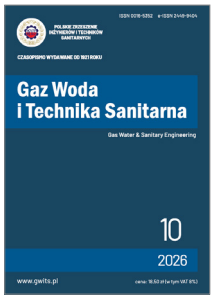
DOI: 10.65545/GWITS.2026.10.04

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):

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

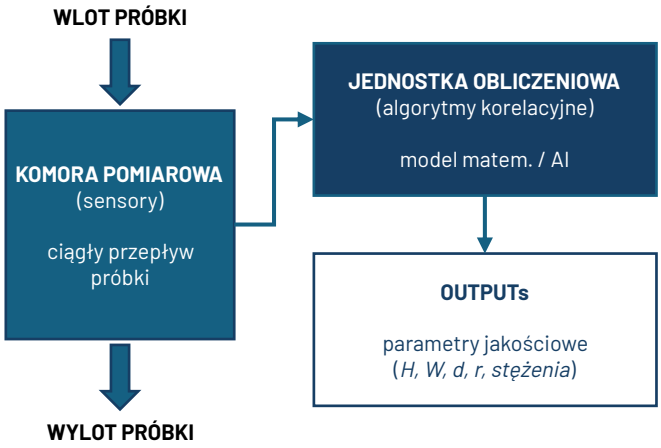
$$Hs = f^{-1}(e) \quad (2)$$

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

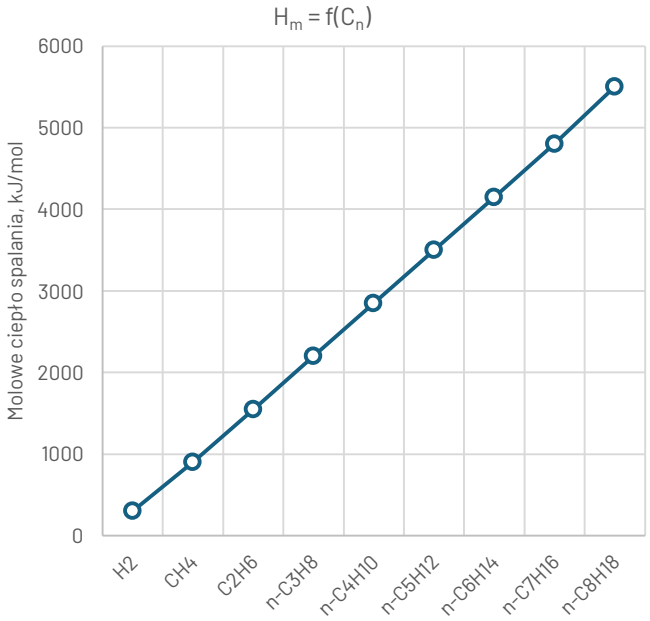
Przez ostatnie dwie dekady przyjęło się, że w odniesieniu do gazu ziemnego analizatory korelacyjne doskonale nadawały się jako urządzenia technologiczne, do kontroli i sterowania procesami przemysłowymi. Sceptycznie traktowano możliwość zastosowania ich w pomiarach rozliczeniowych. Wykorzystanie CD jako 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.*