Technologia **Power to Gas** w energetyce

Aniela LIMA,
Radosław SZCZERBOWSKI
Politechnika Poznańska,
Instytut Elektroenergetyki

1. Wprowadzenie

Wzrastająca świadomość zmian zachodzących w środowisku naturalnym, spowodowanych między innymi produkcją energii elektrycznej, prowadzi do coraz większego zainteresowania odnawialnymi źródłami energii (OZE). W celu upowszechnienia wytwarzania energii z tych źródeł wprowadza się różnego rodzaju regulacje, takie jak pakiet 3x20. Zastosowane regulacje prawne oraz dotacje na inwestycje związane z OZE przyczyniły się do wzrostu udziału energii z tych źródeł w bilansie energetycznym, co potwierdzają dane zebrane przez Europejski Urząd Statystyczny – Eurostat (rys. 1).

Prognozowany jest dalszy wzrost udziału energii ze źródeł słonecznych oraz wiatrowych w światowej produkcji energii elektrycznej. Według danych opublikowanych w Global Market Outlook for Solar Power 2017–2021 moc zainstalowana w fotowoltaice na świecie przekroczy 400 GW w 2018 roku, 500 GW w 2019, 600 GW w 2020 i 700 GW w 2021 roku. Natomiast zgodnie z przewidywaniami WindEurope, do roku 2030 moc zainstalowana pochodząca ze źródeł wiatrowych w samej tylko Unii Europejskiej osiągnie poziom 323 GW, co stanowi dwukrotność mocy zainstalowanej w tych źródłach w UE pod koniec 2016 roku.

Wzrost ilości energii elektrycznej pochodzącej z OZE, poza ograniczaniem negatywnego wpływu na środowisko naturalne, powoduje mniejszą stabilność systemu elektroenergetycznego. Przyczyną jest zmienna w czasie generacja energii elektrycznej ze źródeł fotowoltaicznych i wiatrowych zależąca od warunków atmosferycznych. Taki stan rzeczy powoduje trudności w utrzymaniu prawidłowego bilansu mocy dostarczanej i odbieranej z systemu.

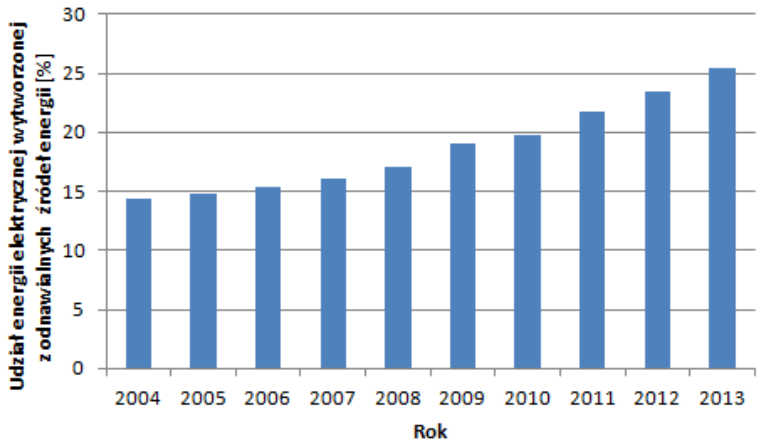
2. Systemy magazynowania energii

Rozwiązaniem problemu zmniejszonej elastyczności systemu może być zastosowanie magazynów energii. Magazyn energii, zgodnie z ustawą o odnawialnych źródłach energii, to „wyodrębnione urządzenie lub zespół urządzeń służących do przechowywania energii w dowolnej postaci, niepowodujących emisji będących obciążeniem dla środowiska, w sposób pozwalający co najmniej na jej częściowe odzyskanie". Z przytoczonej definicji wynika, że zadaniem magazynu energii jest gromadzenie energii, gdy produkcja przewyższa zapotrzebowanie i umożliwienie jej odzyskania, gdy zapotrzebowanie przewyższa produkcję. Przykłady systemów magazynowania energii wraz z ich klasyfikacją przedstawiono na rysunku 2.

Do jednych z najważniejszych cech magazynów energii należą: pojemność i okres magazynowania. Porównanie poszczególnych technologii magazynowania energii ze względu na te cechy (rys. 3) pozwala zauważyć, że technologia Power to Gas umożliwia zgromadzenie największej ilości energii oraz zapewnia najdłuższy okres jej magazynowania.

3. Power to Gas

Istotą technologii Power to Gas jest wytworzenie gazu (wodoru lub metanu) przy wykorzystaniu energii elektrycznej. Zazwyczaj wykorzystuje się w tym celu jej nadwyżki pochodzące ze źródeł fotowoltaicznych lub wiatrowych. W procesie elektrolizy wody wytwarzany jest wodór, który następnie można wykorzystać w reakcji metanizacji do produkcji metanu. Do syn-

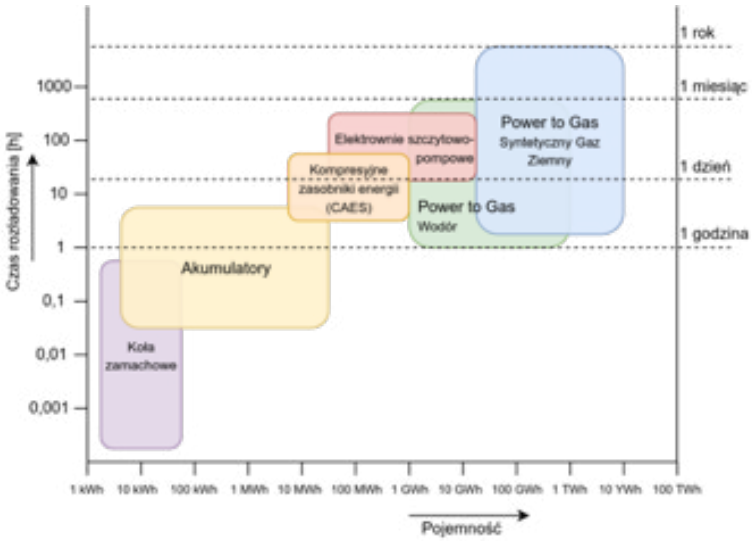


Rysunek nr 1: Procentowy udział energii elektrycznej wytworzonej z odnawialnych źródeł energii w Unii Europejskiej w latach 2004-2013
Źródło: Opracowanie własne na podstawie: http://ec.europa.eu/eurostat/data/database

Rysunek nr 2: Klasyfikacja technologii magazynowania energii
Źródło: Opracowanie własne na podstawie: G. Fuchs, B. Lunz, M. Leuthold, U. Sauer, Technology Overview on Electricity Storage, 2012

tezy metanu, oprócz wodoru, potrzebny jest również dwutlenek węgla, pozyskiwany zarówno ze źródeł biogennych, jak i przemysłowych. Do pierwszych z nich zalicza się biogazownie, inne formy utylizacji biomasy oraz powietrze atmosferyczne. Źródłami przemysłowymi są natomiast gazy odlotowe z produkcji cementu lub wapienia, gazy odlotowe z elektrowni opalanych paliwami kopalnymi oraz nierecyklingowalne śmieci.

W technologii Power to Gas można wyróżnić kilka możliwych łańcuchów konwersji charakteryzujących się różnymi sprawnościami (tab.1). Proces wytwarzania metanu cechuje mniejsza sprawność w stosunku do procesu wytwarzania wodoru ze względu na dodatkową reakcję chemiczną. Ponadto można zaobserwować, że wzrost poziomu sprężenia gazu ma negatywny wpływ na osiągane sprawności procesu. Wykorzystanie gazu do ponownej produkcji energii elektrycznej powoduje kolejne straty energii, a sprawność takiego łańcucha przemian wynosi od 30 do 44%. Sposobem na poprawę tych wartości może być wykorzystanie, powstałego w wyniku reakcji elektrolizy i metanizacji, ciepła. Poprawę sprawności całego łańcucha można również uzyskać, zwiększając sprawność poszczególnych przemian, na przykład elektrolizy lub metanizacji.



Rysunek nr 3: Klasyfikacja technologii magazynowania energii
Źródło: Opracowanie własne na podstawie: G. Fuchs, B. Lunz, M. Leuthold, U. Sauer, Technology Overview on Electricity Storage, 2012

Tabela nr 1: Sprawności technologii Power to Gas dla różnych łańcuchów przemian

Łańcuch przemian	Sprawność	Warunki brzegowe
Energia elektryczna → Gaz		
Energia elektryczna → Wodór	54–72%	sprężenie do ciśnienia 200 bar (ciśnienie w magazynach podziemnych)
Energia elektryczna → Metan (SNG)	49–64%	
Energia elektryczna → Wodór	57–73%	sprężenie do ciśnienia 80 bar (zatłoczenie do sieci gazowniczej dla przesyłu)
Energia elektryczna → Metan (SNG)	50–64%	
Energia elektryczna → Wodór	64–77%	bez sprężania
Energia elektryczna → Metan (SNG)	51–65%	
Energia elektryczna → Gaz → Energia elektryczna		
Energia elektryczna → Wodór → Energia elektryczna	34–44%	konwersja na energię elektryczną: 60%, sprężenie do ciśnienia 80 bar
Energia elektryczna → Metan (SNG) → Energia elektryczna	30–38%	
Energia elektryczna → Gaz → Energia elektryczna i ciepło (CHP)		
Energia elektryczna → Wodór → Energia elektryczna i ciepło (CHP)	48–62%	40% energia elektryczna i 45% ciepło, sprężenie do ciśnienia 80 bar
Energia elektryczna → Metan (SNG) → Energia elektryczna i ciepło (CHP)	43–54%	

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: M. Lehner, Power-to-Gas: Technology and Business Models, SpringerBriefs in Energy, 2014

4. Zastosowanie technologii Power to Gas

Niewątpliwą zaletą technologii Power to Gas jest mnogość możliwości jej zastosowania (rys.4). Wytworzony w procesie elektrolizy wodór może zostać zmagazynowany na kilka sposobów:

- w zbiornikach ciśnieniowych wodoru gazowego,
- w kriogenicznych zbiornikach ciekłego wodoru,
- w wodorkach metali,
- w zbiornikach podziemnych.

Przedstawione sposoby magazynowania gazu różnią się między sobą. Zbiorniki podziemne cechują się najniższym kosztem przechowywania, jednakże przeznaczone są do długookresowego magazynowania na dużą skalę, co nie zawsze odpowiada potrzebom danego systemu. Z kolei najczęściej stosowane są zbiorniki ciśnieniowe. Wodór przechowuje się pod ciśnieniem od 4 do 950 bar w zależności od zastosowania. Zaletą magazynowania pod wyższym ciśnieniem jest mniejsza zajętość objętości zbiornika, jednak wiąże się to z większym zużyciem energii do sprężenia gazu, co obniża całkowitą sprawność.

Wytworzony, przy wykorzystaniu technologii Power to Gas, wodór można wykorzystać w biogazowniach. W wyniku zmieszania wodoru z dwutlenkiem węgla, stanowiącym część biogazu, zachodzi reakcja metanizacji, dzięki czemu zawartość metanu w wytworzonym biogazie wzrasta z 65% do 90% lub nawet 95%.

Wyróżnia się trzy możliwości połączenia wodoru z biogazem:

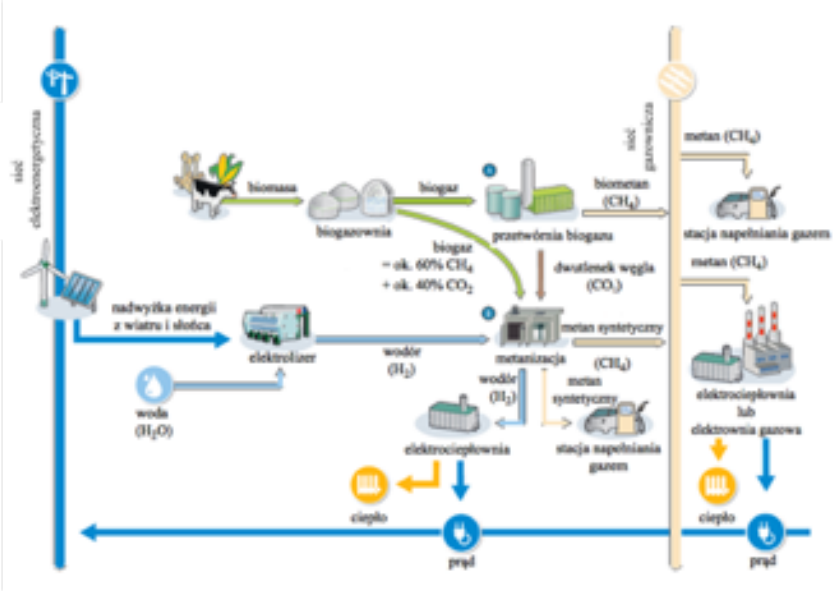
- wtrysk H_2 bezpośrednio do komory fermentacyjnej biogazu,
- wtrysk H_2 i zmieszanie z biogazem w osobnym zbiorniku,
- wtrysk H_2 i zmieszanie z gazem resztkowym, powstałym po usunięciu CO_2 z biogazu (rys. 5).

Bezpośredni wtrysk H_2 do fermentatora potencjalnie pozwala na uzyskanie dwa razy większej ilości metanu, jednak ze względu na równocześnie zachodzące inne reakcje, wpływające na wzrost pH, degradacja mikrobiologiczna octanu do biogazu (CH_4 i CO_2) zostaje spowolniona. Wymieszanie wodoru z biogazem w osobnym zbiorniku zapobiega

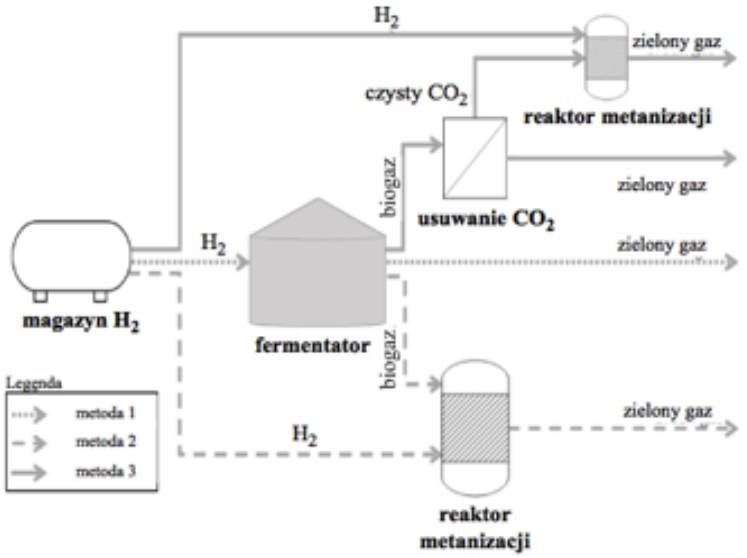
występowaniu tego zjawiska. Szybsza konwersja wodoru możliwa jest dzięki wtryskowi czystego dwutlenku węgla, a nie biogazu, do reaktora, co wiąże się jednak z dodatkowymi kosztami wynikającymi z konieczności odseparowania CO_2 od biogazu.

Przykładem instalacji Power to Gas wykorzystującej metanizację biologiczną jest BioCat Projekt prowadzony w miejscowości Avedøre w Danii. Celem projektu było zaprojektowanie i skonstruowanie obiektu wykorzystującego technologię Power to Gas na skalę komercyjną oraz zademonstrowanie możliwości świadczenia usług magazynowania energii dla duńskiego systemu energetycznego. Na projekt składa się wiele koncepcji o wysokim stopniu innowacyjności, które są testowane po raz pierwszy na świecie.

Kluczowym elementem instalacji jest alkaliczny elektrolizer firmy Hydrogenics, który będąc podłączonym do lokalnej sieci elektroenergetycznej, może pobierać energię, gdy jej cena jest niska i wykorzystywać ją do produkcji gazu. Dodatkową zaletą jest możliwość świadczenia usługi regulacji częstotliwości dzięki dostosowaniu poboru mocy w odpowiedzi na sygnał, który jest generowany w momencie, gdy częstotliwość sieci zbliża się do górnej lub dolnej granicy.



Rysunek nr 4: Możliwości zastosowania technologii Power to Gas
Źródło: E. Mahnke, J. Mühlenhoff, L. Lieblang, Renews Spezial – Strom Speichern, nr 75, 2014



Rysunek nr 5: Możliwości zastosowania technologii Power to Gas
Źródło: E. Mahnke, J. Mühlenhoff, L. Lieblang, Renews Spezial – Strom Speichern, nr 9 75, 2014

Kolejnym istotnym elementem instalacji jest system biologicznej metanizacji firmy Elektrochaea. Kulturę metanogennych archeowców stanowi specjalnie wyhodowany na Uniwersytecie w Chicago szczep, charakteryzujący się właściwościami idealnymi do zastosowań w sektorze przemysłowym. Do tych cech należą: bardzo wysoka wydajność konwersji masy węgla, niskoenergetyczny szlak metaboliczny od dwutlenku węgla do metanu, wysoka tolerancja na zanieczyszczenia (tlen, siarkowodór, cząstki stałe) czy niskie koszty eksploatacji katalizatora dzięki samoobsłudze i samoreplikacji. Podczas testów wykorzystano dwa źródła dwutlenku węgla: czysty dwutlenek węgla uzyskany z biogazu oraz surowy biogaz (60% CH_4, 40% CO_2). Wytworzony gaz był zatłaczany do sieci gazowniczej, a otrzymany w wyniku elektrolizy tlen służył do napowietrzania basenów przyległej oczyszczalni ścieków. Wydzielone w procesie elektrolizy i metanizacji ciepło wykorzystywano do ogrzewania domów oraz materiału biologicznego.

Na podstawie powyższego przykładu można również zauważyć, że technologia Power to Gas pozwala na integrację systemu elektroenergetycznego z systemem gazowym przez wtłoczenie wytworzonego gazu, wodoru lub metanu do systemu gazowniczego. Umożliwia to magazynowanie energii zarówno w sieci, jak i w istniejących już magazynach. Ponadto rozległość sieci gazowniczej pozwala na transport energii na duże odległości.

Zatłaczanie wodoru do systemu gazowniczego jest bardziej opłacalne, lecz infrastruktura systemu gazowego pozwala na wtłaczanie jedynie ograniczonego wolumenu wodoru. Powodem jest niedostateczna wytrzymałość elementów infrastruktury (rur, zaworów, uszczelek, systemów sterowania, systemów pomiarowych), która dopuszcza maksymalną zawartość wodoru na poziomie 30%. Nie bez znaczenia jest również wpływ zwiększonej zawartości wodoru na funkcjonowanie urządzeń wykorzystywanych przez użytkowników końcowych. Systemy grzewcze i kuchenki gazowe wykorzystywane w gospodarstwach domowych mogą być zasilane gazem nawet o 20-procentowej zawartości wodoru. Jednakże ze względu na zwiększoną prędkość płomienia konieczna może być regulacja dysz palnika. Większą wrażliwość na obecność wodoru wykazują turbiny gazowe.

Większość producentów ogranicza możliwą stosowaną jego zawartość do 1 lub 2% objętości, lecz przeprowadzane testy laboratoryjne wskazują na możliwość nawet 14-procentowego domieszkowania.

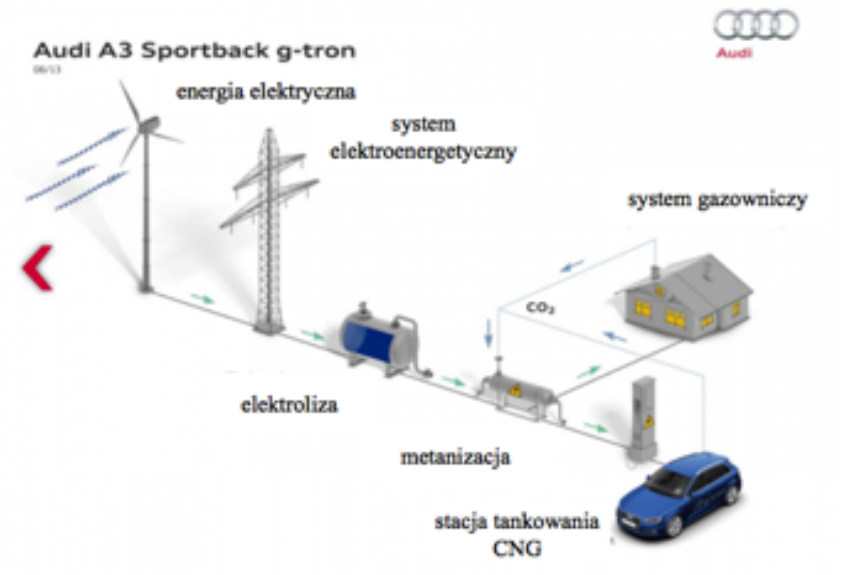
W sektorze motoryzacyjnym dopuszczalna zawartość wodoru zgodnie z normą DIN 51624 wynosi 2%, co związane jest z wytrzymałością stalowych zbiorników, w których przechowywany jest gaz. Biorąc pod uwagę wszystkie z wymienionych czynników, aktualnie zalecany procentowy udział wodoru w systemie gazowniczym wynosi 2%.

W przeciwieństwie do wodoru, w przypadku wprowadzania do systemu gazowniczego wytworzonego w wyniku metanizacji syntetycznego gazu ziemnego SNG praktycznie nie ma ograniczeń. Wynika to z faktu, że głównym składnikiem sieciowego gazu ziemnego jest metan. Uzyskanie metanu z wodoru wiąże się jednak z pewnymi stratami energii, dlatego dalsze prace i badania nad przystosowaniem infrastruktury oraz urządzeń do zwiększonego udziału wodoru w gazie ziemnym niewątpliwie przyczynią się do rozwoju technologii Power to Gas.

Gaz wytworzony w procesie Power to Gas można również zastosować do ponownego wytworzenia energii elektrycznej lub ciepła. Ciepło może zostać wytworzone w przemysłowych i domowych gazowych systemach grzewczych oraz w elektrowniach kogeneracyjnych. Energia elektryczna może zostać wygenerowana zarówno we wspomnianych elektrowniach kogeneracyjnych, jak i elektrowniach gazowych. Ponadto bezpośrednią zamianę energii chemicznej na energię elektryczną lub ciepło umożliwiają ogniwa paliwowe.

Technologia Power to Gas może zostać wykorzystana również w sektorze transportu, zmniejszając emisję dwutlenku węgla oraz zastępując paliwa kopalne paliwami pochodzącymi z odnawialnych źródeł energii, np. wodorem lub SNG. W przypadku SNG zakłada się, że stacje tankowania mogą być podłączone do istniejącego systemu gazowniczego. W przeciwieństwie do SNG w przypadku wodoru konieczne jest stworzenie nowej infrastruktury tankowania. Firmą, która postawiła sobie za cel zapewnienie mobilności długodystansowej neutralnej pod względem emisji CO_2, jest firma Audi. Aby to osiągnąć, rozpoczęła realizację projektu pod nazwą Audi e-gas. Wykorzystując nadwyżki energii z odnawialnych źródeł, wytwarza wodór, który może zostać wykorzystany w samochodowych ogniwach paliwowych. Ze względu na niedostatecznie rozwiniętą infrastrukturę przesyłu wodoru kolejnym krokiem w procesie jest wytworzenie metanu. Dwutlenek węgla potrzebny do reakcji metanizacji pozyskiwany jest z sąsiedniej biogazowni. W związku z przechwyceniem w celu wytworzenia paliwa CO_2, który w przeciwnym wypadku zanieczyściłby atmosferę, zakłada się, że samochód napędzany tym paliwem jest pod względem emisji dwutlenku węgla neutralny dla środowiska. Oficjalne rozpoczęcie eksploatacji instalacji miało miejsce w 2013 roku. Od tego momentu roczna produkcja gazu, dostarczanego do systemu gazowniczego, wynosi około 1 000 ton i wymaga wykorzystania 2 800 ton CO_2. Przy takiej ilości wychwyconego dwutlenku węgla każde z 1 500 Audi A3 Sportback g-tron może rocznie przejechać po 15 000 km, nie przyczyniając się do zwiększenia emisji CO_2.Na rysunku 6 przedstawiono schemat działania instalacji.

Wodór wykorzystywany jest także w wielu gałęziach przemysłu. W przemyśle spożywczym znajduje zastosowanie w procesie utwardzania tłuszczów ciekłych, czyli przy produkcji na przykład margaryny. Można go również stosować w przemy-śle metalurgicznym do redukcji niektórych rud metali. Ponadto wykorzystywany jest w przemyśle chemicznym do syntezy amoniaku, alkoholu metylowego lub węglowodorów. Może również stanowić paliwo rakietowe. Jednakże największe zapotrzebowanie wykazują rafinerie, które wykorzystują około 30% światowego zapotrzebowania na wodór do zastosowań przemysłowych.



Rysunek nr 6: Schemat działania instalacji Audi e-gas
Źródło: https://www.audi-technology-portal.de/de/mobilitaet-der-zukunft/audi-future-lab-mobility/audi-future-energies/audi-e-gas

Podsumowanie

Pobieranie energii elektrycznej w momentach nadwyżek jej generacji i możliwość produkcji tej energii ze zmagazynowanego gazu, gdy występuje zwiększony popyt, świadczy o pozytywnym oddziaływaniu technologii Power to Gas na integrację odnawialnych źródeł energii z systemem elektroenergetycznym. Świadomość konieczności dbania o środowisko wpływa na zwiększony udział tych źródeł w bilansie energetycznym. Z tymi zmianami w systemie musi wiązać się zwiększona ilość technologii magazynowania energii, w tym technologii Power to Gas, umożliwiająca zwiększenie elastyczności systemu.

Tekst w pełnej wersji wraz z odniesieniami do literatury oraz źródeł opublikowany został w książce opublikowanej przez Fundację na Rzecz Czystej Energii pt. W kręgu bezpieczeństwa i techniki, Poznań 2019 red. P. Kwiatkiewicz, R. Szczerbowski, K. Stańczyk, R. Sobków.