

Integracja sieci gazowej z inteligentnym systemem energetycznym jako element efektywności, niezawodności i trwałości systemu multienergetycznego

Integration of the gas network with an intelligent energy system as an element of efficiency, reliability and sustainability of the multi-energy system

Michał Kałowski^{*)}

Słowa kluczowe: inteligentna sieć gazowa, Smart Grid, transformacja energetyczna, dekarbonizacja, Europejski Zielony Ład, Power-to-Gas, LNG, biogaz

Streszczenie

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie roli systemu gazowego w zachodzącej transformacji energetycznej. Określenie możliwości wykorzystania paliwa gazowego do bilansowania energii, a także wraz z zachodzącą dekarbonizacją systemu energetycznego oraz realizacją celów klimatycznych Unii Europejskiej wskazanie potrzeby integracji sektora gazowniczego z siecią elektroenergetyczną. Zakres niniejszego artykułu wskazuje rozwiązania techniczne umożliwiające powstanie inteligentnej sieci gazowej jako głównego elementu sieci Smart Grid zapewniającego bezpieczeństwo dostaw energii.

Keywords: smart gas grid, Smart Grid, energy transition, decarbonization, European Green Deal, Power-to-Gas, LNG, biogas

Abstract

The objective of this article was to describe the role of the gas system in the ongoing energy transition. Determination of the possibilities to use the gaseous fuel for energy balancing as well as the ongoing decarbonization of the energy system and the implementation of the EU climate goals may indicate the need for integration of the gas sector with the power grid. The scope of this article indicates the technical solutions that enable the creation of the Intelligent Gas Grid as the main element of the Smart Grid ensuring the security of the energy supply.

1. Wstęp

Rosnące zapotrzebowanie na paliwo gazowe związane z wytwarzaniem energii elektrycznej czy ciepła, uwarunkowuje potrzebę integracji systemu gazowego z innymi sektorami energetycznymi, a w szczególności z siecią elektroenergetyczną. Następujące zmiany klimatu powiązane z degradacją środowiska naturalnego stanowią istotne zagrożenie dla bezpieczeństwa państw członkowskich Unii Europejskiej i całego świata. Zwiększony udział sektora gazownictwa w bilansowaniu systemu energetycznego związany jest bezpośrednio z polityką klimatyczną Unii Europejskiej, a także zwiększającą się świadomością ekologiczną. Wprowadzone regulacje prawne i założenia pod koniec 2019 r., znane pod nazwą „Europejskiego Zielonego Ładu”, zakładają transformację obecnie istniejącej infrastruktury energetycznej. Dekarbonizacja systemu energetycznego stanowi istotny punkt dla osiągnięcia celów klimatycznych zarówno do 2030 roku, jak i długoterminowej strategii, która zakłada osiągnięcie neutralności klimatycznej związanej z emisją dwutlenku węgla do 2050 roku. Stawiane wyzwania definiują potrzebę powstawania nowoczesnych i zintegrowanych systemów przesyłu oraz dystrybucji energii, które będą przyjazne dla odnawialnych źródeł energii. Wprowadzenie zaawansowanej i inteligentnej technologii przyczyni się do powstawania silnie działającego systemu energetycznego Unii Europejskiej. Działania te mają doprowadzić do redukcji emisji gazów

cieplarnianych, zwiększenia energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych, a także poprawę efektywności energetycznej. Koncepcja inteligentnych sieci ma odegrać kluczową rolę w ewolucji obecnego europejskiego rynku energii. Nowoczesna technologia ma być gwarancją przystosowania obecnej i przyszłej infrastruktury do niskoemisyjnych źródeł energii. Za główny cel stawia się stworzenie zintegrowanego, europejskiego rynku energetycznego w celu dywersyfikacji tras, źródeł i dostaw energii mającego wpływ na poprawę bezpieczeństwa energetycznego państw członkowskich.

1. Definicja prawna inteligentnej sieci

Zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej nr 347/2013 z dnia 17 kwietnia 2013 r. w sprawie wytycznych dotyczących transeuropejskiej infrastruktury energetycznej (TEN-E), definiuje się jedynie „inteligentną sieć” w stosunku do sieci elektroenergetycznej. Odnosząc się do terminologii przedstawionej w danym rozporządzeniu, charakteryzuje się Inteligentną Sieć (ang. Smart Grid) jako „sieć elektroenergetyczną, która może w sposób efektywny kosztowo integrować zachowania i działania wszystkich przyłączonych do niej użytkowników, w tym również wytwórców, odbiorców oraz użytkowników

^{*)} Michał Kałowski – inż., absolwent Politechniki Warszawskiej na wydziale Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, e-mail: mchkalowski@gmail.com

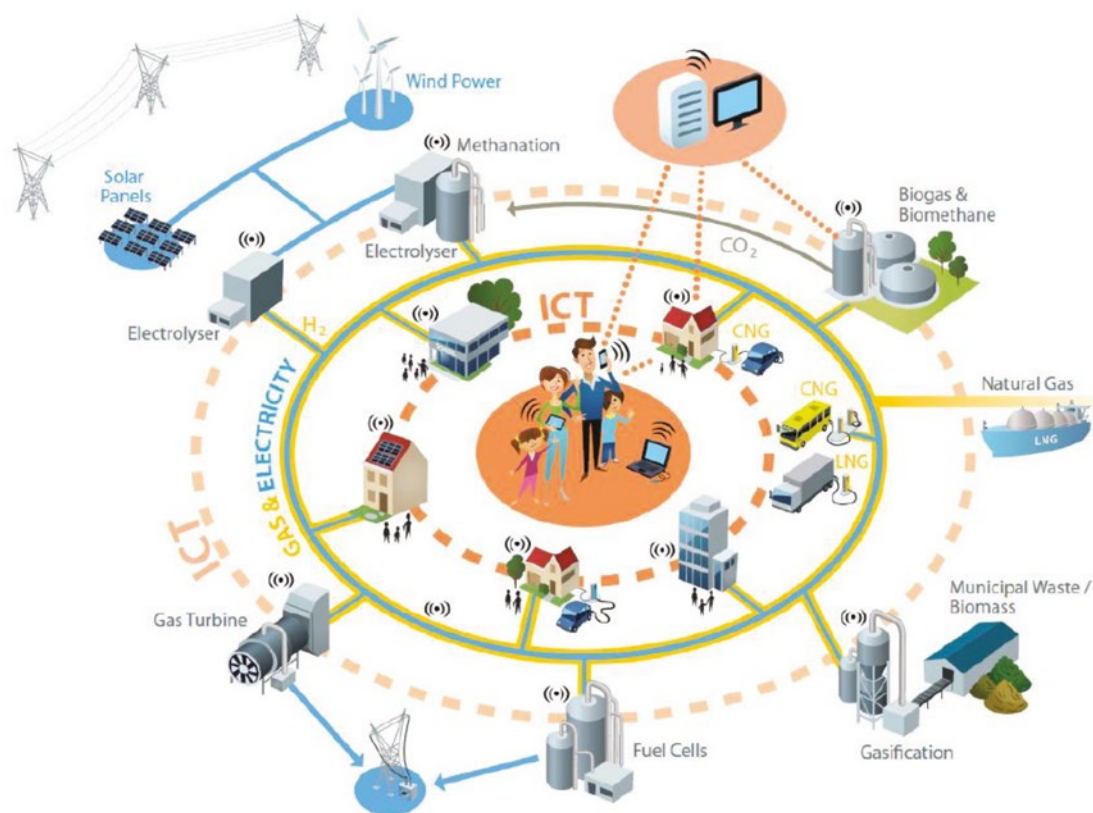
będących zarazem wytwórcami i odbiorcami, w celu zapewnienia efektywnego i zrównoważonego pod względem ekonomicznym systemu energetycznego, o niskim poziomie strat oraz wysokim poziomie jakości oraz bezpieczeństwa dostaw i ochrony” [13]. Jest to jedyna podstawa prawna, która zdefiniowała i wdrożyła do europejskiego porządku, prawną definicję „inteligentna sieć”. Ustawodawca w danym akcie prawnym ukierunkowuje działania w stosunku do rozwoju inteligentnych systemów jako znaczący krok do uzyskania neutralności klimatycznej do 2050 roku, a także osiągnięcia celów polityki energetycznej Unii Europejskiej, która zakłada zrównoważony rozwój, bezpieczeństwo dostaw i konkurencyjność na rynku światowym.

Termin „inteligentna sieć gazowa” jest pojęciem stosunkowo nowym, który nie został w żaden sposób formalnie zdefiniowany w akcie prawnym. Jest jednak odpowiedzią sektora gazowniczego na znaczący rozwój rynku energetycznego w celu osiągnięcia założeń polityki Unii Europejskiej. Jednak wyzwania, w stosunku do sieci elektroenergetycznej, jakie są podane w rozporządzeniu wydanym przez europejskiego ustawodawcę, są również trafne w przypadku sieci gazowych. W danym akcie prawnym nie występują żadne regulacje, które wykluczałyby realizację koncepcji powstania inteligentnego systemu w stosunku do sieci gazowych. W związku z powyższym, uzasadnione jest zdefiniowanie pojęcia „inteligentnej sieci gazowej”, przy wykorzystaniu ustalonych norm i założeń w odniesieniu do prawnej definicji ujętej w Rozporządzeniu dotyczącej transeuropejskiej infrastruktury energetycznej. Definicja inteligentnej sieci gazowej (ISG) została sformułowana w dokumencie opracowanym przez Grupę Kapitałową Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo wraz z spółkami zależnymi i Izbą Gospodarczą Gazownictwa „Strategia wsparcia projektów inwestycyjnych dla inteligentnych sieci gazowych w perspektywie finansowej 2014-2020”. W danym opracowaniu określono inteligentną sieć gazową jako „sieć gazową, wraz z przyłączonymi do niej instalacjami i urządzeniami, która pozwala w sposób efektywny kosztowo integrować na różnych poziomach zachowania i działania wszystkich uczestników procesów produkcji, przesyłania,

dystrybucji, magazynowania, skraplania, regazyfikacji i obrotu paliw gazowych, w celu ich dostarczenia w sposób niezawodny, bezpiecznie i efektywny ekonomicznie oraz z uwzględnieniem wymogów ochrony środowiska i uzasadnionych potrzeb odbiorców” [14]. Zaproponowana definicja trafnie odzwierciedla założenia przedstawione w rozporządzeniu (TEN-E) wydanym przez europejskiego ustawodawcę, a także pozwala na unowocześnienie istniejącej infrastruktury gazowej wraz z rozwijającym się rynkiem energetycznym. Ogólny charakter inteligentnej sieci gazowej (ISG) nie koliduje z żadnymi rozwiązaniami już wypracowanymi, a także pozwala w sposób bardziej sprecyzowany wcielać nowe założenia przez poszczególne kraje o różnych stopniach zaawansowania technicznego. Podana definicja akceptuje również istnienie innych podsystemów wchodzących w skład systemu energetycznego m.in. inteligentnych sieci ciepłowniczych.

1.1 Rola inteligentnej sieci gazowej

Koncepcja powstania inteligentnej sieci gazowej (ISG) związana jest bezpośrednio z przyszłą integracją z systemami elektroenergetycznymi, które wymagają wsparcia w celu poprawy efektywności i elastyczności w dostawie energii [7]. System gazowy charakteryzuje się dużym potencjałem do magazynowania energii, co wpływa znacząco na możliwości dostosowania się na zachodzące zmiany zapotrzebowania na energię. Magazynowanie energii w postaci gazowej, może odbywać się poprzez specjalne instalacje dedykowane do tej roli, przy wykorzystaniu istniejącej infrastruktury, a także samej sieci w wyniku zmiany ciśnienia gazu w zależności od zapotrzebowania na gaz. Sieć gazowa w takim rozwiązaniu pełni rolę rezerwy energii, który w sposób istotny odciąża sieć elektroenergetyczną w czasie szczytowego zapotrzebowania, a także awarii. Koncepcja taka zakłada dwukierunkową współpracę sieci gazowej z elektroenergetyczną. Gaz jest dostarczany w nagłych, niesprzyjających sytuacjach, natomiast podczas nadwyżki energii elektrycznej gromadzony jest w istniejącej infrastrukturze wykorzystując duże możliwości akumulacyjne.



Rys. 1. Schemat inteligentnej sieci gazowej (ISG) [15]
Fig. 1. Diagram of a smart gas network (SGN)

1.2 Integracja sieci gazowej z odnawialnymi źródłami energii (OZE)

Wzrost udziału energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych w sektorze gazowym jest bezpośrednio związany z Unijnym pakietem klimatyczno-energetycznym, który zakłada znaczącą redukcję emisji gazów cieplarnianych poprzez poprawę efektywności energetycznej i wykorzystywania energii ze źródeł odnawialnych. Obowiązujące prawo, a także rozwój rynku energetycznego, przyczynił się do większej integracji „zielonego gazu” z sieciami gazu ziemnego. Jest to istotna zmiana dla obecnie istniejącej infrastruktury, ponieważ gaz ziemny pochodzi ze scentralizowanych źródeł geologicznych, natomiast gaz ze źródeł odnawialnych może być dostarczany od lokalnych producentów. Wiąże się to z powstaniem nowych punktów węzłowych w sieci gazowej, które muszą być w pełni kontrolowane, aby jakość i ilość przepływającego paliwa była zgodna z obowiązującymi normami i założeniami.

Współcześnie należy zauważyć znaczną modernizację produkcji rolnej. Nowoczesne rolnictwo staje się w obecnej chwili, w dużej części, zakładami produkcyjnymi, niż jak to zostało utarte w tradycji, małymi gospodarstwami rolnymi. W związku z znaczącą rolą rolnictwa w polskiej gospodarce, należy w sposób przemyślany wdrożyć możliwości wykorzystania tego sektora do produkcji „zielonego gazu”. Jednym ze sposobów zmniejszenia udziału konwencjonalnego źródła energii w postaci gazu ziemnego jest instalacja przetwarzająca biomasa rolniczą i odpady organiczne w procesie fermentacji beztlenowej [11]. Produktem tego przebiegu jest biogaz, który jest mieszaniną tworzoną głównie z metanu. Należy zwrócić szczególną uwagę, że podczas każdej działalności rolniczej związanej z produkcją, powstają odpady zawierające substancje odżywcze. Stawia to duże możliwości w kontekście rozwoju i dywersyfikacji pochodzenia niekonwencjonalnego źródła energii w postaci gazu. Podczas produkcji rolnej, powstaje wiele odpadów, które często składowane są w nieodpowiedni i niekontrolowany sposób, stając się źródłem emisji gazów cieplarnianych czy dwutlenku węgla. Jest to duży potencjał do uzyskania nośnika energii, który przyniesie przede wszystkim korzyści ekologiczne, a także ekonomiczne i społeczne [23].

W związku z coraz większym naciskiem wzrostu udziału energii ze źródeł słonecznych czy wiatrowych, należy zwrócić uwagę na silnie rozwijającą się technologię Power-to-Gas (P2G), która może odegrać kluczową rolę dla sektora gazowego w uzyskaniu neutralności klimatycznej dla paliwa gazowego. Technologia Power-to-Gas wykorzystuje nadwyżki energii wytworzone np. w siłowniach wiatrowych czy panelach fotowoltaicznych, do produkcji wodoru w procesie elektrolizy przy wykorzystaniu energii elektrycznej [8]. Jest to proces całkowicie odwracalny, który może zostać przekształcony w energię elektryczną. Powstała „zielona energia” może być wykorzystywana dla przemysłu, magazynów energii czy paliwa w transporcie. Wytworzony wodór może być zatłaczany do sieci gazowej w mieszaninie z gazem ziemnym. Jednak wymagana jest odpowiednia kontrola tego procesu ze względu na zmieniające się parametry paliwa gazowego.

Tab. 1. Strumień energii przesyłanej dla gazów przy temperaturze 15 °C i ciśnieniu 0,4 MPa [24]

Tab. 1. Energy stream transmitted for gases at a temperature of 15 °C and a pressure of 0,4 MPa

Parametr	Gaz ziemny grupy E	Wodór H ₂	Gaz E + 2% H ₂	Gaz E + 5% H ₂	Gaz E + 10% H ₂
Gęstość [kg/m ³]	2,837	0,336	2,467	2,062	1,620
Gęstość przy temperaturze 25 °C i ciśnieniu 1 bar [kg/m ³]	0,6901	0,0821	0,5994	0,5020	0,3950
LHV wartość opałowa [MJ/m ³]	32,08	9,84	32,01	28,19	24,02
Strumień energii [kWh/h]	22149	6835	21874	21334	20590

Zgodnie z tabelą przedstawiona powyżej, strumień energii takiej mieszaniny zmienia się w sposób istotny w porównaniu do czystego gazu ziemnego. Mieszanina gazów wprowadzana do sieci gazowej musi spełniać odpowiednie parametry, stąd zawartość wodoru nie może być zbyt wysoka. Znajomość parametrów danego paliwa musi być znana w czasie rzeczywistym ze względu na różnicę zarówno technicznych, jak i ekonomicznych, związanych z rozliczeniem odbiorców końcowych. Dopuszczalne stężenie wodoru w gazie ziemnym jest powiązane z rodzajem gatunków stali wykorzystywanych do budowy poszczególnych odcinków liniowych. Właściwości fizyko-chemiczne mieszaniny gazowej mają znaczący wpływ na parametry eksploatacyjne:

- przepustowość sieci – mniejsza wartość energii przesyłanej dla identycznej objętość w określonych zakresach ciśnienia,
- wydajność tłoczni gazu przystosowanej do parametrów gazu ziemnego staje się niższa,
- proces spalania związany z charakterystyką płomienia uwarunkowany rodzajem palnika i jego charakterystyką,
- prędkość propagacji płomienia jest bezpośrednio większa dla wodoru,
- wyższa temperatura płomienia,
- emisja NOx dla mieszaniny gazu ziemnego z wodorem staje się większa w związku z temperaturą płomienia – większa wartość generuje większą emisję NOx.

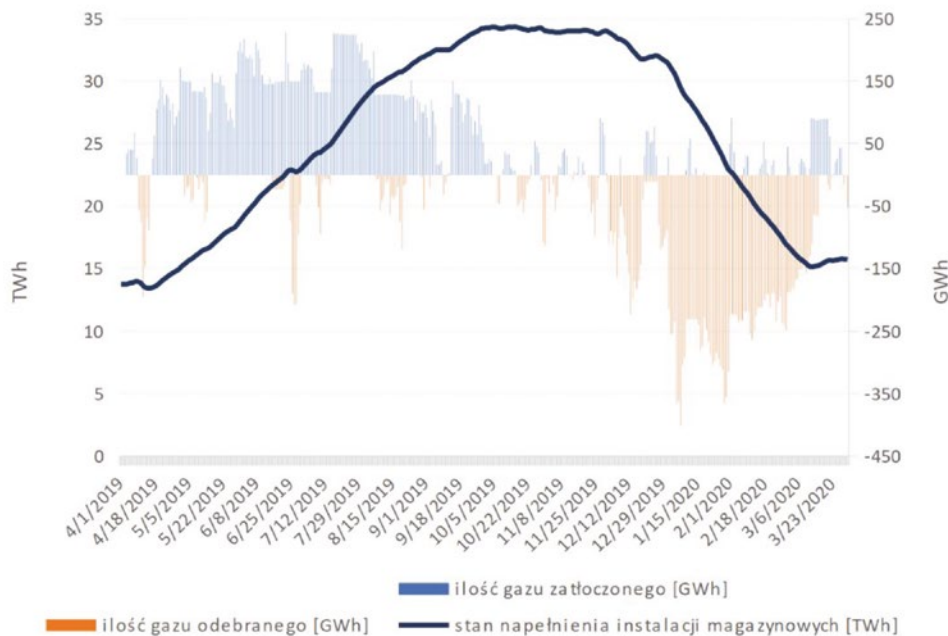
1.3 Integracja sieci gazowej z magazynami energii

Wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w bilansowaniu systemu energetycznego niesie za sobą problemy związane z niekontrolowaną produkcją energii w przekroju całego roku. Ilość energii wytworzonej w danych jednostkach jest silnie zależna od zmiennych warunków pogodowych. Zapotrzebowanie na energię odbiorców końcowych jest zróżnicowane w czasie. Efektywne zarządzanie systemem gazowym musi być silnie powiązane z technologią magazynowania energii (gazu) w celu bilansowania szczytowych i niekontrolowanych obciążeń związanych z nierównomiernością poboru paliwa w trakcie doby oraz całego sezonu. Nadmiar energii gromadzony jest w specjalnie przygotowanych magazynach i oddawany jest w raz ze zwiększonym zapotrzebowaniem odbiorców. W określonych warunkach tj. awarie czy prace konserwacyjne, energia pobierana jest tylko z magazynów energii. Główne czynniki i cele jakie powinna spełniać technologia magazynowania energii:

- efektywność energetyczna – dużą sprawność związana z maksymalnym wykorzystaniem jednostek produkcji energii m.in. siłowni wiatrowych,
- integracja źródeł odnawialnych – w sprzyjających warunkach atmosferycznych, pomimo braku zapotrzebowania na energię, należy w jak najlepszy i największy sposób produkować energię.

1.4 Zarządzanie siecią i bezpieczeństwo

Rozwój inteligentnych sieci jest bezpośrednio związany z budową i tworzeniem nowoczesnego, zintegrowanego rynku energetycznego współpracującego z odnawialnymi źródłami energii. Duże znaczenie w rozwoju całego systemu energetycznego ma zwiększona świadomość ekologiczna, która wpływa na zwiększony udział energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych, a także wykorzystywanie energii w optymalnym zakresie. Zwiększająca się możliwość wtłaczania do całego systemu innych paliw gazowych niż konwencjonalny gaz ziemny tj. wodór czy biometan, wiąże za



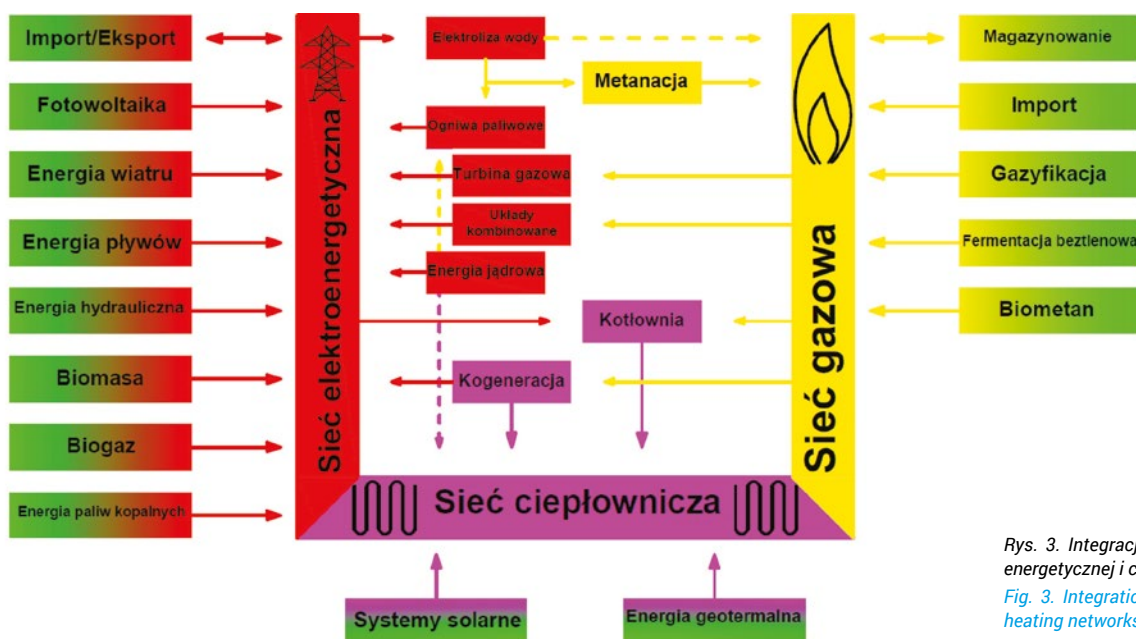
Rys. 2. Profil wykorzystania systemu magazynowego gazu w Polsce w 2019/2020 roku [16]
 Fig. 2. Profile of the use of the gas storage system in Poland in 2019/2020

sobą potrzebę implementacji odpowiedniego monitoringu i opomiarowania w czasie zbliżonym do rzeczywistego. Wdrożenie zaawansowanej technologii do struktury sieci gazowej umożliwi optymalne wykorzystanie całego systemu w czasie rzeczywistym wpływając na bezpieczeństwo operacji zarówno technicznych, jak i rynkowych związanych z zarządzaniem szeroko rozumianą energią. W takim rozwiązaniu, odbiorca otrzymuje energię niezależnie od jej postaci i źródła pochodzenia (gaz, energia elektryczna czy ciepło), rozliczając się końcowo za zużytą energię w jednakowej mierze (rys. 3). Wpłyne to na zwiększoną możliwość sterowania zarówno popytem i podażą gazu przez operatorów oraz odbiorców poprzez optymalne i bezpieczne wykorzystanie paliwa gazowego. Integruje to zachowania wszystkich połączonych użytkowników wpływając na korzystny pod względem finansowym wybór nośnika energii. Poprawa i zwiększenie informacji na temat poszczególnych parametrów sieci przyczyni

się do odpowiedniej kontroli stanu technicznego. Ograniczenie strat energii, poprzez zły stan techniczny infrastruktury gazowej, pozwoli zaoszczędzić nakłady finansowe związane z przerwami w dostawie paliwa podczas napraw i wymian poszczególnych elementów sieci. Jest to również korzystne z punktu widzenia ekologicznego, związane z niekontrolowaną emisją gazu przyczyniającego się do degradacji środowiska naturalnego. Generacja rozproszona energii warunkuje powstanie inteligentnego zarządzania sieciami, zarówno przesyłowymi jak i dystrybucyjnymi, ponieważ produkcja oraz transport paliwa gazowego jest silnie zdecentralizowana. Bez odpowiedniego systemu opomiarowania nie jest możliwe stworzenie, tak zróżnicowanego rynku, który wpływa w znaczącym stopniu na przepustowość sieci i istniejące ograniczenia mocy przyłączeniowej.

2. Rozwiązania techniczne budujące inteligentną sieć gazową

Budowanie inteligentnej sieci gazowej (ISG) musi być powiązane ze znaczącym rozwojem sektora gazowego, który będzie nadążał za obecną transformacją rynku energetycznego, związanego z kryzysem klimatycznym. ISG składająca się z urządzeń pomiarowych i monitoringu parametrów pracy sieci gazowej w czasie rzeczywistym, przyczyni się do znaczącej automatyzacji procesów występujących w sieci, poprawiając w istotny sposób możliwość implementacji do systemu gazowego „zielonego gazu” oraz zapewniając wysoki poziom bezpieczeństwa dla pracy infrastruktury gazowej. Urządzenia pomiarowe umożliwiają odpowiednie zarządzanie dystrybucją oraz magazynowaniem gazu poprzez zdalny pomiar ciśnienia, jakości czy ilości gazu występującego



Rys. 3. Integracja sieci gazowej, elektroenergetycznej i ciepłowniczej [20]
 Fig. 3. Integration of gas, electricity and heating networks

w systemie gazowym. Możliwości pomiarów parametrów pracy sieci połączone z systemami prognostycznymi oraz wizualizującymi, umożliwią prawidłową ocenę kosztów dostaw i zużycia gazu, zapewniając optymalnie kosztowo obrót paliwa gazowego. Automatyzacja elementów stacji gazowej, przyczyni się do efektywnego rozprowadzania paliwa gazowego, zapewniając odpowiednie parametry pracy sieci, poprzez sterowanie ciśnieniem i przepływem paliwa gazowego w czasie rzeczywistym.

2.1 Inteligentne rury

Pojęcie „inteligentnej rury” (ang. smart pipe), związane jest z zastosowaniem monitoringu infrastruktury liniowej, przyczyniającej się do wydłużenia czasu pracy całej sieci, a także znacznemu zwiększeniu bezpieczeństwa wokół samej sieci wynikającej z palności i wybuchowości gazu transportowanego systemem rurociągów. Niekontrolowane wycieki metanu do atmosfery są również powodem degradacji otaczającego środowiska. Do głównych przyczyn przerwania ciągłości rurociągów należą: korozja lub erozja ścian zewnętrznych i wewnętrznych rur, nieodpowiednie połączenia (np. spawane) oraz ich pęknięcia, występujące naprężenia wynikające z ruchów gruntów, wady materiałowe czy nieuważne wykonywanie prac ziemnych wokół infrastruktury liniowej [2]. Charakterystyka „inteligentnej rury” związana jest głównie z możliwością automatycznego i zdalnego monitorowania pracy gazociągu. Odpowiednie informacje dostarczane w czasie rzeczywistym pozwolą na działania prewencyjne dyspozytorów oraz służb eksploatacyjnych w celu zminimalizowania strat wynikających z rozszczelnienia rurociągów. Istotna jest również lokalizacja wystąpienia przerwania ciągłości obiektów liniowych, pozwalająca na szybką możliwość wykonania prac naprawczych i zmniejszenia kosztów eksploatacyjnych związanych z przerwami w dostawie paliwa gazowego oraz rekultywacji środowiska naturalnego. Czujniki czy inne urządzenia kontrolne powinny być niezawodne i szczególnie odporne na działanie czynników zewnętrznych, aby w jak największym stopniu wyeliminować fałszywe alarmy. Metody wykrywania wycieków gazu muszą

gwarantować wczesną detekcję utraty ciągłości infrastruktury liniowej powiązanej z odpowiednią lokalizacją źródła awarii, zależną od klasy gazociągu, a także powinny umożliwiać określenie objętości ulatniającego się gazu do atmosfery.

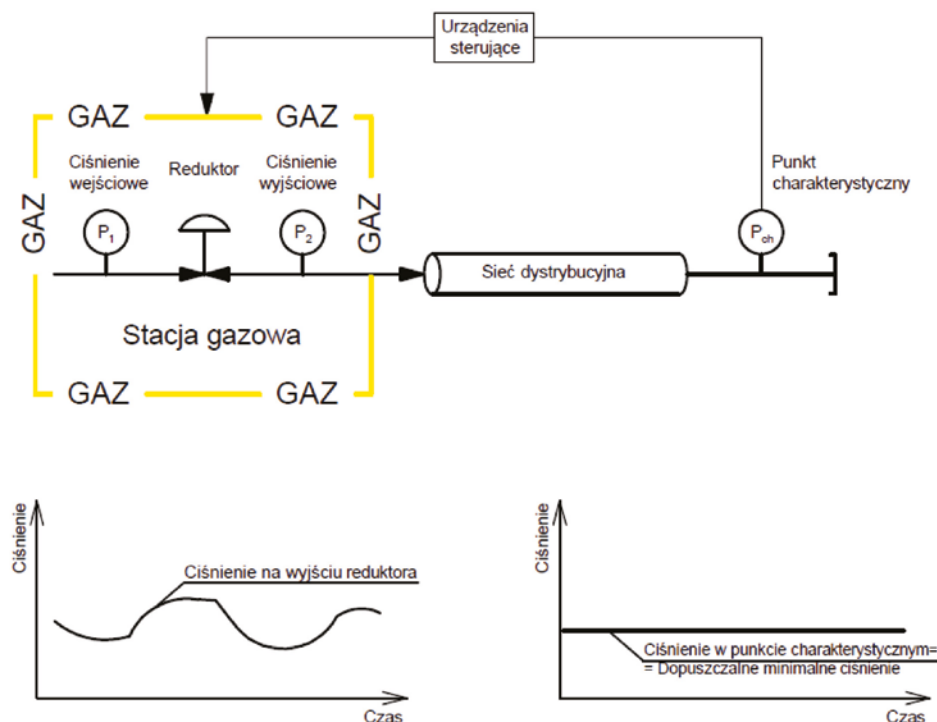
Jedną z metod technicznych, która spełni wyżej wymienione wymagania, dotyczy zastosowania czujników światłowodowych do wykrywania nieszczelności gazociągów. Jest to technika umożliwiająca proces ciągłej kontroli parametrów pracy rurociągu poprzez wykorzystywanie zjawisk fizycznych podczas wycieku gazu do atmosfery. Wyciekające paliwo powoduje zmianę temperaturę poprzez adiabatyczne rozprężanie gazu (efekt Joule’a Thomsona). Miejscowe obniżenie wartości temperatury wskazuje miejsce wycieku, poprzez jednoznaczne zmiany profilu temperatury. Rozwiązanie takie wymaga umiejscowienia światłowodu wzdłuż obiektów liniowych, a następnie poprzez impulsy laserowe wyznaczany jest profil temperatury dla danego gazociągu [4]. Zaletą sensorów światłowodowych jest brak sygnałów elektrycznych, które wykluczają możliwości iskrzenia powodując zwiększenie bezpieczeństwa wynikające z zastosowanej techniki. Również dużą korzyścią tej metody jest dokładność lokalizacji miejsca wycieku gazu [4]. W obszarach miejskich oraz silnie zurbanizowanych odpowiednia detekcja oraz lokalizacja przerwania ciągłości rurociągu jest niezbędna do zachowania wymaganego bezpieczeństwa dla ludzi i mienia.

2.2 Urządzenia do sterowania ciśnieniem sieci gazowej

Odpowiedni pomiar ciśnienia w sieci gazowej połączony z automatycznym sterowaniem stacjami gazowymi wpłynie znacząco na ograniczenie strat gazu oraz optymalną pracę obiektów liniowych. Odpowiednie zarządzanie siecią przez dyspozytora jest niezwykle istotne dla prawidłowej pracy całej sieci gazowej, mające wpływ na bezpieczeństwo dostaw paliwa gazowego. Automatyczne sterowanie ciśnieniem powinno umożliwiać odpowiedni monitoring całego procesu, w połączeniu z możliwością zdalnego sterowania elementami sieci, a także ingerencją przez dyspozytora do wprowadzania zmian i korekt. Zarządzanie ciśnieniem w sieci gazowej w aktywny sposób, przyczyni się do ograniczenia strat paliwa gazowego.

Straty ciśnienia w sieci wynikające z awarii czy nieszczelności są związane z ciśnieniem występującym w sieci. Utrzymywanie zbyt wysokiego średniego ciśnienia w systemie z tego powodu jest niekorzystne, ponieważ strata gazu są też wyższe.

Sterowanie siecią w oparciu o system zamknięty, gdzie parametry ciśnienia z punktu charakterystycznego przesyłane są poprzez urządzenia sterujące do reduktora, modyfikując w ten sposób profil ciśnienia wyjściowego stacji redukcyjnej. W punkcie charakterystycznym pomiar chwilowego ciśnienia następuje w krótkich odstępach czasowych, przekazując zmierzoną wartość m.in. poprzez drogę radiową do komputera będącego jednostką centralną. Następnie sygnał przekazywany jest do reduktora, który przyjmując określoną wartość. Ciśnienie wyjściowe w stacji gazowej oraz ciśnienie w punkcie charakterystycznym są ze sobą skorelowane, gdyż wzrastająca wartość dla przyjętego punktu powoduje ustawienie sterownika reduktora na jego najniższą wartość. W sytuacji przeciwnej, gdy ciśnienie w punkcie charakterystycznym



Rys. 4. Profil ciśnienia dla stacji gazowej i punktu charakterystycznego dla sterowanej sieci gazowej w oparciu o system zamknięty [10]

Fig. 4. Pressure profile for a gas station and a characteristic point for a controlled gas network based on a closed system

maleje, sterownik reguluje pracę reduktora poprzez większą wartość ciśnienia. Punkt charakterystyczny w układzie zamkniętym oraz jego parametry ciśnienia są dla systemu wartością zadaną i pozostają stałe w czasie [10]. Natomiast ciśnienie wyjściowe z reduktora jest silnie powiązane ze zmianami zapotrzebowania na gaz, przyjmując odpowiednie parametry w czasie (rys. 4). Gaz transportowany jest pod minimalną wartością ciśnienia, spełniając warunek dopuszczalnego ciśnienia dla tego punktu [10]. Spełnione warunki dla punktu o najmniejszej wartości ciśnienia w całej sieci, optymalizują pracę całego systemu, zapewniając odpowiednie parametry pracy. Sterowanie w oparciu o system zamknięty, pozwala zniwelować straty paliwa gazowego nawet o 20% [10]. Rozwiązanie takie jest korzystne dla rozległych sieci gazowych, gdzie występują rozproszone źródła zasilania całego systemu m.in. wspomniane wcześniej możliwości produkcji biogazu czy magazyny gazu, odgrywające coraz to większą rolę w bilansowaniu sektora gazowego [10].

2.3 Monitoring parametrów jakościowych i ilościowych paliw gazowych w punktach węzłowych sieci

Wdrożenie systemów IT w struktury zarządzania siecią gazową jest niezwykle istotne dla optymalnego ustawienia pracy elementów sieci. Rozbudowa całego systemu sieci gazowej, uwzględniająca znaczący rozwój „zielonej energii”, przyczyni się do dużo większej ilości kontrolowanych punktów pomiarowych, a co za tym idzie do rozwiązywania bardziej złożonych problemów. Odpowiednie zarządzanie oraz zbieranie i archiwizowanie danych połączone z możliwością prezentacji czy analizowania parametrów o elementach sieci gazowej w czasie rzeczywistym, przyczyni się do optymalnego zarządzania pracą całej sieci. Właściwe sterowanie parametrami przepływu oraz ciśnienia gazu w sieci gazowej, wpłynie na efektywne wykorzystanie możliwości akumulacyjnych obiektów liniowych stając się wydajnym magazynem energii. System SCADA (ang. System of Control and Data Acquisition) umożliwia zbieranie danych pomiarów pochodzących ze stacji gazowej lub innych elementów technicznych, przyczyniając się do optymalnego sterowania pracą sieci gazowej według założonego profilu. Jest to system informatyczny pełniący rolę nadzorującą nad zachodzącymi procesami, spełniający określone zadania:

- odpowiednie przetwarzanie informacji o parametrach pracy sieci gazowej,
- wyświetlanie informacji w sposób usystematyzowany i czytelny dla człowieka,
- tworzenie bazy danych w czasie rzeczywistym,
- odpowiedni monitoring nad zachodzącymi procesami, połączony z sygnalizacją alarmów,
- archiwizacja informacji na temat zachodzących procesów,
- przygotowanie oraz generowanie raportów o zachodzących procesach.

Wprowadzenie systemów SCADA do struktury sieci gazowej przyczyni się do dużo bardziej świadomego zarządzania pracą sieci gazowej przez operatora. Przekazywane określone parametry wyznaczają wytyczne dla operatorów o wykorzystaniu infrastruktury, a także minimalizują możliwości popełnienia błędów, co wydaje się być wysoce efektywną formą w zarządzaniu zróżnicowaną siecią gazową. Wdrożenie systemów informatycznych staje się często powodem osiągnięcia korzystniejszych wyników finansowych. Odpowiednie zarządzanie informacjami oraz ich archiwizacji daje większe możliwości do planowania pracy całej sieci, określania przyczyn awarii czy przestoju w transporcie paliwa gazowego oraz optymalizacji pracy sieci gazowej.

2.4 Inteligentne urządzenia analizujące proces nawonienia paliw gazowych

Odpowiedni poziom nawonienia gazu transportowanego sieciami rurociągów jest niezwykle istotny ze względów bezpieczeństwa. Zapach charakterystyczny dla gazu ziemnego, który został

utarty przez społeczeństwo jest jedyną cechą paliwa gazowego stanowiącą możliwość rozpoznania wycieku paliwa przez odbiorców końcowych. Bezwonne lub charakteryzujące się słabym zapachem paliwo gazowe wprowadzone do sieci dystrybucyjnej stanowi poważne zagrożenie dla użytkowników podczas niekontrolowanych wycieków gazu z instalacji czy urządzeń, które nie posiadają odpowiednich czujników sygnalizujących wyciek gazu [6]. Prowadzony proces nawaniania paliw gazowych daje możliwość na odpowiednie szybkie wykrycie wycieku gazu zarówno w rurociągach zewnętrznych, jak i instalacjach wewnętrznych, zapewniając możliwość detekcji wycieku bez stosowania urządzeń pomiarowych. W krajowym sektorze gazowniczym gaz ziemny nawaniany jest tetrahydrotiofenem (THT). Wykorzystywane środki nawaniające przy odpowiednim stężeniu w nawanianym gazie powinny być nieszkodliwe zarówno dla ludzi, jak i otoczenia, co jest spełnione dla THT. Gaz nawaniany jest zwyczajowo po stronie średniego ciśnienia na stacjach gazowych wysokiego ciśnienia. Stosowane urządzenia nawaniające powinny zapewnić charakterystyczny zapach poprzez odpowiednie dozowanie środka nawaniającego, który jest zależny od parametrów strumienia objętości gazu. Środek nawaniający musi zapewnić odpowiednie stężenie w przepływającym gazie, dając możliwość wyczucia wycieku paliwa gazowego w powietrzu przy objętości wynoszącej poniżej 20% dolnej granicy wybuchowości (dla metanu dolna granica wybuchowości wynosi 4,9%) [6]. Odpowiedni poziom nawonienia jest podstawą do bezpiecznego przepływu gazu sieciami rurociągów, a błędnie prowadzony może być przyczyną:

- zbyt małe nawonienie prowadzi do braku możliwości detekcji wycieku gazu ziemnego bez użycia urządzeń pomiarowych,
- duże nawonienie gazu skutkuje możliwością błędnego wykrycia wycieku paliwa gazowego oraz wyższymi kosztami procesu nawonienia.

Nowe wyzwania stawiane przed sektorem gazowniczym, dotyczącym wprowadzenia do sieci gazowej, gazów niekonwencjonalnych m.in. wodoru, mieszaniny gazu ziemnego z wodorem czy biometanu, warunkuje wdrożenie systemu monitorowania jakości paliwa gazowego pod względem jego nawonienia w punktach wtrysku gazu. Rozwój rynku wodoru, który ma stanowić istotny punkt przy wprowadzaniu odnawialnych źródeł energii w krajowym rynku energetycznym, definiuje potrzebę stworzenia określonej infrastruktury technicznej i technologicznej pozwalającej w bezpieczny sposób jego użytkowanie. Prowadzone badania dotyczące wpływu dodatku wodoru do sieciowego gazu wysokometanowego pozwoliły ocenić stabilność i skuteczność procesu nawonienia przy użyciu nawaniacza THT, potwierdzając możliwość wtłoczenia wodoru do 15% bez oddziaływania z THT [5]. Jednak prowadzone analizy, dokonywane przy określonych wartościach temperatury czy ciśnienia nie zawsze w pełni oddają warunki rzeczywiste w których prowadzony jest ruch paliwa gazowego.

Automatyczny analizator stężenia THT ANAT-M sprzedawany przez Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy jest urządzeniem pozwalającym na sterowanie pracą instalacji nawaniających. Zasada działania urządzenia oparta jest o pomiar chromatograficzny zawartości nawaniacza w gazie oraz detekcji elektrochemicznej. Analizator ANAT-M „przystosowany jest do przekazywania wyników pomiarów stężenia tetrahydrotiofenu, jak i parametrów w systemie telemetrii, co umożliwia zdalną kontrolę poziomu nawaniacza w gazie w okresie całodobowym” [3]. Jest to urządzenie wpisujące się w ideę inteligentnej sieci gazowej poprzez pełną automatyzację procesów prowadzących do pomiarów właściwych badanego gazu. Sterowanie za pomocą wewnętrznego sterownika daje możliwości prowadzenia pomiarów cyklicznie w ściśle określonych odstępach czasu, zaprogramowanych zgodnie z potrzebą kontroli przepływającego paliwa gazowego [17]. Parametry analizowane podczas kontroli gazu, a także wielko-

ści pracy analizatora są przechowywane w pamięci urządzenia. Dużą zaletą analizatora jest przystosowanie do pracy w warunkach obiektowych oraz przy ujemnych temperaturach, odznaczając się jednocześnie dużą dokładnością pomiarową uzyskiwaną w odniesieniu do stacjonarnych chromatografów laboratoryjnych. Wyniki pomiarów są udostępniane zarówno w formie graficznej, jak i liczbowej na wyświetlaczu. Zebrane dane są również przekazywane do miejsc centralnych gdzie mogą być kontrolowane przez m.in. dyspozytora oraz w odpowiedni sposób implementowane do istniejących systemów telemetrycznych. Urządzenie umożliwia również określoną, zaprogramowaną interwencje na stany alarmowe. W takim przypadku następują działania mające na celu przywróceniu odpowiedniej pracy analizatora.

2.5 Terminal LNG

Terminal LNG będący miejscem do odbioru i regazyfikacji skroplonego gazu ziemnego (ang. liquefied natural gas – LNG), stanowi istotne znaczenie dla rozwoju sektora gazownictwa pod względem możliwości wprowadzania do sieci gazowej gazów niekonwencjonalnych. LNG jest doskonałym uzupełnieniem ISG pod względem możliwości dywersyfikacji tras dostaw paliwa gazowego, a także szansą na przyłączenie kolejnych odbiorców, którzy są nie podłączeni do sieci dystrybucyjnej. Jest to również surowiec wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej, który może stanowić źródło zasilania ogniw paliwowych, a co za tym idzie doskonale wpisuje się w możliwości integracji z siecią Smart Grid. Transport skroplonego gazu ziemnego drogą morską przy wykorzystaniu zmiany stanu skupienia jest efektywną formą przesyłu paliwa gazowego na znaczne odległości. Jednak jest to opłacalne, gdy odległości rurociągów pomiędzy dostawcą, a odbiorcą wynoszą w przybliżeniu ponad:

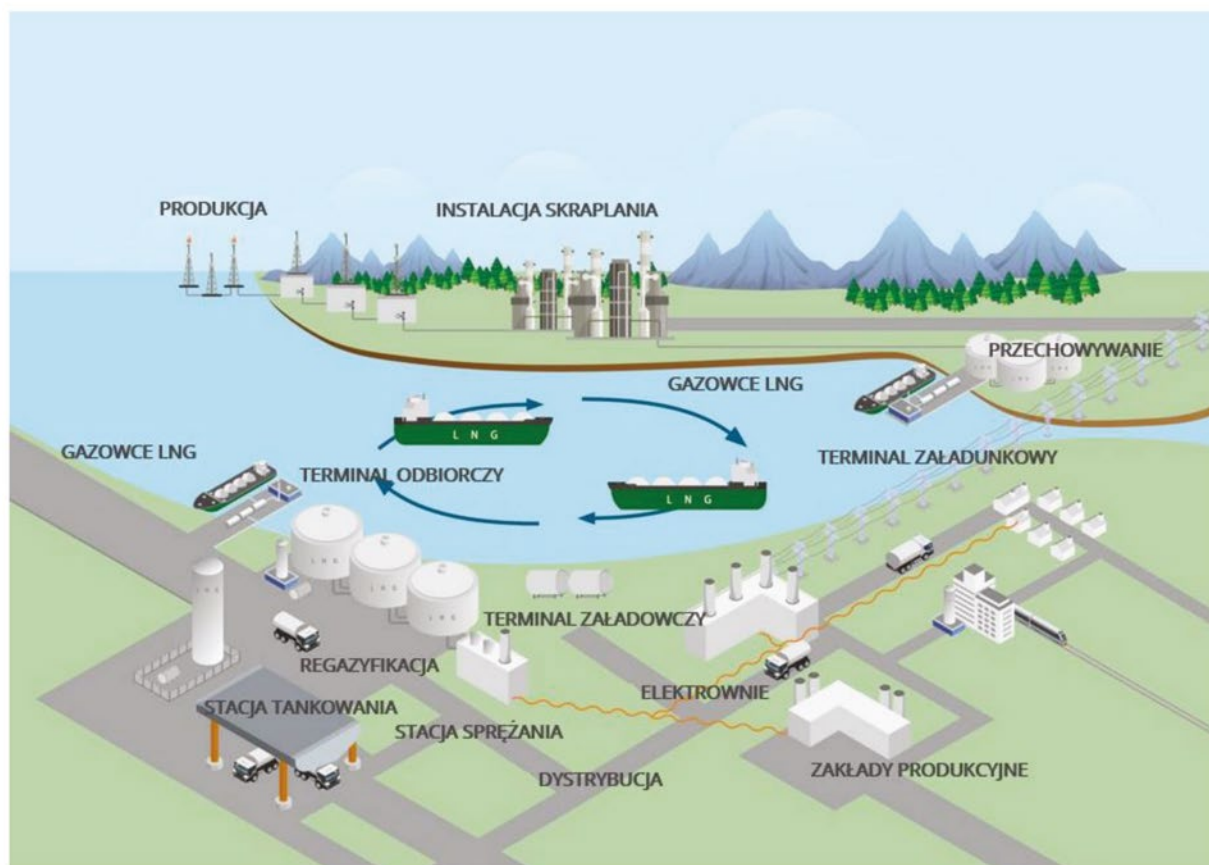
— 3000 km gazociągu podmorskiego,

— 5000 km gazociągu lądowego.

Przedstawione liczby pokazują, że jest to transport dalekosiężny, który wymaga uruchomienia odpowiedniej procedury i szeregu działań prowadzących do bezpiecznego oraz efektywnego transport skroplonego gazu według tzw. „projektów LNG” lub określanych też „łańcuchami LNG”. Skroplony gaz ziemny charakteryzuje się wysoką gęstością energii. LNG można sklasyfikować pod różnymi względami jako efektywne źródło energii:

- bezbarwny płyn składający się głównie z metanu o zawartości ok. 95% i innych składników o udziale wynoszącym do 5%,
- kaloryczność wynosząca około 50 MJ/m³,
- gęstość: 430-470 kg/m³,
- temperatura parowania wynosząca ok. – 166 °C,
- 1 m³ LNG pozwala na uzyskanie ok. 600 m³ gazu „sieciovego”,
- czyste paliwo (oczyszczone m.in. z dwutlenku węgla, rtęci, związków siarki czy azotu), odznaczające się brakiem właściwości korozyjnych, toksycznych czy żrących,
- oczyszczony m.in. z azotu, który prowadzi do niekontrolowanego odparowania.

Pracę terminala LNG w którym następuje odbiór skroplonego gazu ziemnego z metanowców, można podzielić na trzy zasadnicze procesy realizowane poprzez odpowiednie elementy infrastruktury tj.: terminal odbiorczy, magazyny oraz miejsca regazyfikacji. Cały proces w uproszczeniu polega na przepompowaniu LNG przy użyciu pomp znajdujących się na tankowcach do zbiorników magazynowych przystosowanych do pracy w kriogenicznych parametrach temperatury [9]. Magazyny powinny być wykonane z materiałów zapewniających określoną wytrzymałość udarową dla niskich wartości temperatur, najczęściej stosowanymi są m.in. austenityczne stale nierdzewne, stopy niklowe czy aluminiowe. Wewnętrzna część zbiornika musi być odporna na kruche pękanie przy niskich parametrach temperatury oraz posiadać odpowiednią



Rys. 5. Proces przesyłu i dystrybucji LNG [18]

Fig. 5. LNG transmission and distribution process

zdolność hamującą powstanie pęknięć. Następnie przy pomocy odparowaczy następuje etap regazyfikacji, w którym uzyskujemy fazę gazową charakteryzującą się odpowiednimi parametrami zgodnie z przyjętymi normami, pozwalającą na dalszą fazę dystrybucji gazu poprzez sieć gazową. Podczas wyładunku gazu z metanowców, należy doprowadzić proporcjonalną ilość gazu do zbiorników, tak aby zapobiec powstawaniu próżni w wyniku nagłego spadku objętości wewnątrz zbiorników.

2.6 Inteligentne liczniki gazu zdalnego odczytu zintegrowane z aplikacjami

Inteligentne liczniki mają stanowić jedną z głównych metod wdrażania nowoczesnej energetyki, która ma być przyjazna dla odbiorcy końcowego głównie poprzez aktywną możliwość ingerencji w proces przesyłu energii zgodnie z zapotrzebowaniem w czasie. Nowoczesna energetyka powinna odznaczać się precyzyjnymi pomiarami dotyczącymi zużytej energii dając pełen wymiar zachodzących zmian podczas całej eksploatacji. Nowelizacja Prawa energetycznego z dnia 03.07.2021 r. zakłada wdrożenie do systemu elektroenergetycznego znaczącej ilości inteligentnego opomiarowania, „Operator systemu dystrybucyjnego elektroenergetycznego, do dnia 31 grudnia 2028 r., zainstaluje liczniki zdalnego odczytu skomunikowane z systemem zdalnego odczytu w punktach poboru energii stanowiących co najmniej 80% łącznej liczby poboru energii u odbiorców końcowych, (...)” [12]. Nowoczesny system zdalnego opomiarowania połączony z budową centralnego systemu informacji rynku energii (CSIRE) ma być impulsem do rozwoju energetyki rozproszonej, która będzie zapewniać odpowiedni poziom stabilności i niezawodności. Sektor gazownictwa zintegrowany z siecią Smart Grid musi nadążać za zmianami zachodzącymi w sektorze elektroenergetycznym. Wdrażane rozwiązanie wpisuje się w ideę tworzenia zintegrowanego rynku energii, gdzie informacja dotycząca zużycia energii dostarczana jest w czasie jej eksploatacji.

Inteligentne gazomierze iSMART2 (rys. 6) dostarczane przez Aparator Metrix z Grupy Aparator wpisują się w ideę tworzenia nowoczesnego rynku gazu. Gazomierz zbudowany jest z powszechnie eksploatawanego w gospodarstwach domowych gazomierza mechanicznego oraz liczydła elektronicznego nowej generacji, „Liczydło enkoduje obroty gazomierza mechanicznego za pomocą opatentowanego rozwiązania opartego na półprzewodnikowych czujnikach ultrasonicznej mocy. Zastosowanie podwójnych czujników pozwala na dokładne wykrycie i pomiar przepływu gazu, jego fluktuacje oraz przepływ wsteczny”



Rys. 6. Inteligentny gazomierz iSMART2 [22]

Fig. 6. Smart gas meter iSMART2

[19]. Charakteryzuje się również możliwością zdalnej oraz szyfrowanej komunikacji dwukierunkowej, która w nowoczesnych rozwiązaniach powinna być standardem dając pełen wymiar możliwości zarządzania przesyłanymi informacjami. Uzupełnieniem całości jest zintegrowany zawór odcinający gaz, a także przyjazna forma interfejsu użytkownika w postaci graficznej. Niewątpliwie nowoczesne rozwiązania powinny charakteryzować się przyjazną formą przekazu informacji dla jego klientów, a ta w dzisiejszych czasach stanowi istnienie aplikacji na smartfonach czy innych urządzeniach mobilnych. Poprzez zastosowanie systemu operacyjnego Phoenix-RTOS dla gazomierzy iSMART2, powstaje możliwość analizowania danych dotyczących zużycia energii w czasie rzeczywistym. Stanowi to bazę dla oprogramowania inteligentnych gazomierzy wraz z możliwością powstania aplikacji pomiarowych [19].

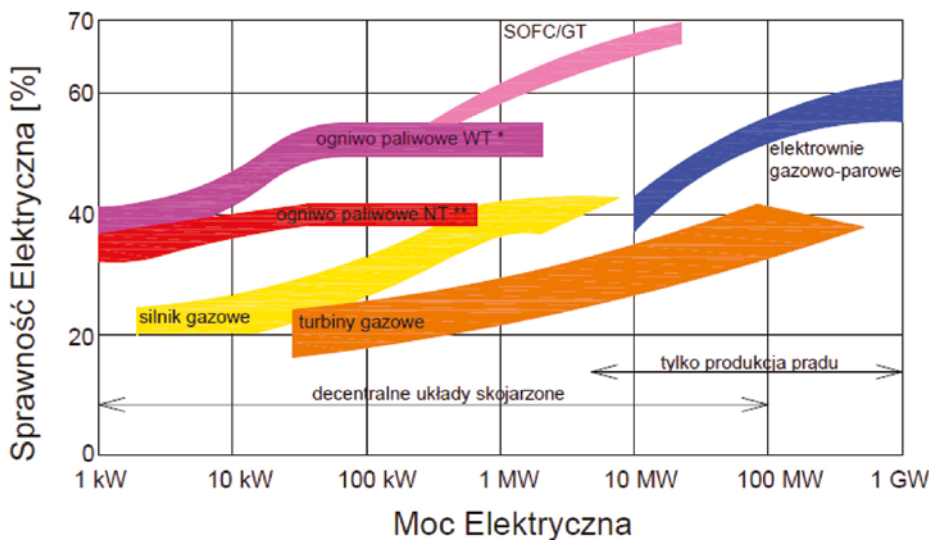
2.7 Urządzenia umożliwiające wysokosprawne wykorzystanie gazu

Znaczną część wykorzystywanej energii pierwotnej stanowią budynki, które w całkowitym rozrachunku konsumowanej energii w świecie stanowią wielkość rzędu 40%. Budynki wymagają zarówno zapotrzebowania na ciepło i energię elektryczną, a także w coraz to większym stopniu wymuszają produkcję chłodu związanego z narastającym ociepleniem klimatu. Wytwarzanie energii elektrycznej czy ciepła wiąże się nadal z wykorzystaniem znaczących nakładów paliw kopalnych do tego procesu, stanowiące zasadnicze źródło emisji zanieczyszczeń do środowiska. Definiuję to potrzebą ograniczenia zużycia energii w budynkach zarówno pod względem ekologicznym, jak i ekonomicznym. Nowoczesne technologie energetyczne powinny charakteryzować się:

- wysokosprawnym wykorzystaniem nośnika energii,
- szkodliwe oddziaływanie na środowisko poprzez emisje gazów czy pyłów, powinno być jak najmniejsze, a w dłuższej perspektywie czasu stanowić czynnik neutralny dla środowiska,
- aspekt ekonomiczny związany z nakładami inwestycyjnymi i czasem zwrotu poniesionych kosztów powinien być możliwie jak najmniejszy.

Przedstawione cechy, którymi powinna definiować się przyszła energetyka, związana jest z rozwojem technologii produkcji ciepła oraz energii elektrycznej w skojarzeniu. Układy CHP (ang. Combined Heat and Power) zintegrowane z ogniwami paliwowymi, które oparte są na działaniu reakcji elektrochemicznej, a nie na procesie spalania mogą zyskiwać coraz to większą popularność w produkcji ciepła i energii elektrycznej. Proces elektrochemiczny nie jest ograniczony sprawnością silnika Carnota w porównaniu do silnika cieplnego [1]. Związane jest to z możliwością osiągnięcia wysokiej sprawności przy produkcji energii elektrycznej sięgającej wielkości 45%, a nawet przy układach hybrydowych (połączonych z turbinami gazowymi) dochodzącym do wielkości rzędu 60%. Cechą wyróżniającą się układów z ogniwami paliwowymi, jest możliwość uzyskania wysokiej sprawności w odniesieniu do produkcji energii elektrycznej dla szerokiego zakresu obciążeń, a także różnych parametrów pracy dotyczącej temperatury (ogniwa wysokotemperaturowe i niskotemperaturowe) [1]. Ogniwa paliwowe przekształcają energię chemiczną paliwa bezpośrednio w energię elektryczną i ciepło, potencjalnie mogą zatem zastąpić większość dzisiejszych silników spalinowych, których praca wiąże się nieodłącznie z zanieczyszczeniem środowiska spalinami i powstawaniem hałasu [1]. Jest to technologia stale rozwijająca się, która może być źródłem energii dla urządzeń o niewielkim zapotrzebowaniu energii elektrycznej lub elektrowni o mocy rzędu kilku megawatów.

Ogniwa paliwowe należą do urządzeń elektrochemicznych dla których konwersja energii chemicznej paliwa następuje wprost na energię elektryczną, gwarantując osiągnięcie wysokich wartości sprawności produkcji energii w porównaniu do eksploatacji tradycyjnych silników cieplnych [1]. Technologia oparta na reakcji elektrochemicznej wymaga odpowiedniej substancji wejściowej, która jako substrat będzie stanowi



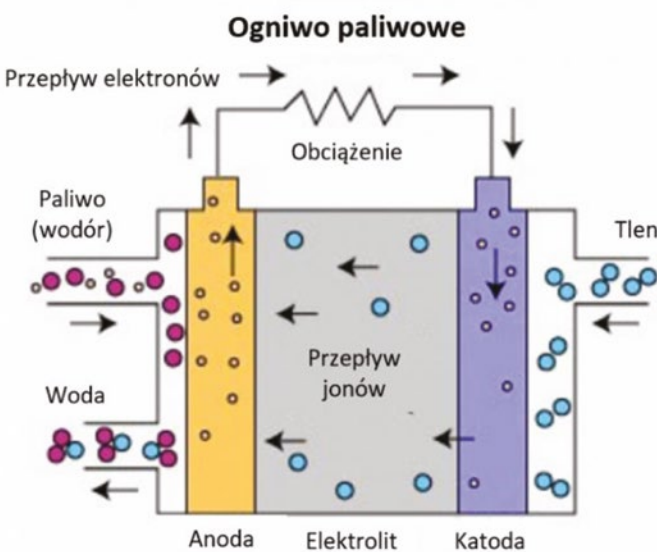
Rys. 7. Sprawność elektryczna ogniw paliwowych w odniesieniu do tradycyjnych technologii produkcji energii elektrycznej z użyciem gazu [1]

* – ogniwo paliwowe wysokotemperaturowe (WT), ** – ogniwo paliwowe niskotemperaturowe (NT), SOFC/GT – sprzężenie ogniwa tlenkowego SOFC z gazową turbiną (GT)

Fig. 7. Electrical efficiency of fuel cells in relation to traditional technologies of electricity production using gas

* – high temperature fuel cells (WT), ** – low temperature fuel cells (NT), SOFC/GT – coupling of the SOFC oxide cell with the gas turbine (GT)

materiał łatwo utleniający się. Substratem może być wodór produkowany z gazu ziemnego czy innych procesów technologicznych m.in. reformingu parowego [1]. Głównymi składowymi tworzącymi ogniwo paliwowe są dwie elektrody: anoda i katoda, odseparowane elektrolitem w celu zarówno zblokowania przepływu elektronów, jak i przekazaniu jonów. Substratami w przeprowadzanej reakcji są zazwyczaj wyżej wymieniony wodór, który doprowadzony jest do anody i tlen czerpany z otoczenia, a produktem całej reakcji jest jedynie woda. Zróżnicowana wartość energetyczna zachodząca pomiędzy substratami oraz produktem zostaje wykorzystana do przetworzenia w energię elektryczną [1]. Praca ogniwa paliwowego zapewnia również wytwarzanie ciepła. Napięcie pojedynczego ogniwa przyjmuje wartość nie większą niż 1V, dając możliwość szeregowego łączenia ogniw i odpowiedniego dostosowania do warunków pracy wymaganych dla danego odbiorcy energii przyjmując określone parametry napięcia, a także mocy [1].



Rys. 8. Ogniwo paliwowe – zasada reakcji elektrochemicznej [21]

Fig. 8. Fuel cell – principle of electrochemical reaction

3. Podsumowanie

Podstawowym celem artykułu jest przedstawienie roli systemu gazowego w transformacji energetycznej. Aby ten cel osiągnąć scharakteryzowano podstawowe założenia europejskiej polityki klimatycznej oraz usystematyzowano wiedzę dotyczącą możliwości wykorzystania inteligentnych rozwiązań w sieci gazowej. Wprowadzone rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej w sprawie wytycznych dotyczących transeuropejskiej infrastruktury energetycznej jednoznacznie definiuje znaczenie inteligentnych sieci w osiągnięciu założeń polityki klimatycznej i energetycznej. W powyższym rozporządzeniu wskazano również potrzebę modernizacji istniejącej infrastruktury technicznej służącej do przesyłu i dystrybucji gazu. Związane jest to przede wszystkim z rosnącym zapotrzebowaniem na źródło energii w postaci gazu ziemnego. Zwrócono uwagę również na potrzebę rozbudowy obiektów służących do magazynowania energii oraz jednoznacznie przytoczono znaczenie technologii LNG w kontekście dobrze działającego systemu energetycznego.

Priorytetowe znaczenie ma również ograniczenie eksploatacji źródeł energii, które charakteryzują się największą emisją dwutlenku węgla i innych gazów cieplarnianych. Wykorzystanie gazu ziemnego w szerszej skali wydaje się być efektywną formą ograniczenia emisji dwutlenku węgla, tlenków azotu i siarki, które w znaczący sposób zanieczyszczają atmosferę i są szkodliwe dla ludzi. Głównymi zalecanymi w zwiększeniu eksploatacji gazu ziemnego są niewątpliwie jego wszechstronność w użyciu jako nośnika energii lub paliwa w transporcie, a także wydaje się być sprawdzonym paliwem w wielu branżach dając realne korzyści z jego wykorzystania. Dla bezpieczeństwa i niezawodności dostaw energii niezbędne jest budowanie konkurencyjnego, zrównoważonego oraz energooszczędnego systemu dystrybucji energii w obrębie państw członkowskich Unii Europejskiej. ■

LITERATURA

- [1] Chaczykowski M., Stacjonarne ogniwa paliwowe zasilane gazem ziemnym, Nowoczesne Gazownictwo [online], 2006, T.1 (XI), s. 5-12 [dostęp: 24.11.2021 r.], ISSN 1427-2687, Dostępny w Internecie: <https://fluidsystems.pl/pl/d/7e6bcb54fcd989007f1ac11b5f28615c>.
- [2] Dietrich A., Migracja gazu związana z nieszczelnością dystrybucyjnej sieci gazowej, Nafta-Gaz [online], 2016, nr 1, s. 40-44 [dostęp: 09.03.2022 r.], ISSN 0867-8871, Dostępny w Internecie: <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-a9ab1a95-e9bd-4132-ab17-98e7d74767c2>.
- [3] Dzirba D., Huszał A., Tomaszuk A., ANAT-M nowy automatyczny analizator stężenia tetrahydrotiofenu (THT) w paliwach gazowych, Gaz, Woda i Technika Sanitarna [online], 2006, s. 37-41 [dostęp: 07.11.2021 r.], ISSN 0016-5352, Dostępny w Internecie: <https://docplayer.pl/29354073-Anat-m-nowy-automatyczny-analizator-stezenia-tetrahydrotiofenu-tht-w-paliwach-gazowych.html>.
- [4] HOLEWA-RATAJ J., KUKULSKA-ZAJĄC E., Przegląd metod wykrywania nieszczelności sieci gazowych, Nafta-Gaz [online], 2017, nr 11, s. 871-877, [dostęp: 07.09.2021 r.], ISSN 0867-8871, Dostępny w Internecie: <http://archiwum.inig.pl/INST/nafta-gaz/nafta-gaz/Nafta-Gaz-2017-11-07.pdf>.
- [5] Huszał A., Jaworski J., Studies of the Impact of Hydrogen on the Stability of Gaseous Mixtures of THT, Energies, T. 13(23), [dostęp: 07.09.2021 r.], ISSN 1996-1073, Dostępny w Internecie: <https://www.mdpi.com/100098ci3052.eczyt.bg.pw.edu.pl/1996-1073/13/23/6441>.
- [6] Huszał A., Wykorzystanie pomiarów online stężenia THT do celów rozliczeń usługi nawaniania, Nafta-Gaz [online], 2012, T.68, s. 1018-1022 [dostęp: 07.11.2021 r.], ISSN 0867-8871, Dostępny w Internecie: <http://archiwum.inig.pl/INST/nafta-gaz/nafta-gaz/Nafta-Gaz-2012-12-11.pdf>.

- [7] Klassek D., Janusz P., Wittmann r., Inteligentne sieci gazowe (cz.2), Przegląd Gazowniczy [online], 2015, nr 3(47), s. 40-42, [dostęp: 07.09.2021 r.], ISSN 1897-8878, Dostępny w Internecie: <https://www.igg.pl/node/65>.
- [8] Lima A., Szczerbowski r., Technologia Power to Gas w energetyce, Energia Gigawat [online], 2019, nr 4/2019(218), s. 32-35, [dostęp: 02.03.2022 r.], ISSN 2082-5021, Dostępny w Internecie: https://www.cire.pl/pliki/2/2019/energia_04_2019_218_a4_32_35.pdf.
- [9] Łaciak M., Techniczne i Technologiczne problemy eksploatacji terminali rozładunkowych LNG, Wiertnictwo, Nafta, Gaz [online], 2021, T.28, s.507-520 [dostęp: 15.11.2021 r.], ISSN 1507-0042, Dostępny w Internecie: <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-A-GHM-0043-0031>.
- [10] Osiadacz A.J., Chaczykowski M. 2010. Stacje gazowe Teoria, projektowanie, eksploatacja. Warszawa, Wydawnictwo Fluid Systems. ISBN 978-83-912343-1-0.
- [11] Pilarski K. 2019. Wydajność procesu fermentacji metanowej w biogazowniach rolniczych. Poznań, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. ISBN 978-83-7160-917-6.
- [12] Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne (Dz.U. 1997 nr 54 poz. 348 z późn. zm.)
- [13] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 347/2013 z dnia 17 kwietnia 2013 r. w sprawie wytycznych dotyczących transeuropejskiej infrastruktury energetycznej
- [14] [www] <https://www.igg.pl/sites/default/files/2016-10/Za%C5%82%20%20Strategia%20wsparcia%20projekt%C3%B3w%20inwestycyjnych%20dla%20inteligentnych%20sieci%20%20.pdf>, dostęp: 07.09.2021 r.
- [15] [www] <https://www.marcogaz.org/publications/smart-energy-grid-aspects-related-to-gas/>, dostęp: 07.09.2021 r.
- [16] [www] https://www.cire.pl/pliki/2/2020/raport_toe_2020.pdf, dostęp: 18.09.2021 r.
- [17] [www] <https://www.inig.pl/oferta/oferta-badawcza/34-pion-gazownictwa/7-5-za-klad-nawaniania-paliw-gazowychwn#analizatoranac>, dostęp: 07.11.2021 r.
- [18] [www] <https://pl.msasafety.com/submarket/oilandgas-lng?marketName=/markets/oil-and-gas&locale=pl&default=1>, dostęp: 09.11.2021 r.
- [19] [www] http://www.apator.com/uploads/files/Relacje_inwerstorskie/press-room/2021/2021-07-28-apator-matrix-dostarczy-gazomierze-smart-do-belgii-za-65-mln-euro.pdf, dostęp: 15.11.2021 r.
- [20] [www] <https://www.cre.fr/en/Energetic-transition-and-technologic-innovation/Smart-grids/smart-grids>, dostęp: 18.09.2021 r.
- [21] [www] <https://wmgaz.pl/gazownictwo-dzis-i-jutro/artukul/gazowe-ogniwa-paliwo-we>, dostęp: 30.11.2021 r.
- [22] [www] <http://www.apator.com/en>, dostęp: 16.02.2022 r.
- [23] [www] <https://www.elektro.info.pl/artukul/instalacjelektroenergetyczne/166067,wspolpraca-biogazowni-z-siecia-elektroenergetyczna>, dostęp: 03.03.2022 r.
- [24] Podstawowe właściwości fizykochemiczne gazu ziemnego, Chaczykowski M., Warszawa, 04.03.2021 r.