



Politechnika Śląska w Gliwicach
Katedra Maszyn i Urządzeń Energetycznych

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA HYBRYDOWYCH STRUKTUR TECHNOLOGICZNYCH ENERGETYKI WODOROWEJ

Tadeusz Chmielniak

Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej. Zagrożenia dla bezpieczeństwa energetycznego Polski i UE. Zakopane 9 -12 10 2022



Politechnika
Śląska

www.kmiue.polsl.pl

WPROWADZENIE

Główny cel transformacji energetycznej (transformacja energetyczna jest ważnym elementem transformacji całej gospodarki) to: bezpieczeństwo energetyczne (w tym akceptowalny poziom kosztów energii), ochrona klimatu (dekarbonizacja gospodarki) i zasobów (w tym realizacja gospodarki obiegu zamkniętego). To złożony i dalej obciążony wieloma niepewnościami proces o różnorodnym charakterze. Najczęściej skupiamy uwagę na transformacji technologicznej. W nowym systemie energetycznym funkcjonować będą różne technologie. Przedstawiono wiele scenariuszy pożądanej ewolucji technologicznej koniecznej dla uzyskania celów klimatycznych. Część ma charakter spekulatywny, część opracowano z wykorzystaniem zaawansowanych modeli uwzględniających wiele parametrów (zob. np. [1]) . Doskonalenie modeli predykcyjnych, nie tylko w zakresie przyszłego miks energetycznego, ale także optymalnego wykorzystania OZE jest ważnym problemem naukowym

[1] H.W. Schiffer, Forecasts and scenarios for global Energy supply as the basis for climate policy implications, VGB PowerTech 12/2021, p 42-49



WPROWADZENIE

W wielu prognozach ważną rolę spełnia wodór. Jest on uważany za ważny nośnik energii o wysokim potencjale, istotnie wspomagający proces dekarbonizacji całej gospodarki, w tym szczególnie tych jej gałęzi, które trudno poddają się pełnej elektryfikacji (np. transport ciężki, lądowy, morski, lotniczy, wybrane gałęzie przemysłu). W opracowanych scenariuszach wykorzystania wodoru dominuje sektor transportowy, komunalny – mieszkalnictwo, przemysł, w mniejszej skali energetyka wysokich mocy. Odnawialny i niskoemisyjny wodór (charakterystykę technologicznych strategii wytwarzania wodoru zawiera artykuł [2]) ma kluczowe znaczenie dla osiągnięcia celów porozumienia paryskiego w zakresie dekarbonizacji. Aby osiągnąć te cele, wodór musiałby pokryć około 15-18% światowego zapotrzebowania na energię do połowy wieku [np.3]. Z dzisiejszej perspektywy jest to cel bardzo trudny do osiągnięcia. Przyjmuje się, że do 2050 - 72% wodoru i pochodnych wykorzystywanych jako nośniki energii będzie wytwarzana elektrolitycznie, a 28% z paliw kopalnych z CCS (wodór niebieski). Na całym świecie zielony wodór osiągnie w ciągu najbliższej dekady taki sam poziom kosztów jak wodór niebieski. Wodór jest nie tylko uniwersalnym paliwem i surowcem, ale także ma istotne walory w magazynowaniu energii w różnej skali czasu.

[2] T. Chmielniak, A. Skorek-Osikowska, Ł. Bartela Potencjał zastosowania wodoru w polskim systemie energetycznym, ZN Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, 1 (110), 2022; [3] How hydrogen empowers the energy transition. Hydrogen Council, 2017.



WPROWADZENIE

Strategia wodorowa UE [4] określa również „czysty wodór” i jego łańcuch wartości jako jeden z kluczowych obszarów działalności służących dekarbonizacji gospodarki oraz wspierania zrównoważonego wzrostu gospodarczego i zatrudnienia, co będzie miało kluczowe znaczenie w kontekście ożywienia po kryzysie COVID-19. Wyznaczono w niej cele strategiczne: a. do 2024 r. – instalacja co najmniej 6 GW mocy elektrolizerów i roczna produkcja co najmniej 1 mln ton wodoru z OZE; b. do 2030 r. instalacja co najmniej 40 GW mocy elektrolizerów i roczna produkcja co najmniej 10 mln ton wodoru z OZE. Średnia cena w skali globu dla niebieskiego wodoru powinna się zmniejszyć z poziomu 2,5 USD w 2030 r. do 2,2 USD/kg w 2050 r. W regionach takich jak USA z dostępem do taniego gazu koszty wynoszą już 2 USD/kg. Na całym świecie zielony wodór osiągnie w ciągu najbliższej dekady taki sam poziom kosztów jak wodór niebieski.

Powyższe uwagi zostały sformułowane w okresie przewidywalnych cen gazu. Dziś mogą być nieaktualne. Zostaną zapewne skorygowane po określeniu nowej ścieżki cen gazu

[4]Hydrogen Roadmap Europe. A Sustainable Pathway for The European Energy transition. Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking 2019, fh.europa.eu;



WPROWADZENIE

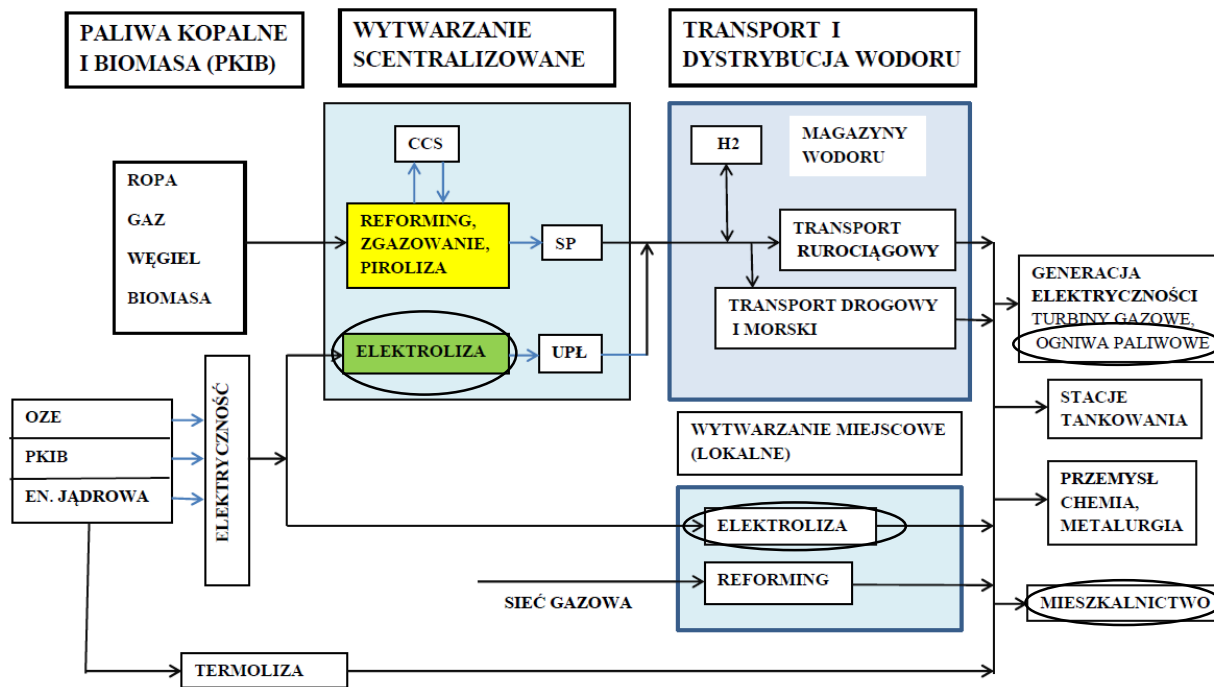
Polska Strategia wodorowa[5] zakłada osiągnięcie do 2030r wielu celów, w tym:

- **uruchomienie pierwszych przemysłowych instalacji *P to G* klasy 1MW(2025),10+MW(2027), 50+(2030) na bazie krajowych technologii;**
- **instalacje układów ko i poligeneracyjnych dla bloków mieszkalnych, małych osiedli oraz obiektów użyteczności publicznej od 10 kW do 250 kW z wykorzystaniem ogniw paliwowych.**
- **uruchomienie instalacji do produkcji wodoru ze źródeł niskoemisyjnych m.in. w procesie elektrolizy, z biometanu, gazów odpadowych, z gazu ziemnego z wykorzystaniem CCS/CCU, w drodze pirolizy oraz innych alternatywnych technologii pozyskiwania wodoru;**
- **wykorzystanie mocy zainstalowanej w OZE dla potrzeb produkcji wodoru i paliw syntetycznych w oparciu o proces elektrolizy. Zainstalowana moc elektrolizerów powinna osiągnąć w 2030 r. 2 GW a roczna produkcja co najmniej 10 mln ton wodoru z OZE;**
- **zapewnienie warunków do budowy instalacji do produkcji wodoru przy elektrowniach jądrowych**

[5] Polska Strategia Wodorowa do roku 2030 z perspektywą do 2040 r. Ministerstwo Klimatu i Środowiska. Zał. Do Uchwały RM z dnia 02 11 2021 (poz. 1138)



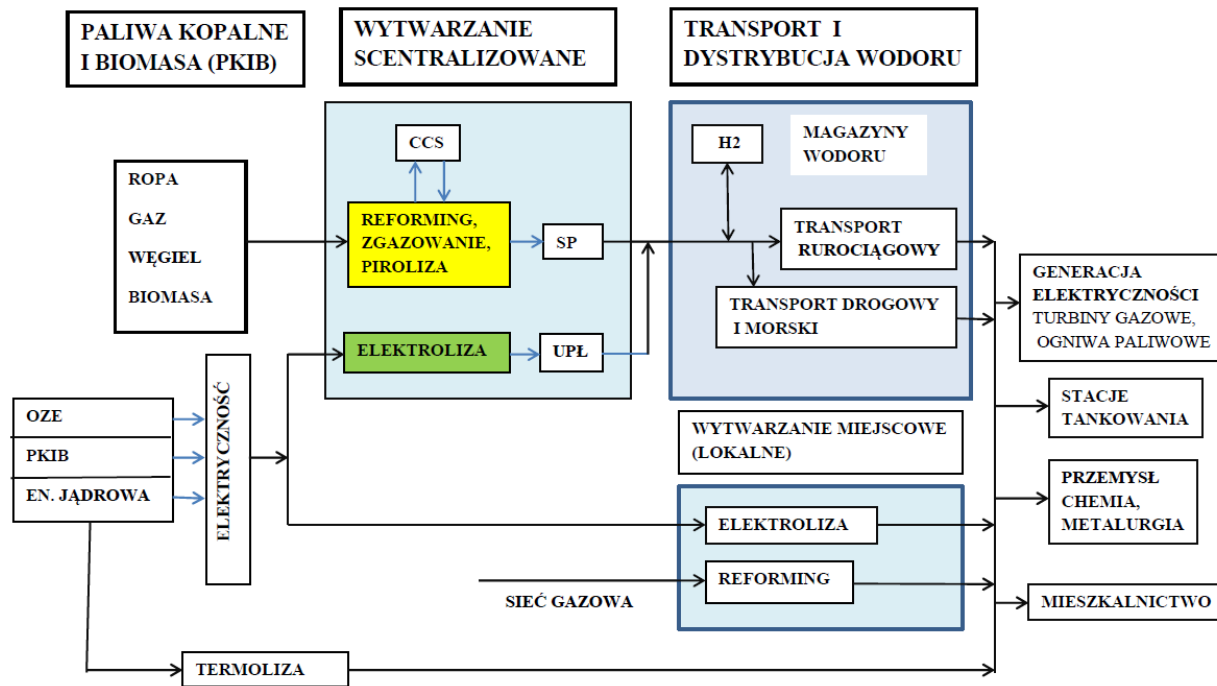
OGÓLNA STRUKTURA GOSPODARKI WODOROWEJ



Z wprowadzeniem wodoru do systemu energetycznego pojawia się wiele nowych elementów zwiększających różnorodność układów konwersji (różne źródła napędowe procesów elektrolizy, termolizy, różne procesy konwersji paliw organicznych w wodor, itd.). Ważną cechą nowych układów jest ich hybrydowość (integracja różnych procesów fizyko-chemicznych i różnych technologii energetycznych wytwarzania energii elektrycznej i ciepła) oraz niska szkodliwość ekologiczna.

Rysunek ilustruje główne moduły i ogólną strukturę gospodarki wodorowej. Na schemacie zaznaczono zarówno ścieżkę wytwarzania scentralizowanego jak i lokalnego. Zarówno dla podejścia scentralizowanego (globalnego) jak i lokalnego można wyodrębnić charakterystyczne schematy technologiczne odpowiadające różnym sposobom wytwarzania wodoru i zakresom jego wykorzystania. Ich analiza jest ważna dla uzyskania informacji koniecznych do wskazania optymalnych strategii eksploatacyjnych poszczególnych technologii gospodarki wodorowej.

OGÓLNA STRUKTURA GOSPODARKI WODOROWEJ

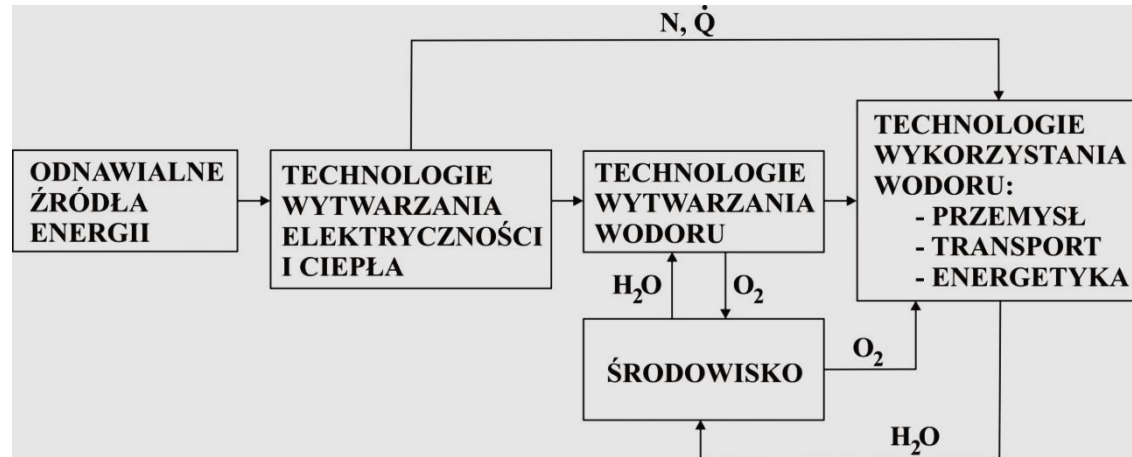


Ogólny schemat pokazany na rys. obejmuje moduły wytwarzania wodoru zarówno z paliw kopalnych, biomasy jak i z wykorzystaniem OZE. Energią napędową dla procesów elektrolizy może być elektryczność z sieci i bezpośrednio z OZE. Istotnym elementami systemu są transport wodoru (w postaci gazowej lub ciekłej) oraz jego magazynowanie. Na rys. zaznaczono różne obszary wykorzystania wodoru.

Z energetycznego punktu widzenia ważna jest generacja elektryczności i ciepła a także chłodu, w różnej skali (ogniwa paliwowe, turbiny gazowe różnej mocy, kogeneracja, spalanie w kotłach wodoru lub amoniaku, samowystarczalne energetycznie mieszkalnictwo).

OGÓLNA STRUKTURA GOSPODARKI WODOROWEJ

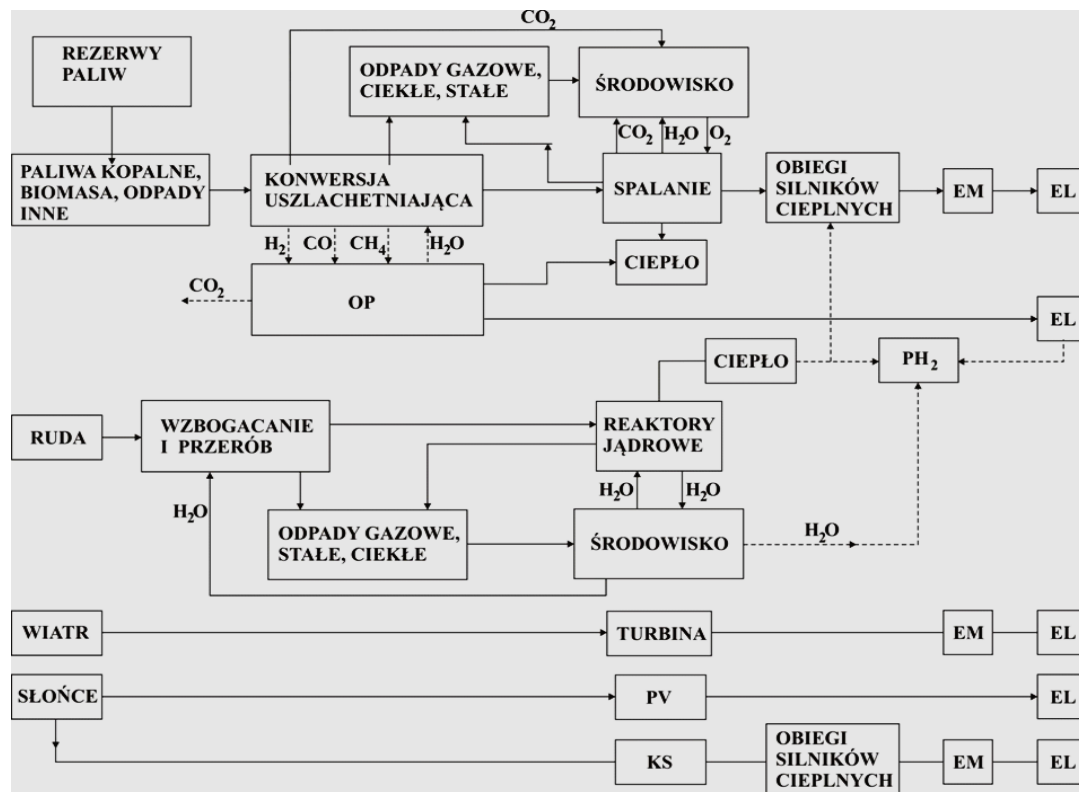
Jeżeli założyć, że pożądanym stanem rozwoju systemu energetycznego jest układ pokazany na rys., to technologie wodorowe umożliwią pełne wykorzystanie potencjału odnawialnych źródeł energii (OZE), pełniąc obok funkcji wytwarzania energii funkcję jej magazynowania. Osiągnięcie takiego stanu wymaga doskonalenia technologii wytwarzania wodoru, optymalnej ich integracji z OZE oraz zmian technologicznych w energetyce, gospodarce komunalnej, transporcie i innych gałęziach przemysłu. Proces ten może być długotrwały.



WODÓR W SYSTEMIE ENERGETYCZNYM

Wprowadzenie do systemu energetycznego paliw kopalnych wodoru jako nośnika energii generuje nowe struktury technologiczne, rys. obok.

Konwersja uszlachetniająca paliwa kopalne (zgazowanie węgla, piroliza metanu, konwersja biomasy i odpadów do gazu syntezowego), umożliwia przy zastosowaniu CCS uzyskiwanie niskoemisyjnego wodoru, co może istotnie wspomagać dekarbonizację gospodarki. W przypadku biomasy i separacji ditlenku węgla można mówić o instalacjach charakteryzujących się ujemną emisyjnością [5]. Wykorzystanie energetyki jądrowej do w gospodarce wodorowej jest źródłem dodatkowych efektów synergicznych. Jeden z celów Polskiej Strategii Wodorowej zakłada (Cel 4 - produkcja wodoru w nowych instalacjach)

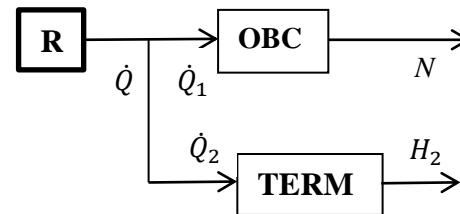
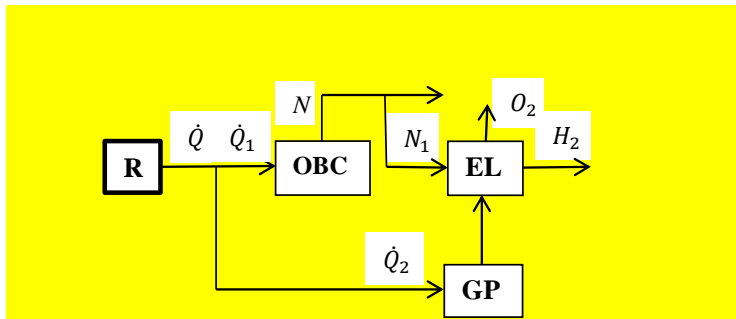


[5] N. Jaiganesh, Po-Chih Kuo, Theo Woudstra, R. Ajith Kumar and P. V. Aravind, Negative Emission Power Plants: Thermodynamic Modelling and Evaluation of a Biomass-Based Integrated Gasification Solid Oxide Fuel Cell/Gas Turbine System for Power, Heat, and Biochar Co-Production—Part 1. *Frontiers in Energy Research*, June 2022 (Volume 10) Article 803756



PRODUKCJA WODORU W INSTALACJACH JĄDROWYCH

Wzrasta zainteresowanie generacją wodoru w instalacjach jądrowych. Dostępnych jest wiele analiz głównych problemów związanych z zastosowaniem reaktorów jądrowych do wytwarzania wodoru [np. 6 -11]. Rozpatrywane są różne klasy reaktorów i inne koncepcje technologiczne produkcji wodoru. Ogólnie rzecz biorąc mieszczą się one w poniższych schematach



[6] Next Generation Nuclear Plant Pre-Conceptual Design Report. Idaho National Laboratory Next Generation Nuclear Plant Project, Idaho 83415, November 2007

[7] Paul Kruger, Nuclear Production of Hydrogen as an Appropriate Technology, Nuclear Technology Vol. 166, Apr. 2009

[8] Viktor Sivertsson, Hydrogen production using high temperature nuclear reactors. A feasibility study. UPTEC ES10 005, 2010

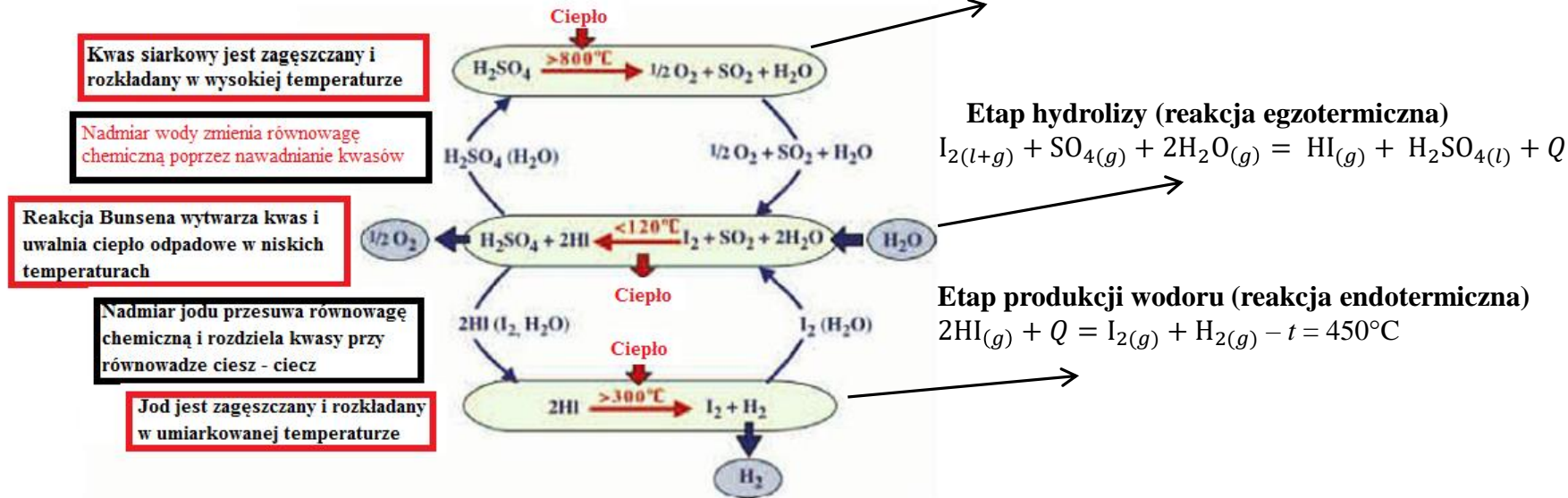
[9] J. E. O'Brien i inni, High Temperature Electrolysis for Hydrogen Production from Nuclear Energy – Technology. Summary, Idaho National Laboratory, Idaho Falls, Idaho 83415, February 2010

[10] Nuclear Hydrogen Production Handbook, ed. Xing L. Yan, Ryutaro Hino. Taylor & Francis Group, LLC 2011

[11] R. Giraldi, Juan-Luis Francois, Cecilia Martin-del-Campo, Life cycle assessment of hydrogen production from a high temperature electrolysis process coupled to a high temperature gas nuclear reactor, I. J. of Hydrogen Energy 40 (2015) 4019 - 4033



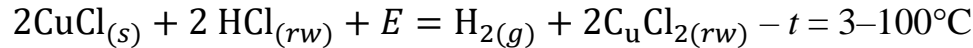
PRODUKCJA WODORU W INSTALACJACH JĄDROWYCH. Przykład procesu termolizy (S – Jod)



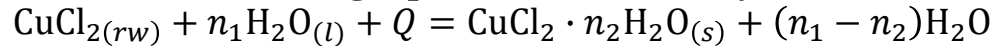
PRODUKCJA WODORU W INSTALACJACH JĄDROWYCH.

Przykład procesu hybrydowego (Miedź – Chlor)

Etap wytwarzania elektrolitycznego wodoru



Etap suszenia roztworu chlorku miedziowego (proces endotermiczny)

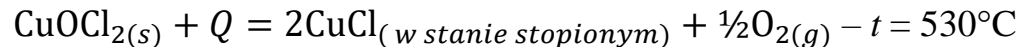


gdzie: n_1 – liczba moli wody doprowadzonej do procesu, n_2 – liczba moli uwadniających chlorek miedzi; $n_1 > 7,5$, $n_2 = 0 - 4$ w zależności od wartości temperatury; poniżej 80°C – krystalizacja; w przedziale $100-200^{\circ}\text{C}$ – suszenie rozpyłowe.

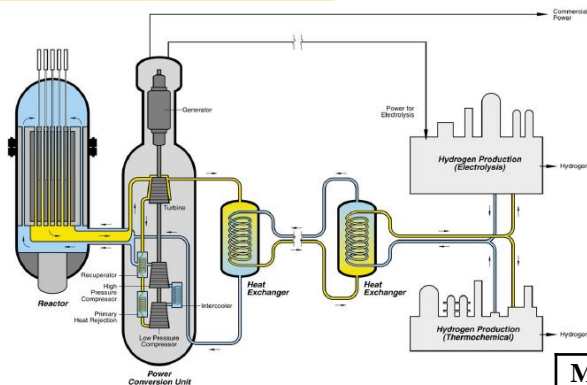
Etap hydrolizy (endotermiczny)



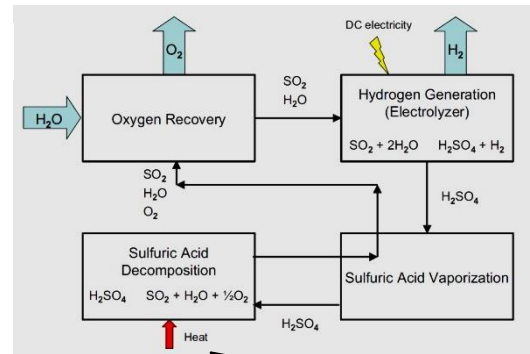
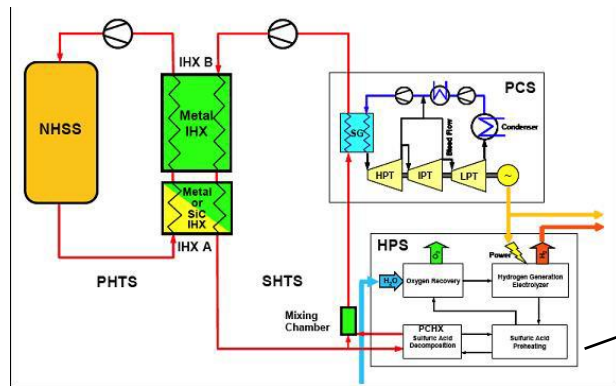
Etap produkcji tlenu (endotermiczny)



PRZYKŁADY

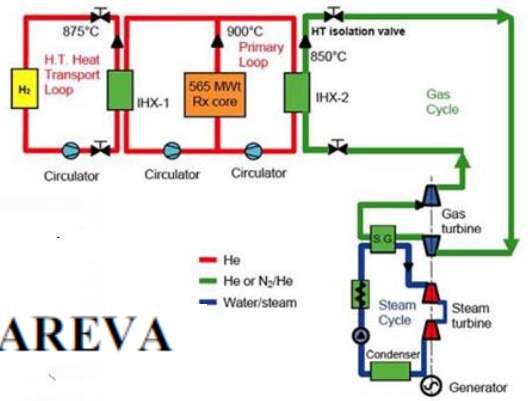


Westinghouse



General Atomics

Moc reaktora	1x 600 MW _t	
Temp. na wyl. z reaktora	959 °C	
Moc ele. do sieci	271 MW (SI) 292 MW (EL)	20 MW do inst SI 29 MW do EL
Strumień ciepła	60 MW _t – SI 4 MW _t – EL	
Produkcja wodoru	526 kg/h – SI 492 kg/h – EL	
Produkcja tlenu	4212 kg/h – SI 3936 kg/h EL	



AREVA



Politechnika Śląska



Katedra Maszyn i Urządzeń Energetycznych

WYBRANE ZAGADNIENIA HYBRYDOWEJ ENERGETYKI WODOROWEJ

Wprowadzenie wodoru do systemu energetycznego generuje nowe struktury technologiczne. Ich podstawowe cechy to:

- **różnorodność** (różne źródła napędowe procesów elektrolizy, termolizy, różne procesy konwersji paliw organicznych w wodór, itd.);
- **hybrydowość** (integracja różnych procesów fizyko–chemicznych i różnych technologii energetycznych wytwarzania elektryczności i ciepła);
- **mała szkodliwość ekologiczna**

Wprowadzenie ogniwa paliwowego:

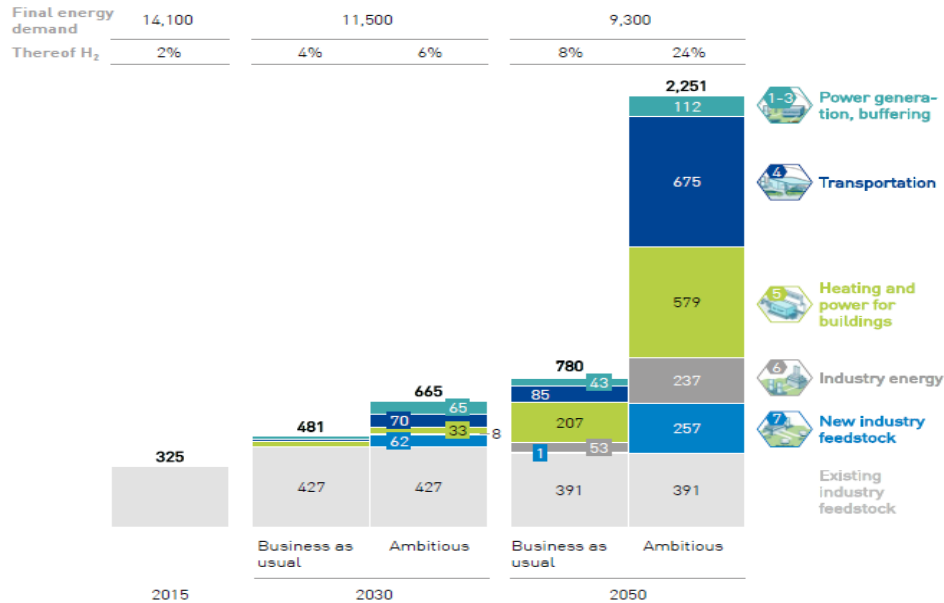
Zwiększa liczbę struktur technologicznych różnych mocy

Układy hybrydowe z obiegami silników cieplnych, głównie turbin gazowych

Układy o różnej skali mocy, w tym rozproszone



ZAPOTRZEBOWANIE NA WODÓR W ENERGETYCE – możliwe zastosowania i ograniczenia



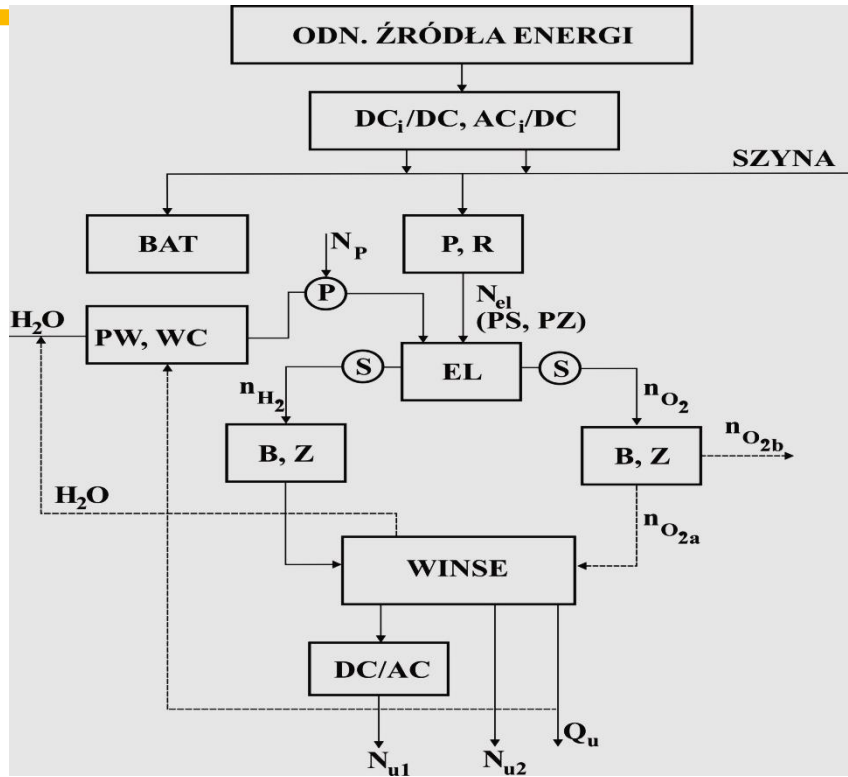
Nie cały generowany wodór jest wykorzystywany w energetyce. Na rys. pokazano strukturę jego wykorzystania według *Hydrogen Roadmap Europe. A Sustainable Pathway for The European Energy transition. Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking 2019, fh.europa.eu*

Udział wodoru w końcowym zużyciu energii w scenariuszu optymistycznym w 2050 (UE) wynosi 24% (2 251 TWh). **Przewidywana struktura jego zużycia to: 112 TWh (ok. 5%) – wytwarzanie elektryczności, bilansowanie systemu (power generation, buffering, sektor 1); 675 TWh (30%) – transport (sektor 2); 579 TWh (25.7%) – ogrzewanie i energia dla mieszkalnictwa (heating, power for buildings, sektor 3); 237 TWh (10.5%) – energia dla procesów przemysłowych (industry energy, sektor 4); 257 TWh (11.4%) – Nowe zastosowania przemysłowe (new industry feedstock, sektor 5); 391 TWh (17.4%, sektor 6) – istniejące obszary zastosowań przemysłowych (existing industry feedstock).**

W scenariuszu *business as usual* udział wodoru w końcowym zużyciu energii jest równy 8% (780 TWh). **Procentowy udział zużycia dla sektora 1 to 5.5%, 2 – 11 %, 3 – 26.5%. Dominuje sektor 6 – 50%. W 2030r. scenariusz optymistyczny zakłada 6 % (665 TWh) udziału wodoru w końcowych zużyciu energii (z tego sektor 1 – 8.8%, sektor 3 – 5%), zaś scenariusz *business as usual* – 4 % (481 TWh), z tego sektor 1 ok.2.5%, sektor 3 – 5.5%.**

Rys. Struktura wykorzystania wodoru w gospodarce dla scenariuszy: *Business as usual* i optymistycznego (*ambitnego*)

Możliwe schematy technologiczne



Ogólny schemat układu energetycznego z wykorzystaniem OZE do produkcji wodoru. PS – prąd stały, BAT – moduł baterii, PW – moduł przygotowania wody, WC – wymiennik ciepła, EL – elektrolizer, B, Z – bufor, zasobnik, P,R – przekształtnik, układ regulacji, P – pompa, S – sprężarka

WINSE – wodorowe instalacje energetyczne: ogniwa paliwowe, wodorowe turbiny gazowe, wodorowe silniki spalinowe, układy hybrydowe turbin gazowych i wysokotemperaturowych OP, układy kogeneracyjne różnej mocy i inne.

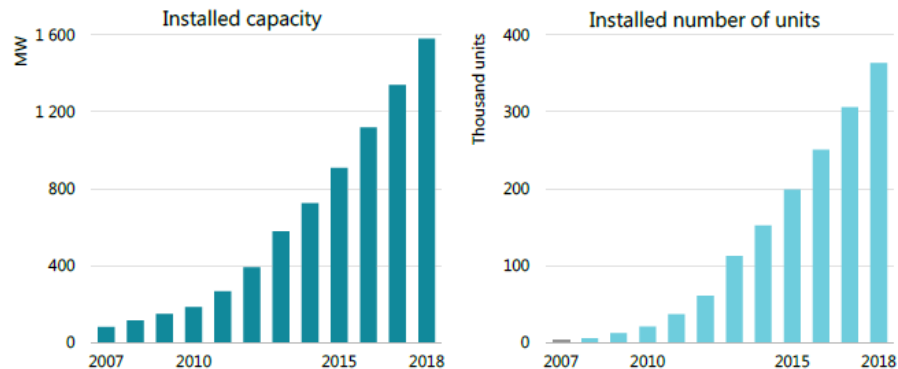
W zależności do modułu wykorzystania wodoru, układ może podlegać optymalizacji i skalowaniu, biorąc pod uwagę rodzaj i charakterystykę energii napędowej.

Metodologia: analiza termodynamiczna, entropowa, egzergetyczna oraz ekonomiczna.

Brak rozwiązań uniwersalnych

ZASTOSOWANIA WODORU W ENERGETYCE (WYTWARZANIE ELEKTRYCZNOŚCI I CIEPŁA). Ogniwa paliwowe

Ogniwa paliwowe – technologia w ciągłym rozwoju. Dynamicznie wzrasta liczba instalacji i moc zainstalowana (ponad 1.6 GW, w tym tylko ok. 90 MW na wodorze). Moce jednostkowe zależą od typów ogniw. **Zakres zastosowania : instalacje energetyki rozproszonej, instalacje rezerwujące , kogeneracja małej mocy, transport.** **Udział w generacji elektryczności 0.02%.** Przykłady szerszych zastosowań : 59-MW Gyeonggi Green Energy fuel cell park in Hwasung City, South Korea , ENE – Farm (Japonia: 300 tys. instalacji w 2020 do 5.3 mln w 2050). Główne wyzwania: obniżenie Capexu (do 500 – 800 USD/kW w 2030) i zwiększenie żywotności. Możliwość produkcji krajowej



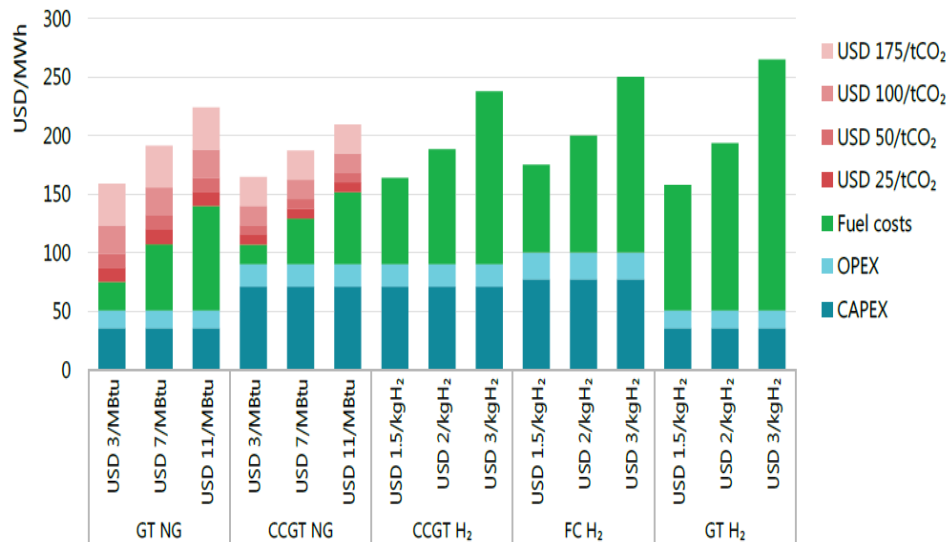
Sources: E4tech (various years), The Fuel Cell Industry Review; S&P Global Platts (2018), World Electric Power Plants Database.



59-MW Gyeonggi Green Energy fuel cell park in Hwasung City, South Korea



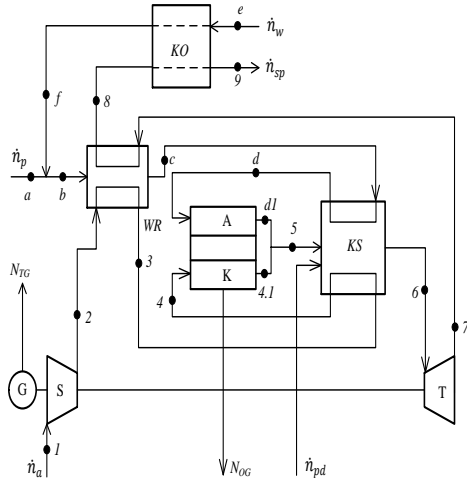
ZASTOSOWANIA WODORU W ENERGETYCE (WYTWARZANIE ELEKTRYCZNOŚCI I CIEPŁA). Turbiny gazowe



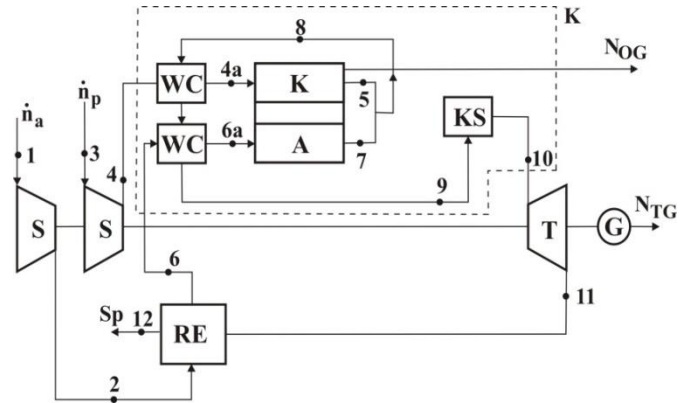
Konkurencyjność elektrowni wodorowych z wytwarzaniem energii na gaz ziemny dla równoważenia obciążenia i generowania obciążenia szczytowego zależy od ceny gazu i potencjalnego poziomu cen emisji dwutlenku węgla. **Dla 15% współczynnika obciążenia i ceny gazu ziemnego wynoszącej 7 USD / MBtu (MBtu = 1.0551GJ) cena CO₂ musiałaby wynosić 100 USD / tCO₂, aby generacja wodorowa przy cenie wodoru 1,5 USD / kgH₂ była konkurencyjna w stosunku do gazu ziemnego.** Dla ceny wodoru 2 USD / kg H₂, dla konkurencyjnej generacji cena CO₂ musiałaby wynosić 175 USD/tCO₂

ZASTOSOWANIA WODORU W ENERGETYCE (WYTWARZANIE ELEKTRYCZNOŚCI I CIEPŁA). Układy hybrydowe

Układy hybrydowe: turbina gazowa sprzężona z ogniwem paliwowym: wodór – po upowszechnieniu komercyjnych instalacji (2030 -2040).

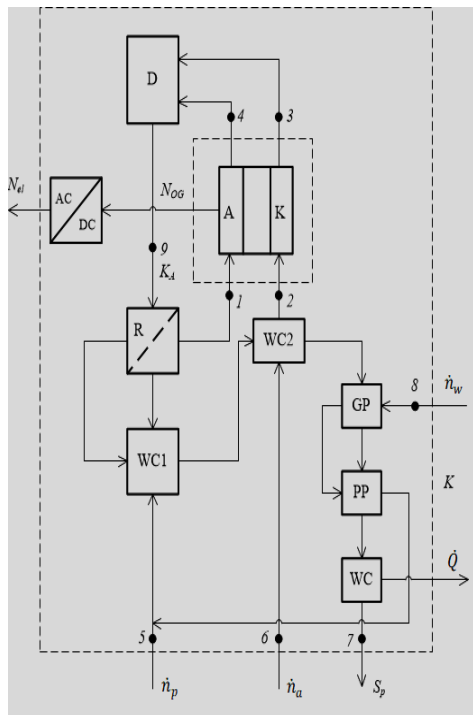


Należy oczekiwać, że w najbliższym czasie dostępne będą typoszeregi układów hybrydowych: ogniwo - mikroturbina gazowa o mocach w zakresie 250 kW do 1 MW (np. System *Megamie* firmy Mitsubishi Power System



Inne potrzeby w mieszkalnictwie: częściowe zastąpienie gazu wodorem w przygotowaniu posiłków (wykorzystanie infrastruktury gazowej w mieszkalnictwie)

ZASTOSOWANIA WODORU W ENERGETYCE (WYTWARZANIE ELEKTRYCZNOŚCI I CIEPŁA). Układy kogeneracyjne



Wskaźnik skojarzenia

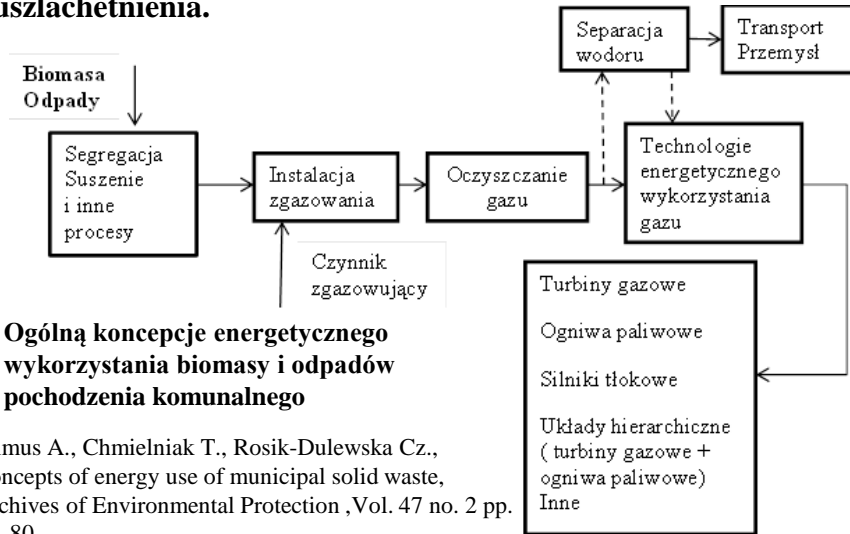
$$\sigma = \frac{\dot{Q}}{N_{el}} = \left(\frac{1 - \eta_{OG}}{\eta_{OG}} - \frac{\dot{Q}_w}{\dot{n}_p(\bar{h}_{pch})_5 \eta_{OG}} \right) \frac{1}{\eta_P} \quad (a)$$

W (a) $\dot{Q}_w = \dot{n}_{sp}(\bar{h}_{sp} - \bar{h}_{sp0})_7$ jest stratą wylotową. Jej wartość zależy od stopnia słodzenia (temperatury w punkcie 7) oraz strumienia \dot{n}_{sp} . Im wyższa sprawność ogniwa, tym mniejszy wskaźnik skojarzenia. Dla sprawności $\eta_{OG} = 0.5$ (sprawność realna) pierwszy człon w (2) jest równy jedności, więc wskaźnik skojarzenia będzie w tym wypadku zawsze mniejszy od jedności. Dla ogniw wysokotemperaturowych strata wylotowa zależy od organizacji schematu cieplnego (reformingu wewnętrzny, zewnętrzny, sposób generacji pary wodnej, stopień utylizacji paliwa, itd.). Współczynnik straty $\xi_w = \frac{\dot{Q}_w}{\dot{n}_p(\bar{h}_{pch})_5}$ będzie mieścić się w przedziale 10 – 25 %. Tak wysoka wartość jest konsekwencją dużego strumienia powietrza (współczynnik nadmiaru powietrza λ

Uproszczony schemat układu skojarzonej produkcji elektryczności i ciepła z wykorzystaniem wysokotemperaturowego ogniwa tlenkowego SOFC z reformingiem zewnętrznym. D – dopalanie; GP – generacja pary; PP – przegrzew pary; WC, WC1, WC2 – wymienniki ciepła; R – generator reformingu, K_A – osłona bilansowa ogniwa paliwowego

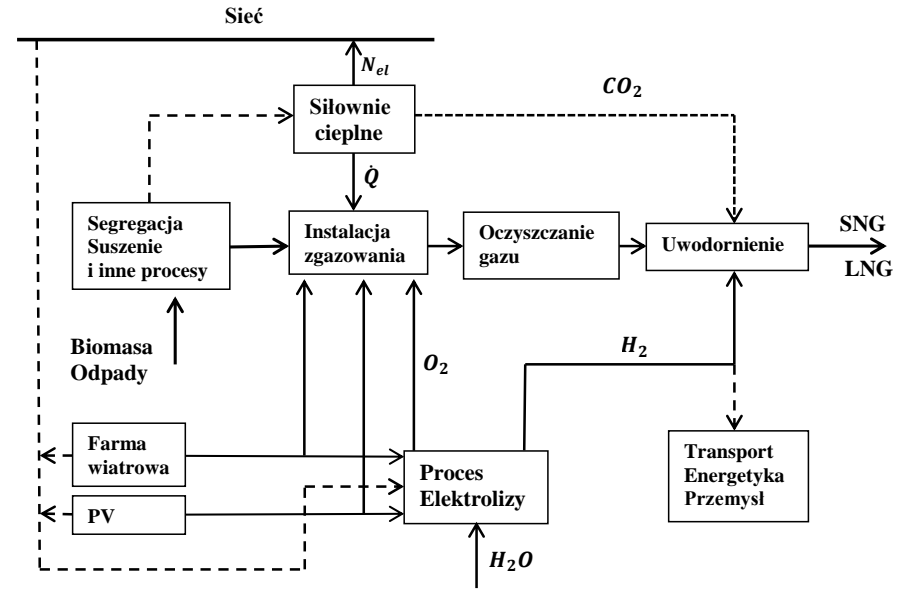
INSTALACJE WODOROWE WYKORZYSTUJĄCE KONWERSJĘ BIOMASY I ODPADÓW

W ostatnim okresie czasu wzrasta zainteresowanie układami ogniw paliwowych zasilanych paliwem z konwersji biomasy. W tym wypadku układ technologiczny zależy od rodzaju zastosowanego ogniwa, rodzaju gazu po konwersji biomasy (zgazowanie biomasy, fermentacja, inne procesy) i sposobu oraz zakresu jego uszlachetnienia.



Ogólna koncepcje energetycznego wykorzystania biomasy i odpadów pochodzenia komunalnego

Primus A., Chmielniak T., Rosik-Dulewska Cz.,
 Concepts of energy use of municipal solid waste,
 Archives of Environmental Protection, Vol. 47 no. 2 pp.
 70–80



Wykorzystanie biomasy umożliwia budowę instalacji o ujemnej emisji ditlenku węgla . Ogólna koncepcję ilustruje rys.



UWAGI KOŃCOWE

Wodór, mimo wielu zgłaszanych wątpliwości, jest uważany za ważny nośnik energii o wysokim potencjale, istotnie wspomagający proces dekarbonizacji całej gospodarki, w tym szczególnie tych jej gałęzi, które trudno poddają się pełnej elektryfikacji (np. transport ciężki, lądowy, morski, lotniczy, wybrane gałęzie przemysłu). Podkreśla to zarówno Strategia wodorowa UE, jak również Polska Strategia wodorowa.

Z wprowadzeniem wodoru do systemu energetycznego pojawia się wiele nowych elementów zwiększających różnorodność układów konwersji (różne źródła napędowe procesów elektrolizy, termolizy, różne procesy konwersji paliw organicznych w wodór oraz jego konwersji do końcowych postaci energii, itd.). Ważną cechą nowych układów jest ich hybrydowość (integracja różnych procesów fizyko–chemicznych i różnych technologii energetycznych wytwarzania elektryczności i ciepła) oraz niska szkodliwość ekologiczna.

Obok najbardziej rozpowszechnionych układów kogeneracyjnych z produkcją wodoru lub bez, przedmiotem analiz i studiów są układy poligeneracyjne (wytwarzanie wodoru elektryczności, ciepła, chłodu, wody użytkowej) o różnej strukturze technologicznej i różnych rodzajach ogniw.



UWAGI KOŃCOWE

W systemach hybrydowych energetyki wodorowej ważne funkcje spełnia układ turbiny gazowej zintegrowanej z ogniwem wysokotemperaturowym. Występuje on jako autonomiczny układ wytwarzania energii elektrycznej (często jako układ kogeneracyjny). Może także stanowić moduł w bardziej złożonych instalacjach energetycznych, w tym także w instalacjach ze zgazowaniem węgla i biomasy.

Wszystkie moduły gospodarki wodorowej wymagają intensywnych badań poznawczych i rozwojowych. Obecnie główny wysiłek badawczy jest kierowany na produkcję elektrolityczną wodoru (elektrolizery niskotemperaturowe, średniotemperaturowe i wysokotemperaturowe) z wykorzystaniem OZE. Oprócz doskonalenia samej konstrukcji ważnymi zagadnieniami są: poprawa sprawności, zmniejszenie kosztów wytwarzania, wydłużenie żywotności klasycznych elektrolizerów oraz poszukiwanie nowych technologii rozkładu wody. Ważne znaczenie może także mieć wykorzystanie energetyki jądrowej do produkcji wodoru (termoliza). Dalszego wysiłku badawczego wymaga uzyskanie dojrzałości wdrożeniowej nowych koncepcji generacji i wykorzystania nowych paliw oraz wykorzystania biomasy i odpadów. Konieczne są dalsze studia metodologiczne umożliwiające optymalizację sposobów integracji różnych modułów technologicznych w złożonych instalacjach gospodarki i energetyki wodorowej. Kluczowym problemem jest opanowanie racjonalnych technologii magazynowania energii. W wielu przypadkach wymagane jest skierowanie odpowiednich środków na instalacje demonstracyjne.



Dziękuję za uwagę

tadeusz.chmielniak@polsl.pl

