badanego przyrządu ze wzorcami odniesienia posiadającymi udokumentowaną spójność pomiarową.

Świadectwo wzorcowania zawiera zazwyczaj identyfikację urządzenia, numer seryjny, datę wykonania wzorcowania, dane laboratorium wzorcującego, wyniki pomiarów, błędy wskazań oraz oszacowaną niepewność pomiaru. Dokument ten stanowi podstawę oceny wiarygodności urządzenia oraz pozwala wykazać zachowanie spójności metrologicznej pomiarów.

Okresowe wzorcowanie przyrządów pomiarowych

W wielu branżach praktyką eksploatacyjną jest wykonywanie wzorcowania przyrządów pomiarowych w odstępach rocznych. Ostateczna częstotliwość wzorcowań powinna jednak wynikać z zaleceń producenta, warunków użytkowania urządzenia, jego historii metrologicznej oraz procedur obowiązujących u użytkownika.

Wymóg okresowego potwierdzania właściwości metrologicznych dotyczy między innymi analizatorów spalin, mierników stężenia gazów, detektorów tlenku węgla, mierników ciągu kominowego, mierników parametrów instalacji elektrycznych, luksomierzy, termometrów technicznych, przetworników ciśnienia oraz kamer termowizyjnych wykorzystywanych w diagnostyce technicznej. Regularne wzorcowanie umożliwia wykazanie ciągłości spójności pomiarowej oraz ocenę stabilności parametrów metrologicznych urządzenia w czasie.

6. Wpływ braku wzorcowania na wiarygodność wyniku pomiaru

Jednym z podstawowych wymagań współczesnej metrologii jest przedstawienie wyniku pomiaru wraz z informacją o jego niepewności. W praktyce wynik pomiaru można zapisać w postaci:

$$x = x_0 \pm U \quad (1)$$

gdzie x_0 oznacza wartość zmierzoną, natomiast U jest niepewnością rozszerzoną wyniku pomiaru.

Jeżeli urządzenie pomiarowe nie posiada aktualnego wzorcowania, nie jest możliwe wiarygodne określenie jego błędów wskazań, oszacowanie niepewności pomiaru ani wykazanie zachowania spójności metrologicznej. W takiej sytuacji znacząco maleje możliwość obiektywnej oceny jakości uzyskanego wyniku oraz jego zgodności z wymaganiami normatywnymi. Odczyt uzyskany z urządzenia niewzorcowanego nie musi być błędny, jednak jego wiarygodność staje się trudna do udokumentowania.

Wartość dowodowa wyników pomiarów

W wielu postępowaniach technicznych, administracyjnych oraz sądowych wynik pomiaru może stanowić istotny element materiału dowodowego. Wysoka wartość dowodowa takiego wyniku wymaga możliwości wykazania:

- kwalifikacji osoby wykonującej pomiar,
- identyfikacji zastosowanego urządzenia,
- aktualności dokumentacji metrologicznej,
- zachowania spójności metrologicznej,
- przestrzegania właściwej procedury pomiarowej.

Brak któregokolwiek z wymienionych elementów może prowadzić do obniżenia wiarygodności uzyskanych wyników. Jednym z podstawowych pytań pojawiających się podczas oceny poprawności pomiarów jest ustalenie, czy przyrząd wykorzystywany podczas badań posiadał aktualne świadectwo wzorcowania w czasie wykonywania pomiarów.

7. Szczególny przypadek pomiarów kominiarskich i gazowych

Znaczenie wzorcowania jest szczególnie widoczne w przypadku analizatorów spalin, detektorów tlenku węgla oraz urządzeń służących do oceny parametrów pracy przewodów kominowych. Wyniki uzyskiwane za pomocą tych przyrządów stanowią podstawę oceny bezpieczeństwa eksploatacji urządzeń grzewczych oraz wentylacyjnych.

Błędne wskazania mogą prowadzić do niewykrycia zagrożenia związanego z obecnością tlenku węgla, nieprawidłowej oceny ciągu kominowego, błędnej kwalifikacji stanu technicznego urządzeń grzewczych lub podejmowania niewłaściwych decyzji administracyjnych. W takich przypadkach wiarygodność pomiaru nabiera wymiaru bezpieczeństwa publicznego.

8. Szczególny przypadek pomiarów elektrycznych

Analogiczne znaczenie mają pomiary wykonywane w instalacjach elektrycznych. Ocena skuteczności ochrony przeciwporażeniowej opiera się na wynikach uzyskiwanych za pomocą specjalistycznych mierników parametrów instalacji.

Niewłaściwe działanie przyrządu pomiarowego może skutkować zarówno dopuszczeniem do eksploatacji instalacji niespełniającej wymagań bezpieczeństwa, jak i nieuzasadnionym zakwestionowaniem instalacji wykonanej prawidłowo. Konsekwencje mogą obejmować zagrożenie zdrowia i życia użytkowników oraz odpowiedzialność zawodową osób wykonujących pomiary.

9. Wnioski podsumowujące

Analiza dokumentacji stosowanej w metrologii technicznej wskazuje jednoznacznie, że deklaracja zgodności oraz dokumenty dopuszczające urządzenie do użytkowania pełnią inne funkcje niż świadectwo wzorcowania. Deklaracja zgodności potwierdza spełnienie wymagań konstrukcyjnych i formalnych, natomiast dokumenty dopuszczeniowe odnoszą się do możliwości

DOI: 10.65545/GWITS.2026.10.06

stosowania urządzenia w określonych warunkach technicznych.

Jedynie świadectwo wzorcowania umożliwia ocenę aktualnych właściwości metrologicznych konkretnego egzemplarza przyrządu oraz wykazanie zachowania spójności pomiarowej. Z tego względu stanowi ono podstawowy dokument pozwalający ocenić wiarygodność wyników pomiarowych.

W branży gazowniczej, wodociągowej i sanitarnej, podobnie jak w elektroenergetyce, geodezji czy medycynie, bezpieczeństwo użytkowników oraz poprawność podejmowanych decyzji technicznych zależą nie tylko od kwalifikacji personelu, ale również od jakości i udokumentowanej wiarygodności wykonywanych pomiarów.

10. Literatura

[1] Minister Rozwoju, Pracy i Technologii. (2021). *Rozporządzenie w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowywania i przekazywania wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego.* Dz.U.

[2] Parlament Europejski i Rada (UE). (2017). *Rozporządzenie (UE) 2017/745 z dnia 5 kwietnia 2017 r. w sprawie wyrobów medycznych (MDR).* Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej.

[3] Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM). (2008). *Evaluation of measurement data. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (JCGM 100:2008). Bureau International des Poids et Mesures (BIPM).

[4] Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM). (2012). *International Vocabulary of Metrology. Basic and General Concepts and Associated Terms* (VIM) (JCGM 200:2012). Bureau International des Poids et Mesures (BIPM).

[5] Polski Komitet Normalizacyjny. (2016). PN-EN ISO 13485:2016-04. *Wyroby medyczne. Systemy zarządzania jakością. Wymagania do celów przepisów prawnych.*

[6] Polski Komitet Normalizacyjny. (2018). PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02. *Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących.*

[7] Polski Komitet Normalizacyjny. PN-EN 45544. *Atmosfery miejsc pracy. Elektryczne przyrządy do bezpośredniego wykrywania oraz bezpośredniego pomiaru stężenia gazów i par toksycznych.*

[8] Polski Komitet Normalizacyjny. PN-EN 60601-2-25. *Medyczne urządzenia elektryczne. Wymagania szczegółowe dotyczące elektrokardiografów.*

[9] Polski Komitet Normalizacyjny. PN-EN 60601-2-47. *Medyczne urządzenia elektryczne. Wymagania szczegółowe dotyczące ambulatoryjnych systemów elektrokardiograficznych.*

[10] Polski Komitet Normalizacyjny. PN-EN 61557. *Bezpieczeństwo elektryczne w niskonapięciowych sieciach elektroenergetycznych. Urządzenia do sprawdzania, pomiarów lub monitorowania środków ochronnych.*

[11] Polski Komitet Normalizacyjny. PN-ISO 17123-8:2016-04. *Optyka i instrumenty optyczne. Terenowe procedury badania instrumentów geodezyjnych i badawczych. Część 8: Terenowe systemy pomiarowe GNSS w czasie rzeczywistym (RTK).*

[12] Cieciora, D., & Hys, A. (2014). Gazowe materiały odniesienia: wytwarzanie i certyfikacja. Metrologia i Probiernictwo. *Biuletyn Głównego Urzędu Miar.* 3(6), 21–24

[13] Csavina, J., Roberti, J. A., Taylor, J. R., & Loescher, H. W. (2017). Traceable measurements and calibration: a primer on uncertainty analysis. Ecosphere, 8(2). https://doi.org/10.1002/ecs2.1683

[14] Duvernoy, J. (2015). *Guidance on the Computation of Calibration Uncertainties.* World Meteorological Organization, No. 119.

[15] Hackel, S., Härtig, F., Hornig, J., & Wiedenhöfer, T. (2017). The digital calibration certificate. *PTB-Mitteilungen*, 127(4), 75–81 https://doi.org/10.7795/310.20170403

[16] Jenek, M. (2024). *Błąd i niepewność pomiaru.* Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego.

[17] Kuczyński, A. (2020). Wzorcowanie przetworników ciśnienia w OUM w Szczecinie. *Metrologia i Probiernictwo. Biuletyn Głównego Urzędu Miar.*

[18] Malesa, R. (2007). Rola akredytowanych laboratoriów wzorcujących w systemach zarządzania jakością. *Pomiary Automatyka Kontrola,* 53(1), 16-17.

[19] Meškuotienė, A., Dobilienė, J., Raudienė, E., & Gaidamovičiūtė, L. (2022). A Review of Metrological Supervision: Towards the common understanding of metrological traceability in legal and industrial metrology. *MAPAN*, 37(3), 693–701. https://doi.org/10.1007/s12647-022-00594-x

[20] Puchała, A., & Czarnecki, M. (2012). Interpretacja wyników wzorcowania zawartych w świadectwach wzorcowania wyposażenia pomiarowego. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, 50.

[21] Puchała, A., & Czarnecki, M. (2012). Wzorcowanie jako forma nadzoru metrologicznego nad wyposażeniem pomiarowym. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, 50, 38-41.

[22] Yang, Y., Bai, J., Duan, X., Meng, J., Chen, H., & Gao, B. (2024). Digitalization of basic error and measurement uncertainty of reference meters for electrical energy by utilizing Digital Calibration Certificate (DCC). *Measurement Sensors*, 38, 101501. https://doi.org/10.1016/j.measen.2024.101501

Posłowie

Współczesna technika osiągnęła poziom rozwoju, który jeszcze kilkadziesiąt lat temu wydawał się niemożliwy. Przyrządy pomiarowe stały się dokładniejsze, szybsze i bardziej zautomatyzowane niż kiedykolwiek wcześniej. Wraz z tym postępem pojawiło się jednak niebezpieczne zjawisko społeczne i zawodowe: przekonanie, że złożoność technologii może zastąpić wiedzę człowieka.

Coraz częściej spotyka się użytkowników urządzeń, którzy potrafią obsłużyć aparat, lecz nie rozumieją zjawisk fizycznych, chemicznych lub biologicznych, które ten aparat mierzy bądź wykorzystuje. Znajomość instrukcji obsługi bywa błędnie utożsamiana z kompetencją. Tymczasem pomiędzy umiejętnością uruchomienia urządzenia a zdolnością prawidłowej interpretacji jego wskazań istnieje różnica fundamentalna.

Historia techniki pokazuje, że źródłem największych błędów nie są zwykle uszkodzone przyrządy, lecz błędne decyzje podejmowane przez ludzi przekonanych o własnej nieomylności. Zarozumiałość, intelektualne lenistwo, powierzchowna wiedza oraz lekceważenie ograniczeń własnych kompetencji wielokrotnie okazywały się groźniejsze od wad sprzętu. Człowiek przekonany, że wie wszystko, przestaje zadawać pytania. Człowiek przekonany, że urządzenie nie może się mylić, przestaje analizować rzeczywistość.

W praktyce zawodowej można zaobserwować zjawisko szczególnie niebezpieczne: autorytet kosztownej aparatury bywa wykorzystywany do ukrywania braków wiedzy. Im bardziej skomplikowane staje się urządzenie, tym mniej osób odważa się kwestionować uzyskany wynik. W efekcie użytkownik zaczyna wierzyć nie faktom, lecz wyświetlaczowi. Nie analizuje już zjawiska, lecz odczytuje komunikat. Nie poszukuje przyczyn, lecz ufa procedurze. Nie myśli, ponieważ zrobiła to za niego maszyna. A przynajmniej tak mu się wydaje.

Taka postawa pozostaje równie błędna w medycynie, stomatologii, gazownictwie, elektroenergetyce, geodezji, technice sanitarnej i każdej innej dziedzinie wykorzystującej wyniki pomiarów. Żaden analizator, detektor, elektrokardiograf, system GNSS ani najbardziej zaawansowane oprogramowanie nie posiadają zdolności rozumienia rzeczywistości. Rozumienie pozostaje wyłączną domeną człowieka. Aparatura dostarcza danych. Wnioski formułuje człowiek. Odpowiedzialność ponosi również człowiek.

Dlatego świadectwo wzorcowania ma znaczenie większe, niż mogłoby się wydawać. Jest ono nie tylko dokumentem technicznym. Jest również przypomnieniem, że każdy wynik pomiaru posiada określone ograniczenia, warunki ważności oraz niepewność. Świadectwo wzorcowania nie gwarantuje prawdy. Potwierdza jedynie, że użytkownik zna granice zaufania, jakie wolno przypisać wynikowi pomiarowemu.

Największym zagrożeniem dla bezpieczeństwa nie jest więc brak technologii. Znacznie groźniejsze bywa bezkrytyczne uwielbienie technologii. Niebezpieczny nie jest człowiek, który wie, że czegoś nie rozumie. Niebezpieczny staje się ten, który nie rozumie, a mimo to jest przekonany o własnej kompetencji wyłącznie dlatego, że dysponuje kosztownym urządzeniem lub nowoczesnym certyfikatem.

Postęp techniczny nie zwalnia z myślenia. Przeciwnie. Im doskonalsze stają się narzędzia, tym większej wiedzy, odpowiedzialności i pokory wymagają od swoich użytkowników. W świecie nowoczesnej techniki pokora nie jest oznaką słabości. Jest warunkiem bezpieczeństwa. Między urządzeniem a decyzją zawsze znajduje się człowiek. To nie aparat, lecz jego użytkownik odpowiada za skutki błędu. Dlatego ostatnim ogniwem każdego systemu jakości, każdego systemu metrologicznego i każdego systemu bezpieczeństwa pozostaje nie przyrząd, nie procedura i nie certyfikat, lecz kompetentny człowiek zdolny powiedzieć: „sprawdzam, ponieważ nawet najlepsza technologia nie zwalnia mnie z obowiązku myślenia".

Sprawozdanie z uroczystych obchodów 70-lecia PZITS Oddział w Kielcach

W dniu 11 września 2026 roku w Grand Hotelu w Kielcach odbyła się uroczysta gala z okazji jubileuszu 70-lecia działalności Oddziału Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych w Kielcach. Wydarzenie, zorganizowane przez Zarząd Oddziału, zgromadziło około 50 uczestników, wśród których znaleźli się członkowie Zrzeszenia oraz zaproszeni Goście, przedstawiciele środowisk naukowych, zawodowych, samorządowych i branżowych. Uroczystość została objęta patronatem honorowym Wojewody Świętokrzyskiego Józefa Bryka.

Galę rozpoczął kol. Łukasz Bąk, który powitał zgromadzonych gości, podkreślając znaczenie siedemdziesięcioletniej działalności Kieleckiego Oddziału PZITS na rzecz rozwoju inżynierii sanitarnej, budownictwa oraz integracji środowiska technicznego regionu.



Następnie głos zabrał Prezes Zarządu Oddziału PZITS w Kielcach, kol. Jacek Olszewski, który na wstępie poprosił o uczczenie chwilą ciszy pamięć zmarłych w ostatnich 10-ciu latach koleżanek i kolegów z Oddziału Kieleckiego. W swoim wystąpieniu Prezes podziękował za przybycie gościom w tym przedstawicielom sponsorów oraz członkom Stowarzyszenia. Kol. Prezes podkreślił szczególny charakter wydarzenia oraz znaczenie wieloletniej działalności naszego Stowarzyszenia w regionie świętokrzyskim i poza nim.

Jednym z głównych punktów uroczystości było wręczenie odznak honorowych PZITS. Aktu dekoracji dokonała Pani Prezes Zarządu Głównego, Anna Bogdan wraz z Prezesem Zarządu Oddziału Jackiem Olszewskim. Odznaki Honorowe PZITS „Złote z Diamentem", otrzymali: Edward Biały, Danuta Brymerska, Henryk Milcarz, Adolf Przygodzki, Lech Szpaderski, Zbigniew Wojciechowski oraz Aleksander Zgadzaj, Odznakami „Złotymi" uhonorowano Grzegorza Stefańskiego i Zbigniewa Wojciechowskiego. Odznaki „Srebrne" otrzymali: Katarzyna Biały, Joanna Muszyńska, Sylwia Wciślik, Paweł Wojciechowski oraz Ewa Zender-Świercz. Przyznanie honorowych odznak stanowiło wyraz uznania dla wieloletniego zaangażowania wyróżnionych osób w działalność i rozwój Zrzeszenia.

W dalszej części uroczystości wystąpiła Pani Prezes Zarządu Głównego PZITS Anna Bogdan, a następnie głos zabrali zaproszeni goście reprezentujący środowiska zawodowe, samorządowe i branżowe.

Ważnym elementem obchodów jubileuszowych było również przygotowanie okolicznościowej monografii poświęconej 70-letniej historii Kieleckiego Oddziału PZITS. Publikacja zawiera rys historyczny działalności Oddziału oraz artykuły o tematyce branżowej, opracowane między innymi przez ekspertów z Politechniki Świętokrzyskiej. Wydawnictwo stanowi zarówno dokumentację dorobku minionych siedmiu dekad, jak i trwały ślad jubileuszowych obchodów.



Oficjalną część gali zakończył Prezes Jacek Olszewski, dziękując wszystkim uczestnikom za obecność, wieloletnią współpracę i zaangażowanie w działalność PZITS oraz składając życzenia dalszych sukcesów zawodowych i osobistych. Następnie prowadzący uroczystość zaprosił zgromadzonych na uroczystą kolację, po której odbyła się część integracyjna.



Jubileusz 70-lecia Oddziału PZITS w Kielcach był okazją do podsumowania wieloletniego dorobku organizacji, uhonorowania zasłużonych członków oraz podkreślenia roli Zrzeszenia w rozwoju środowiska inżynierów i techników sanitarnych regionu świętokrzyskiego. Spotkanie stało się również sposobnością do odnowienia kontaktów zawodowych i koleżeńskich oraz wspólnego spojrzenia na przyszłość działalności Oddziału.

Zostań członkiem Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych

POLSKIE ZRZESZENIE INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW SANITARNYCH

Członkostwo w PZITS umożliwia:



Otrzymywanie:

- zaproszeń na seminaria, konferencje i szkolenia, organizowane przez PZITS,
- zaproszeń do udziału w wycieczkach technicznych i spotkaniach integracyjnych,
- informacji o zmianach w przepisach i legislacji branżowej,
- odznaczeń honorowych PZITS,
- ofert pracy w branży.

Możliwość:

- udziału w opracowywaniu przepisów oraz zgłaszania propozycji zmian w obowiązujących regulacjach,
- nawiązywania bezpośrednich kontaktów z ekspertami i przedstawicielami branży,
- uzyskiwania porad i opinii w sprawach technicznych związanych z zakresem działalności PZITS,
- kontaktu z przedstawicielami organizacji zrzeszonych w REHVA i IGU oraz wymiany informacji na poziomie międzynarodowym,
- publikowania artykułów w czasopismach PZITS,
- aktywnego udziału w pracach sekcji branżowych.





Dostęp do:

- nagrań z wydarzeń organizowanych przez ZG PZITS,
- materiałów, poradników i wytycznych, opracowywanych przez PZITS,
- działalności szkoleniowej i rozwojowej organizowanej w całej Polsce,
- stowarzyszeniowej wspólnoty i wsparcia środowiska inżynieryjnego.

Kim jesteśmy?

PZITS to ogólnopolska organizacja skupiająca ok. 3 200 techników, inżynierów i naukowców działających w obszarze inżynierii sanitarnej i środowiska.

Misją PZITS jest działalność na rzecz społeczeństwa poprzez rozwój rozwiązań technicznych służących ochronie zdrowia i środowiska naturalnego.

PZITS jest jedynym polskim członkiem REHVA oraz International Gas Union, co umożliwia aktywną współpracę międzynarodową.

Członkowie PZITS uczestniczą w pracach zespołów opiniujących prawo budowlane i przepisy techniczno-budowlane oraz działają w Organach Technicznych Polskiego Komitetu Normalizacyjnego.

Więcej szczegółów:

www.pzits.pl/czlonkostwo

Nadchodzące Wydarzenia

Szkolenie: NetSystem 5 – nowe możliwości w projektowaniu sieci kanalizacyjnych i wodociągowych

Szkolenie poświęcone będzie praktycznemu wykorzystaniu programu NetSystem 5 w projektowaniu sieci kanalizacyjnych i wodociągowych. Uczestnicy poznają pełną ścieżkę projektową – od przygotowania danych i modelu terenu, przez projektowanie i obliczenia sieci, po analizę kolizji, roboty ziemne, tworzenie profili oraz przygotowanie dokumentacji projektowej.

Wykładowca: Marta Pszczółka - InstalSoft
Termin: 4 listopada 2026 r., godz. 11:00–14:00
Miejsce: szkolenie online
Szczegóły: pzits.com.pl/index.php/szkolenia-seminaryjne

Szkolenie: Pompownie ścieków – oszczędzanie energii oraz zapobieganie awariom – monitorowanie pracy pompowni ścieków

Szkolenie poświęcone będzie zagadnieniom związanym z projektowaniem, eksploatacją i monitorowaniem pompowni ścieków, ze szczególnym uwzględnieniem oszczędzania energii i zapobiegania awariom. Omówione zostaną m.in. zasady doboru pomp, rozwiązania stosowane w pompowniach i tłoczniach ścieków, zabezpieczenia przed uderzeniem hydraulicznym oraz metody oceny pracy i niezawodności przepompowni.

Wykładowca: Damian Rackiewicz - WILO
Termin: 17 listopada 2026 r., godz. 11:00–14:00
Miejsce: szkolenie online
Szczegóły: pzits.com.pl/index.php/szkolenia-seminaryjne

Gdańska Fundacja Wody: II Forum Otwartej Eksploatacji – jak nie powielać błędów

Forum poświęcone będzie praktycznym doświadczeniom związanym z eksploatacją oczyszczalni ścieków komunalnych. Praktycy z Polski i zagranicy przedstawią rzeczywiste przykłady problemów, błędów i sprawdzonych rozwiązań stosowanych w codziennej pracy oczyszczalni. Wydarzenie będzie również przestrzenią do wymiany wiedzy, dyskusji z ekspertami oraz poznania dobrych praktyk branży wodno-kanalizacyjnej.

Termin: 23–25 listopada 2026 r.
Miejsce: Hotel Mercure, Gdańsk Stare Miasto
Szczegóły: https://gfw.pl/szkolenia/ii-forum-otwartej-eksploatacji-jak-nie-powielac-bledow-oczyszczalnie-sciekow-komunalnych

Szkolenie: Zgrzewanie doczołowe i elektrooporowe rur z tworzyw sztucznych

Trzydniowe szkolenie poświęcone zgrzewaniu elektrooporowemu i doczołowemu rur z polietylenu (PE), prowadzone zgodnie z normą PN-EN 13067. Program obejmuje zajęcia teoretyczne oraz praktyczne ćwiczenia na urządzeniach zgrzewających, przygotowujące uczestników do prawidłowego wykonywania połączeń rurociągów z PE. W trzecim dniu przewidziane są egzaminy, w tym możliwość przystąpienia do egzaminu praktycznego UDT.

Termin: 25–27 listopada 2026 r.
Miejsce: Budynek NOT we Wrocławiu przy ul. J. Piłsudskiego 74 (p. 230)
Szczegóły: https://www.pzits.not.pl/zgrzew.html

III Ogólnopolska Olimpiada Wiedzy i Umiejętności Instalacyjnych

Ogólnopolska Olimpiada Wiedzy i Umiejętności Instalacyjnych skierowana jest przede wszystkim do uczniów szkół branżowych i techników. Uczestnicy sprawdzają swoją wiedzę i umiejętności z zakresu instalacji wodociągowych, kanalizacyjnych, grzewczych i gazowych. Rywalizacja odbywa się w trzech etapach: szkolnym, okręgowym i centralnym, a jej celem jest również rozwijanie kompetencji zawodowych oraz współpracy pomiędzy szkolnictwem a branżą instalacyjną.

Termin: I etap – 20 listopada 2026 r.; II etap – 5 marca 2027 r.; III etap – 9 kwietnia 2027 r
Miejsce: Branżowe Centrum Umiejętności nr 2 w Żywcu
Szczegóły: https://www.olimpiadawui.polsl.pl

ZOSTAŃ CZŁONKIEM KOMISJI KWALIFIKACYJNEJ URE G1, G2, G3

Ośrodek Kształcenia Elektryków Polskich *FENTIKS* poszukuje kandydatów na członków komisji kwalifikacyjnej URE powołanej przy SMEP.

FENTIKS to Ośrodek Kształcenia Elektryków Polskich, który od 18 lat wspiera specjalistów z branży elektroenergetycznej w zdobywaniu i odnawianiu kwalifikacji zawodowych.

Do tej pory zrealizowaliśmy ponad 70 000 szkoleń i egzaminów we współpracy ze Stowarzyszeniem Naukowo-Technicznym Mechaników i Energetyków Polskich - SMEP, a tylko w 2025 roku pomogliśmy uzyskać ponad 10 000 świadectw kwalifikacyjnych.
Szukamy specjalistów z branży elektrycznej i energetycznej z całej Polski.

Wymagania:

- uprawnienia energetyczne G1, G2, G3 (Zależy nam na możliwie jak najszerszym zakresie posiadanych punktów we wszystkich grupach, przy czym szczególnie istotne są dla nas punkty w grupie G3: 4, 8 i 9.),
- udokumentowane wykształcenie i praktyka zawodowa,
- wykształcenie wyższe techniczne + min. 2 lata doświadczenia lub wykształcenie średnie techniczne + min. 10 lat doświadczenia.

Oferujemy:

- możliwość pracy jako egzaminator świadectw kwalifikacyjnych,
- elastyczny model współpracy,
- prowadzenie egzaminów i szkoleń online oraz stacjonarnie,
- stałe wsparcie organizacyjne,
- atrakcyjne wynagrodzenie prowizyjne (nawet od 30 000 do 50 000 miesięcznie)
- dostęp do uczestników i regularne zlecenia.

Aplikuj:

wysyłając maila na adres: biuro@fentiks.pl
Temat wiadomości: REKRUTACJA – KOMISJA
Lub wypełnij formularz zgłoszeniowy na stronie (kod QR)

DOŁĄCZ DO ZESPOŁU FENTIKS I TWÓRZ Z NAMI STANDARDY EDUKACJI ENERGETYCZNEJ W POLSCE.

Czasopisma Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych w nowej odsłonie



Gaz Woda i Technika Sanitarna

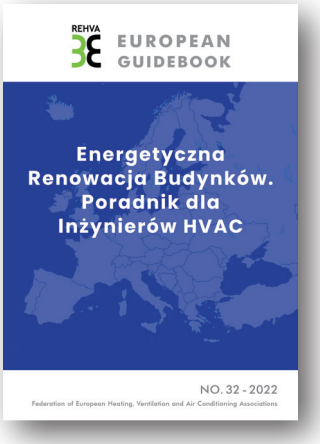
Miesięcznik wydawany od 1921 roku



Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja

Miesięcznik wydawany od 1969 roku

Zapisz się na **bezpłatną** prenumeratę czasopism, a otrzymasz e-poradnik: „REHVA GB.32: Energetyczna renowacja budynków. Poradnik dla inżynierów HVAC”





Dołącz już dziś do grona specjalistów i otrzymuj od bezpłatną prenumeratę czasopism PZITS.

Więcej szczegółów na stronie:
www.pzits.pl/prenumerata