

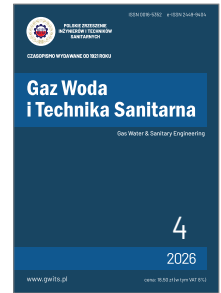


POLSKIE ZRZESZENIE  
INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW  
SANITARNYCH

# Gaz Woda i Technika Sanitarna

## Gas Water & Sanitary Engineering

Artykuł dostępny / Open Access: [www.gwits.pl](http://www.gwits.pl)



## Układy automatycznej regulacji dozowania wodoru do sieci gazowej

### Systems of automatic control for hydrogen injection into the gas network

Andrzej J. Osiadacz <sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup> Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska

\*Kontakt / Correspondence: [andrzej.osiadacz@pw.edu.pl](mailto:andrzej.osiadacz@pw.edu.pl)

#### Streszczenie:

Integracja wodoru z istniejącymi systemami gazowymi wymaga precyzyjnego i bezpiecznego sterowania jego udziałem w mieszaninie z gazem ziemnym. Skuteczne i bezpieczne dozowanie wodoru wymaga układów automatycznej regulacji. Są one oparte głównie na regulacji stosunku przepływów oraz strukturach kaskadowych, wykorzystujących pomiary przepływu, ciśnienia, temperatury i jakości gazu. Zastosowanie mieszaczy statycznych zapewnia homogenizację mieszaniny, a układy sprzężenia zwrotnego umożliwiają utrzymanie wymaganych parametrów jakościowych. Analiza dostępnych rozwiązań wskazuje na wyższą precyzję i odporność na zakłócenia układów kaskadowych, przy jednoczesnym ograniczeniu wynikającym z czasu odpowiedzi systemów analizy składu. Właściwy dobór struktury automatyki determinuje możliwość bezpiecznego wdrażania wodoru w sieciach dystrybucyjnych i przesyłowych.

**Słowa kluczowe:** wodór, mieszanina wodoru z gazem ziemnym, dozowanie wodoru do sieci gazowej, układy automatycznej regulacji

#### Abstract:

The integration of hydrogen into existing gas systems requires precise and safe control of its share in the mixture with natural gas. Effective and reliable hydrogen injection is achieved through automatic control systems, primarily based on flow-ratio control and cascade control structures, employing measurements of flow rate, pressure, temperature, and gas quality. The use of static mixers ensures adequate homogenization of the gas mixture, while feedback control loops enable the maintenance of required quality parameters. Analysis of currently available solutions indicates that cascade control systems provide higher accuracy and greater resistance to disturbances, although their performance may be limited by the response time of gas composition analysis systems. The appropriate selection of control system architecture is therefore a decisive factor for the safe implementation of hydrogen in natural gas distribution and transmission networks.

**Keywords:** hydrogen, hydrogen-natural gas mixture, hydrogen injection into the gas network, automatic control systems

### 1. Wstęp

Działania dążące do zwiększenia udziału wodoru w sektorze energetycznym Unii Europejskiej wynikają z uniwersalności tego nośnika energii oraz jego właściwości ekologicznych, tzn. minimalnych emisji gazów cieplarnianych podczas jego spalania. W przypadku spalania wodoru w środowisku czystego tlenu jedynym produktem ubocznym jest para wodna. Obecne technologie energetyczne oparte na spalaniu paliw wykorzystuje powietrze, odpowiednio dozując jego ilość, aby zaszło całkowite i zupełne spalanie paliwa przy jednoczesnej minimalizacji strat kominowych. W tym przypadku, oprócz pary wodnej, powstają również tlenki azotu, które należą do gazów cieplarnianych.

Jedną z kluczowych zalet wodoru, świadczących o jego uniwer-

salności, jest możliwość produkcji tego gazu poprzez elektrolizę wody przy wykorzystaniu energii elektrycznej, w procesie tzw. Power-to-Gas (Power-to-Gas – P2G). Tak uzyskany wodór stanowi nośnik energii chemicznej, umożliwiający magazynowanie nadwyżek energii elektrycznej. Zdolność ta jest szczególnie istotna w kontekście realizacji celów Unii Europejskiej – zwiększenia udziału odnawialnych źródeł energii (odnawialne źródła energii – OZE) w produkcji energii elektrycznej do 42,5% do roku 2030 [1, 2]. Takie cele wiążą się z koniecznością zarządzania zmiennością i sezonowością produkcji energii, uzależnionej od warunków atmosferycznych. Wodór pozyskany z nadwyżek energetycznych może być wykorzystywany jako paliwo w transporcie i energetyce, w procesach chemicznych i przemysłowych, a także do magazynowania energii [3].

Artykuł / Article: Nadesłany / Received: 1.04.2026; Zrecenzowany / Revised: 12.04.2026; Zaakceptowany / Accepted: 13.04.2026; Opublikowany / Published: 25.04.2026

Prawa autorskie: © 2026 autorów. Licencjodawca: 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.

W związku z wdrażaniem technologii wodorowych Unia Europejska i Polska rozpatrują etap przejściowy, w którym wodór zostanie dodany do istniejącej sieci gazowej tworząc mieszaninę z gazem ziemnym, która będzie przesyłana do odbiorców końcowych. W Polityce Energetycznej Polski do 2040 roku (Polityce Energetycznej Polski do 2040 roku – PEP2040 [4]) Polska wyznaczyła cel, który zakłada przesyłanie 10% mieszaniny wodoru z gazem ziemnym w krajowej sieci gazowej.

Ilość wodoru w sieci gazowej musi być ściśle kontrolowana zgodnie z ustalonymi normami i przepisami, które będą uwzględniać zarówno bezpieczeństwo, jak i aktualne możliwości infrastruktury. Oznacza to, że konieczne będą odpowiednie urządzenia automatycznej regulacji dozowania wodoru, aby zapewnić jego odpowiednią ilość w sieci gazowej oraz aby stężenie mieszaniny na wyjściu gazociągu spełniało obowiązujące normy. Początkowo, z uwagi na ograniczoną liczbę inwestycji, wodór będzie wprowadzany do sieci dystrybucyjnych z czystym gazem ziemnym. W miarę wzrostu skali produkcji oraz liczby inwestycji, możliwe będzie operowanie całej sieci krajowej przy określonym stężeniu wodoru w gazie ziemnym.

Zarządzanie krajową siecią gazową zawierającą mieszaninę gazów zwiększa złożoność dozowania wodoru i wymusza uwzględnienie aktualnego stężenia wodoru w mieszaninie na wejściu układu. Oznacza to, że jednostka dozowania wodoru musi badać skład mieszaniny i dopuszczać brakującą ilość wodoru do sieci, w zależności od wyniku pomiaru stężenia wodoru na wejściu.

## 2. Przegląd istniejących rozwiązań

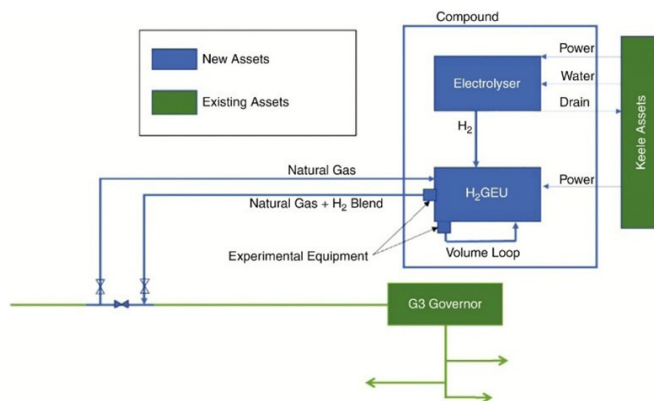
Istnieje wiele układów automatycznego dozowania wodoru do sieci gazowych. Ich wspólną cechą jest zasada działania. Jednostki bazują na sterowaniu stosunkiem przepływów, podczas którego przepływ jednego ze składników jest regulowany na podstawie przepływu drugiego składnika mieszaniny, umożliwiając uzyskanie wartości zadanej – procentowego udziału wodoru w mieszaninie gazu ziemnego z wodorem.

Elementem, który się powtarza jest mieszacz statyczny. Z uwagi na różnice gęstości gazu ziemnego i wodoru, implementacja mieszacza umożliwi homogenizację gazów, co jest kluczowe do poprawnej analizy jakości gazu i tym samym prawidłowego funkcjonowania urządzeń końcowych przez ciągłe, jednakowe właściwości kalorymetryczne mieszaniny.

Poniżej omówiono pięć często stosowanych układów automatycznej regulacji, wykorzystywanych do kontrolowanego wprowadzania wodoru do sieci gazowych. Producentami tych układów są odpowiednio firmy: Thyson Technology Ltd., Honeywell International Inc., Spartan Controls Ltd., Sagebrush Ltd. oraz Intergaz Sp. z o.o.

### 2.1. Thyson Technology (projekt HyDeploy)

Rysunek 1 przedstawia ogólną strukturę układu wykorzystywaną m.in. przez Northern Gas Networks. Jednostka H<sub>2</sub>GEU (Hydrogen Gas Entry Unit) odpowiada za mieszanie gazu ziemnego z wodorem. Szczegółowa struktura tej jednostki jest przedstawiona na rys. 2.



Rys. 1. Układ automatycznej regulacji HyDeploy [6]  
Fig. 1. HyDeploy automatic control system [6]

Zakłada się mieszanie wodoru z gazem ziemnym z przy maksymalnym stężeniu molowym wodoru wynoszącym 20%, z zachowaniem liczby Wobbego w granicach wartości zgodnej z wymogami Gas Safety (Management) Regulations – GS(M)R. W tym celu na wejściu układu dokonywany jest pomiar jakości gazu (Gas Quality Measurement – GQM), czyli ciepła spalania i gęstości, niezbędnych do obliczenia liczby Wobbego zgodnie ze wzorem (1).

$$W = \frac{Q}{\sqrt{d}} \quad (1)$$

gdzie:

$W$  – liczba Wobbego, MJ/kg

$Q$  – ciepło spalania, MJ/kg

$d$  – gęstość względna jako stosunek gęstości powietrza do gęstości mieszaniny

Bazując na obliczonej liczbie Wobbego określa się ilość wodoru jaką należy dodać do gazu ziemnego, aby mieszanina końcowa spełniała wymagania GS(M)R. Sterowanie składem mieszaniny odbywa się poprzez kontrolę stosunku przepływów gazów. W tym celu pobierane są pomiary przepływu, temperatury i ciśnienia przez odpowiednie elementy pomiarowe, których sygnały są podawane na wejście sterownika (Flow Ratio Control Computer). Obliczane są wartości objętościowego natężenia przepływu w warunkach normalnych zgodnie ze wzorem (2), co pozwala na porównanie ilości przepływających gazów.

$$Q_N = \frac{P_N}{P_{RZ}} \cdot \frac{T_{RZ}}{T_N} \cdot Q_{RZ} \quad (2)$$

gdzie:

$Q$  – objętościowy strumień przepływu, m<sup>3</sup>/s

$P$  – ciśnienie gazu, Pa

$T$  – temperatura gazu, K

$RZ/N$  – warunki rzeczywiste / normalne

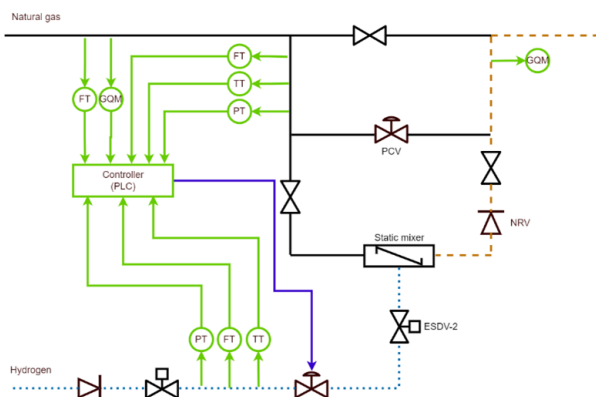
Sterownik, uwzględniając kryteria projektowe, steruje zaworem regulacyjnym (Flow Ratio Control Valve – FRCV) dostosowując przepływ wodoru do przepływu gazu ziemnego, tak aby osiągnąć zadany stosunek gazu ziemnego do wodoru, a tym samym uzyskując mieszaninę końcową o określonej zawartości wodoru. Mieszanina przechodzi przez trzy równoległe mieszacze statyczne, co zapewnia homogeniczność mieszaniny.

Stężenie mieszaniny jest weryfikowane w dwóch etapach:

- Niezależne urządzenie sprawdza stosunek strumieni objętościowych w warunkach normalnych.

- Analizator gazu na wyjściu bada mieszaninę pod kątem zgodności z GS(M)R, mierzy wartości liczby Wobbego, ciepła spalania i stężenia molowego wodoru (< 20%).

Ze względu na dziewięcioszekundowy czas rezydencji próbki w analizatorze jakości gazu, przed wprowadzeniem do sieci gazowej, mieszanina przechodzi przez dodatkową pętlę tzw. pętlę objętościową (Volume Loop) widoczną na rys. 1. Następuje tam potwierdzenie zgodności mieszaniny z GS(M)R. W przeciwnym przypadku następuje odcięcie dopływu mieszaniny do sieci gazowej [5].

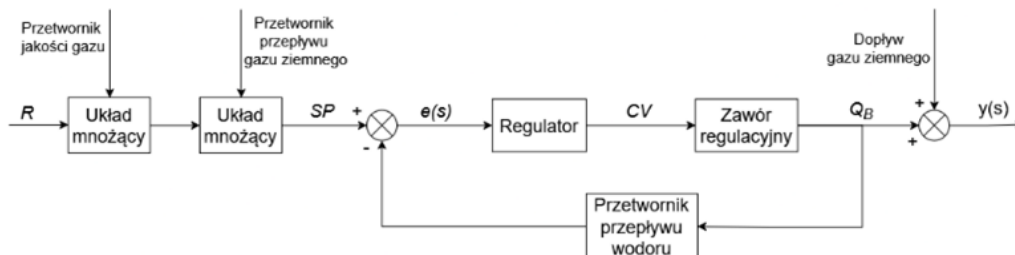


Rys. 2. Układ HyDeploy dozowania wodoru do sieci gazowej [6]  
 Fig. 2. HyDeploy system for dosing hydrogen into the gas network [6]

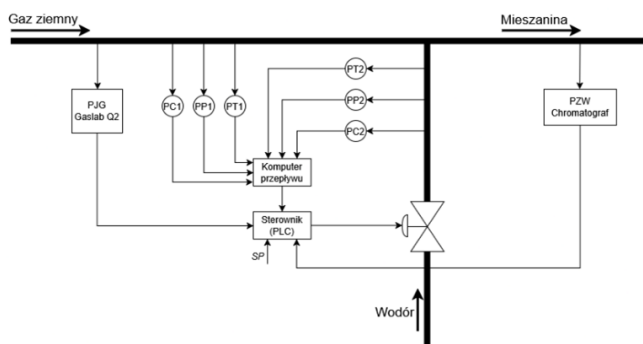
Zaletą układu jest jego prostota. Wadą jest brak sprzężenia zwrotnego umożliwiającego modyfikację składu mieszaniny. Warto zaznaczyć, że takie rozwiązanie jest możliwe jedynie dzięki pętli objętościowej, która wraz z analizatorem gazu zabezpiecza przed wprowadzeniem do sieci mieszaniny niespełniającej wymogów GS(M)R. Schemat blokowy omawianego układu przedstawiono na rys. 3.

## 2.2. Honeywell

Honeywell International Inc., którego układ wprowadzania biometanu do sieci gazowej okazał się bardzo efektywny, wykorzystał zebrane doświadczenie do stworzenia układu jednostki mieszania wodoru z gazem ziemnym [7]. Moduł ten znajduje zastosowanie zarówno w sieciach dystrybucyjnych, jak i przesyłowych, oferując różne warianty, które są dostosowane do parametrów pracy systemu. Układ automatyki może regulować stężenie molowe wodoru w mieszaninie w zakresie 0% do 30% z dokładnością do 1,5% [8]. Struktura układu została przedstawiona na rys. 4.



Rys. 3. Schemat blokowy układu HyDeploy, opracowanie własne  
 Fig. 3. Block diagram of the HyDeploy system, own study



Rys. 4. Struktura układu firmy Honeywell, opracowanie własne  
 Fig. 4. Honeywell automatic control system, own study

W zależności od ciśnienia w gazociągu oraz ciśnienia dostarczanego wodoru, regulator ciśnienia zainstalowany na wejściu jednostki dopasowuje ciśnienie wodoru do ciśnienia sieci gazowej. Układ rozpoczyna proces wyznaczania dopuszczalnej ilości wodoru w mieszaninie poprzez analizę jakości oraz pomiar objętościowego strumienia przepływu gazu ziemnego. Zastosowany analizator gazu [9] ustala ciepło spalania oraz liczbę Wobbego bazując na podstawie pomiarów absorpcji promieniowania podczerwonego oraz przewodności cieplnej próbki gazu. Dzięki temu możliwe jest uzyskanie ciągłego pomiaru jakości gazu, co pozwala na utrzymanie wymogów jakościowych mieszaniny końcowej. Pomiar objętościowego strumienia przepływu gazu ziemnego realizowany jest za pomocą jednego z trzech typów przepływomierzy – ultradźwiękowego, turbinowego lub rotowego – w zależności od parametrów pracy sieci. Na przewodzie doprowadzającym wodór zainstalowany jest przepływomierz Coriolisa. Pomiar przepływu są przesyłane do sterownika, który uwzględniając sygnały z przetworników temperatury i ciśnienia oblicza wartości przepływów w warunkach normalnych. Przepływomierz Coriolisa jest przepływomierzem masowym, dlatego strumień masy przepływu wodoru jest przeliczany na objętościowy strumień przepływu zgodnie ze wzorem (3):

$$Q_N = \frac{\dot{m}_{H_2}}{\rho_{H_2}} \tag{3}$$

gdzie:

$Q_N$  – objętościowy strumień przepływu w warunkach normalnych, m<sup>3</sup>/s

$\dot{m}_{H_2}$  – masowy strumień przepływu wodoru, kg/s

$\rho_{H_2}$  – gęstość molowa wodoru, kg/m<sup>3</sup>

Sterownik porównuje stosunek przepływów wodoru i gazu ziemnego z wartością zadaną, czyli stężeniem molowym wodoru w mieszaninie końcowej, generując odpowiedni sygnał ste-

rujący zaworem regulacyjnym znajdującym się na przewodzie doprowadzającym wodór. W ten sposób realizowane jest sprzężenie zwrotne, a przepływ wodoru staje się proporcjonalny do przepływu gazu ziemnego, dążąc do uzyskania zadanej wartości stężenia molowego wodoru. Za trójnikiem łączącym przewody wodoru i gazu ziemnego zainstalowany jest mieszacz statyczny, który homogenizuje mieszaninę, umożliwiając poprawną jej analizę. Następnie wartość stężenia molowego wodoru w mieszaninie końcowej jest badana przez chromatograf [10], który przesyła wyniki na wejście do sterownika PLC. W przypadku wykrycia odstępstw od oczekiwanego składu, sterownik koryguje sygnał sterujący, zmieniając pozycję zaworu, aby dostarczyć odpowiednią ilość wodoru i uzyskać pożądane stężenie.

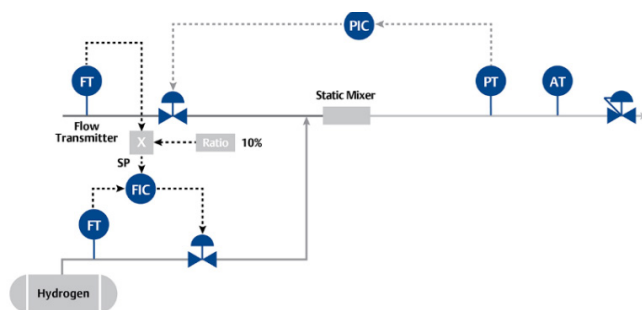
W przypadku, gdy jednostka jest wykorzystywana w gazociągu, który zawiera mieszaninę gazu ziemnego i wodoru, chromatograf dokonuje analizy składu na wejściu. System dostarcza brakującą ilość wodoru zgodnie z wartościąadaną. Istotną wadą układu jest długość cyklu pomiarowego chromatografu, który trwa od 3 do 5 minut, w zależności od liczby sprawdzanych węglowodorów. Stanowi to poważny problem podczas dozowania wodoru do gazociągu, w którym już płynie mieszanina gazu ziemnego i wodoru. Oznacza to, że odpowiedź układu na zmiany stężenia wodoru będzie znacznie opóźniona. W pewnych warunkach może to prowadzić do ciągłych wahań stężenia wodoru w sieci. Dodatkowo, z uwagi na długi cykl pomiarowy, system nie może być wyposażony w mechanizm odprowadzania gazu niespełniającego wymagań jakościowych.

Układ Honeywell'a jest znacznie lepiej przystosowany do dozowania wodoru do czystego gazu ziemnego w stacjach redukcyjnych. Analizator gazu [9], monitorując w czasie rzeczywistym zmiany jakości gazu, reguluje dozowanie wodoru do sieci w taki sposób, aby końcowa mieszanina spełniała wymogi jakościowe. Sprzężenie zwrotne z chromatografu pozwala na eliminację zakłóceń, ale długość cyklu pomiarowego nadal uniemożliwia zastosowanie pętli odprowadzającej, jak to miało miejsce w przypadku rozwiązania w projekcie HyDeploy.

### 2.3. Spartan Controls

SpartanPRO [11] to układ opracowany przez Spartan Controls Ltd., przeznaczony do szerokiego zastosowania zarówno w sieciach gazowych, jak również w przedsiębiorstwach przemysłowych (huty, elektrownie), a także u indywidualnych użytkowników. Struktura podstawowego układu automatyki dozowania wodoru SpartanPRO została przedstawiona na rys. 5. Podczas poboru gazu przez użytkownika występuje spadek ciśnienia w mieszaninie. Wskaźnik ciśnienia oraz regulator (*Pressure Indicator and Controller – PIC*) na podstawie zmierzzonego ciśnienia, zmieniają nastawy zaworu regulacyjnego, zmieniając przepływ gazu ziemnego. Na podstawie pomiaru przepływu gazu ziemnego regulowana jest pozycja kolejnego zaworu regulacyjnego, który znajduje się na przewodzie z wodorem. Przepływ wodoru jest dostosowywany do przepływu gazu ziemnego, tak aby wartość stężenia wodoru w mieszaninie była zgodna z wartościąadaną. Za połączeniem przewodów znajduje się mieszacz statyczny, który homogenizuje gazy przed punktem poboru. Po mieszaczu statycznym skład mieszaniny jest badany przez analizator gazu (AT), który sprawdza czy stężenie wodoru

odpowiada wartości zadanej. Sygnał przetworzony przez analizator gazu zamyka pętlę sterowania układu.



Rys. 5. Podstawowa struktura SpartanPRO [12]  
Fig. 5. SpartanPRO automatic control system [12]

Jak przedstawiono w Tabeli 1, pomiar stężenia wodoru może być obciążony błędem wynikającym z obecności innych składników gazu ziemnego. Projektując system dozowania wodoru uwzględniono wpływ innych gazów na dokładność pomiaru stężenia wodoru na wyjściu montując dodatkowy analizator gazu ziemnego na wejściu do układu [13].

Tabela 1. Wpływ stężenia przykładowych składników gazu ziemnego na dokładność pomiaru wodoru [13]

Table 1. Effect of the concentration of selected natural gas components on the accuracy of hydrogen measurement [13]

Składnik ingerujący	Stężenie składnika	Wpływ na dokładność pomiaru wodoru
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> – Etan	5%	-1,3%
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> – Propan	5%	-2,3%
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> – Butan	5%	-2,88%
CO <sub>2</sub> – Dytlenek węgla	5%	-1,87%
N <sub>2</sub> – Azot	5%	-15%

Analizator gazu na wejściu pozwala również na dostosowanie ilości wodoru wprowadzanej do mieszaniny w przypadku, gdy gaz zawiera już wodór. Spartan Control oferuje dwa modele analizatorów gazu: analizator laserowy Rosemount X-STREAM XEFD [13] oraz chromatograf Rosemount 700XA [14].

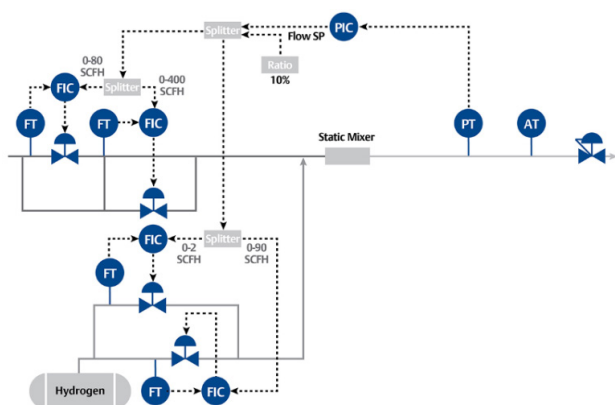
W przypadku stosowania analizatora laserowego, ze względu na wysoką częstotliwość pomiaru i dużą dokładność, korekta pozycji sterowanego zaworu regulacyjnego może następować zbyt często, co może prowadzić do tzw. strefy martwej. Aby temu zapobiec w układzie stosuje się tzw. sterowanie predykcyjne (Model Predictive Control – MPC), które minimalizuje strefę martwą działania zaworu.

Przeprowadzono badania przyjmując szeroki zakres zapotrzebowania na gaz. Zależnie od liczby i mocy urządzeń przepływ gazu zmieniał się w zakresie od około 0,142 m<sup>3</sup>/h do 11,326 m<sup>3</sup>/h. Przyjęto możliwość mieszania wodoru z gazem ziemnym w stężeniu od 1% do 20%. Parametry regulacji przedstawiono w tabeli 2.

**Tabela 2.** Parametry regulacji [14]  
**Table 2.** Control Parameters [14]

	Minimum	Maximum	Stosunek
Zużycie energii [kWh]	1,465	117.228	80:1
Przepływ gazu ziemnego [m <sup>3</sup> /h]	0,142	11.326	80:1
Stężenie wodoru [%]	1	20	20:1
Przepływ wodoru [m <sup>3</sup> /h]	0,00142	2.265	1600:1

Z uwagi na duży zakres zmian zapotrzebowania na gaz ziemny, co powoduje duże zmiany przepływu dostarczanego wodoru, wprowadzono dodatkowe zawory regulacyjne i przepływomierze niezbędne z punktu widzenia dokładności mieszania. Struktura rozszerzonego układu, która pozwala na precyzyjne dostosowanie przepływu mieszanych gazów do potrzeb, została przedstawiona na rys. 6.



**Rys. 6.** Struktura rozszerzonej wersji układu SpartanPRO [14]  
**Fig. 6.** Structure of the expanded version of the SpartanPRO system [14]

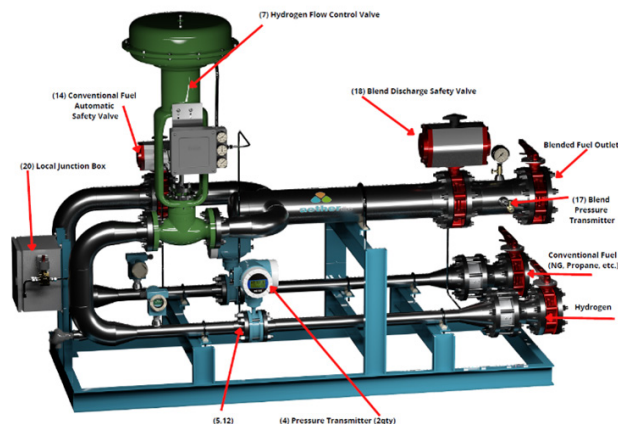
Rozszerzony układ wykorzystuje cztery przepływomierze i cztery zawory regulacyjne, co pozwala na osiągnięcie wymaganej dokładności regulacji. Dostępne wersje podstawowa i rozbudowana pozwalają na dostosowanie rozwiązania do specyfikacji zadania, umożliwiając użytkownikowi wybór między kosztami, a dokładnością funkcjonowania w szerokim zakresie zmian przepływu gazu.

### 2.4. Sagebrush

Układ automatycznej regulacji procesu mieszania wodoru i gazu ziemnego Aether AFC – Sagebrush [15] przedstawiono na rys. 7.

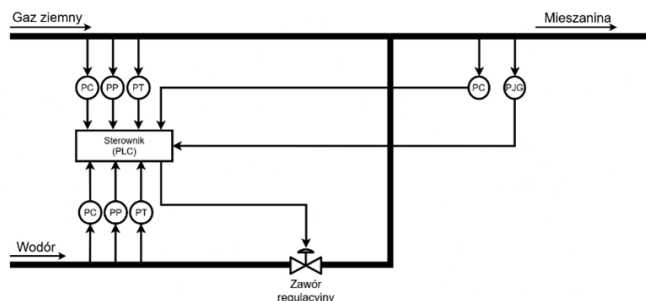
Układ składa się ze sterownika PLC, dwóch przepływomierzy, dwóch czujników temperatury, trzech czujników ciśnienia, zaworu regulacyjnego oraz analizatora wodoru. Omawiany układ (rys. 8) jest typowym układem kaskadowym regulacji stosunku. Do sterownika PLC doprowadzana jest informacja o przepływie, ciśnieniu oraz temperaturze gazu ziemnego i wodoru. Wartości te są wykorzystywane do uzyskania informacji o rzeczywistym stosunku przepływów. Sterownik porównuje rzeczywisty stosunek przepływów z zawartością wodoru w mieszaninie końcowej, a także ilość wodoru w mieszaninie z wartością zadaną i gene-

ruje sygnał do sterowanego zaworu regulacyjnego. Dodatkowy przetwornik ciśnienia na wyjściu stanowi zabezpieczenie przed nagłym wzrostem ciśnienia.



**Rys. 7.** Układ automatycznej regulacji Aether AFC – Sagebrush [15]  
**Fig. 7.** Aether AFC – Sagebrush automatic control system [15]

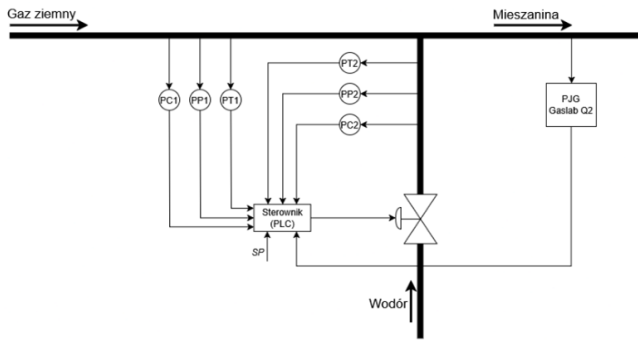
Przedstawiony układ Aether AFC- Sagebrush jest dostosowany jedynie do pracy na sieci transportującej czysty gaz ziemny. W przypadku sieci z mieszaniną wodoru i gazu ziemnego należy zmodyfikować strukturę układu wprowadzając dodatkowy analizator składu gazu na wejściu układu.



**Rys. 8.** Struktura układu Aether AFC – Sagebrush, opracowanie własne  
**Fig. 8.** Aether AFC – Sagebrush automatic control system, own study

### 2.5. INTERGAZ

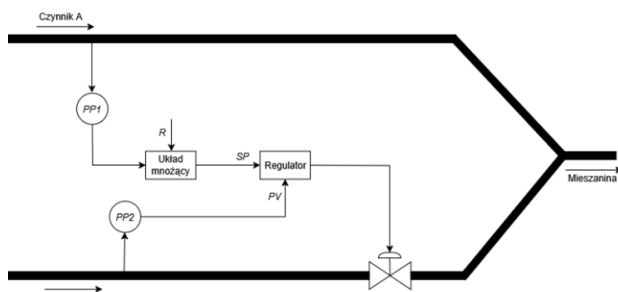
W Intergaz Sp. z o.o. opracowano układ mieszania wodoru z gazem ziemnym, którego schemat został przedstawiony na rys. 9. Układ Intergaz jest układem regulacji stosunku o strukturze kaskadowej, w której główna pętla działa na podstawie pomiaru jakości mieszaniny końcowej. Do sterownika PLC doprowadzane są sygnały z kalorymetru Gaslab Q2 oraz przepływomierzy wodoru i gazu ziemnego wraz z wartościami ciśnienia i temperatury. Generując sygnał sterujący sterownik reguluje ustawieniem zaworu zmieniając przepływ wodoru. Sterownik sprawdza czy parametry mieszaniny gazu z wodorem, takie jak ciepło spalania i liczba Wobbego, znajdują się w dopuszczalnym przedziale zmian. Przedstawiony układ umożliwia regulację dozowania wodoru jedynie w przypadku czystego gazu ziemnego. Układ nie posiada informacji o stężeniu mieszaniny na wejściu do układu.



Rys. 9. Schemat układu INTERGAZ, opracowanie własne  
Fig. 9. INTERGAZ automatic control system, own study

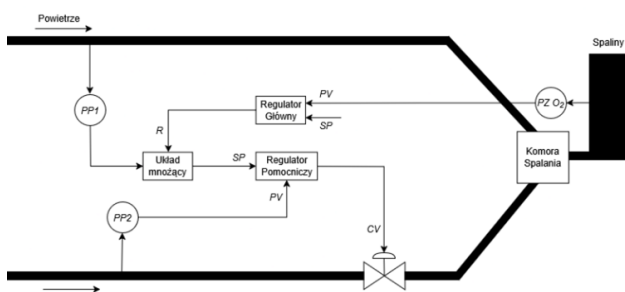
### 3. Podsumowanie

Przedstawione rozwiązania układów automatyki należą do grupy układów regulacji stosunku albo układów regulacji stosunku o strukturze kaskadowej. Do pierwszej grupy zaliczyć należy układ Thyson Technology a pozostałe układy mają strukturę kaskadową. Schemat układu regulacji stosunku przedstawiono na rys. 10. Układ regulacji stosunku to układ, w którym reguluje się stosunek dwóch, lub większej ilości, zmiennych procesowych. Układ regulacji stosunku posiada urządzenie pomiarowe mierzące każdą zmienną procesową, układ mnożący lub dzielący, element wykonawczy oraz sterownik.



Rys. 10. Przykładowy układ regulacji stosunku dwóch czynników, opracowanie własne  
Fig. 10. Example of a control system for the ratio of two variables, own study

Z kolei schemat układu o strukturze kaskadowej przedstawiony na rys. 11. Wykorzystuje on dwa lub więcej regulatorów, z czego regulator główny steruje wartością zadaną na wejście regulatora pomocniczego. Podstawowa mierzona wielkość, stanowiąca cel regulacji układu, jest regulowana przez główny regulator, a regulator pomocniczy wykorzystuje dodatkową zmienną procesową o małym opóźnieniu, która stanowi wielkość pomocniczą.



Rys. 11. Przykładowy układ kaskadowy regulacji stosunku, opracowanie własne  
Fig. 11. An example of a cascade control system, own study

Skuteczność kaskadowych układów regulacji wynika z zastosowania dwóch pętli sprzężenia zwrotnego, co pozwala na znacznie szybszą i precyzyjniejszą reakcję na zakłócenia w porównaniu do standardowych układów jednoobwodowych. Wewnętrzna pętla regulacji (pomocnicza) obejmuje część obiektu, która najszybciej reaguje na zmiany sygnału sterującego. Dzięki temu zakłócenia powstające wewnątrz tej pętli są tłumione zanim zdążą wpłynąć na główną wielkość regulowaną. Regulator nadrzędny (główny) koncentruje się wyłącznie na utrzymaniu wartości zadanej głównego procesu, podczas gdy regulator podrzędny dba o precyzyjne sterowanie parametrem pośrednim.

### 4. Literatura

- [1] Directive 2023/2413, Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023L2413&qid=1699364355105>
- [2] European Commission. (2022, May 18). Communication from the Commission to the European parliament, the Council, the European economic and social committee and the Committee of the regions: REPowerEU Plan (Report COM/2022/230 Final). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2022%3A230%3AFIN&qid=1653033742483>
- [3] European Commission. (2020, July 8). Communication from the Commission to the European parliament, the Council, the European economic and social committee and the Committee of the regions: A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe (Report CM/2020/301 Final). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301>
- [4] Załącznik do uchwały nr 22/2021 Rady Ministrów z dnia 2 lutego 2021 r. Polityka Energetyczna Polski do 2040 r. <https://www.gov.pl/web/klimat/polityka-energetyczna-polski>
- [5] HyDeploy Consortium. (2021). HyDeploy Project Close Down Report June 2021 Revision 03 (Final). HyDeploy. <https://hydeploy.co.uk/project-phases> (dostęp 2.04.2026)
- [6] Isaac T. (2019). HyDeploy: The UK's First Hydrogen Blending Deployment Project. *Clean Energy* 3(2), 114–125. <https://doi.org/10.1093/ce/zkz006>
- [7] Honeywell International Inc. (2020). Decarbonizing natural gas grids with renewable gases [Brochure]. <https://process.honeywell.com/content/dam/process/en/documents/downloads/Grid-Injection-Datasheet-2022.pdf> (dostęp 2.04.2026)
- [8] Honeywell International Inc. (2022). Honeywell hydrogen grid entry system [Brochure]. <https://process.honeywell.com/content/dam/process/en/documents/downloads/Grid-Injection-Datasheet-2022.pdf> (dostęp 2.04.2026)
- [9] Honeywell Process Solutions. (2020). Elster GasLab Q2 Real-time Natural Gas Analyzer. [Brochure]. <https://prod-edam.honeywell.com/content/dam/honeywell-edam/pmt/hps/products/pmc/gas/transmission/gas-analysis-equipment/gaslab-q2/pmt-hps-GasLab-Q2-Brochure.PDF> (dostęp 2.04.2026)

- [10] Honeywell International Inc. (2016). Elster EnCal 3000 BTU analyzer [Brochure]. <https://prod-edam.honeywell.com/content/dam/honeywell-edam/pmt/hps/products/pmc/gas/transmission/gas-analysis-equipment/encal-3000-prochain/pmt-hps-Elster-Encal3000-Datasheet.pdf> (dostęp 2.04.2026)
- [11] Spartan Controls. (2023). SpartanPRO Hydrogen Blending – Spartan’s complete solution for hydrogen blending and measurement in natural gas distribution [Brochure]. [https://www.spartancontrols.com/getattachment/7ccf2ddb-19f6-49fc-9c5f-8ba6d1df90b3/spartan-controls-hydrogen-blending\\_11-2023.pdf](https://www.spartancontrols.com/getattachment/7ccf2ddb-19f6-49fc-9c5f-8ba6d1df90b3/spartan-controls-hydrogen-blending_11-2023.pdf) (dostęp 2.04.2026)
- [12] Emerson Automation Solutions. (2022). Emerson Technologies Help SoCalGas Deliver Clean Energy for [H<sub>2</sub>] Innovation Experience. <https://www.emerson.com/documents/automation/socalgas-delivers-clean-energy-for-%5Bh2%5D-innovation-experience-en-8618038.pdf> (dostęp 2.04.2026)
- [13] McKimmie R. (2023). Hydrogen Integration into Natural Gas Streams: Ensuring Safety. Spartan Controls. <https://www.spartancontrols.com/blog/2023/hydrogen-integration-into-natural-gas-streams-ensuring-safety> (dostęp 2.04.2026)
- [14] Harris S., Burkowsky B. (2023). Optimize self-generated green H<sub>2</sub> consumption via fuel cells and natural gas blending. [https://read.nxtbook.com/gulf\\_energy\\_information/h2tech/july\\_2023/blending\\_ng\\_h2\\_harris\\_emerson.html](https://read.nxtbook.com/gulf_energy_information/h2tech/july_2023/blending_ng_h2_harris_emerson.html) (dostęp 2.04.2026)
- [15] Sagebrush. (2024). AFC HYDROGEN GAS H<sub>2</sub>NG BLENDER [Brochure]. <https://sagebrushpl.com/wp-content/uploads/2024/01/Sagebrush-Aether-H2NG-blender-FINAL-5.10.22.pdf> (dostęp 2.04.2026)