

Dominika BANDOŁA¹
Marta BAZAN²
Łukasz LELEK³
Robert ŻMUDA⁴

Rozproszona generacja wodorowa odpowiedzią na potrzeby transformacji energetycznej

Wprowadzenie

Zgodnie założeniami planu RePowerEU, przyjętego przez Komisję Europejską 18 maja 2020, Europa podejmuje intensywne działania zmierzające do całkowitego odejścia od importowania paliw pochodzących z rynku rosyjskiego. Plan ten ma być unijną odpowiedzią na trudności i zakłócenia na światowym rynku energii oraz ma przyczynić się podniesienia bezpieczeństwa energetycznego państw członkowskich. Zależności Unii Europejskiej m.in. od rosyjskich paliw kopalnych, wykorzystywanych aktualnie jako narzędzie wojny polityczno-gospodarczej, przyczyniają się do znaczącego wzrostu ich kosztów, co przekłada się bezpośrednio na odbiorców końcowych i obywateli UE. Stąd uniezależnienie się od dostaw paliw z rejonów niestabilnych politycznie jest głównym celem przyjętego planu. Założenia Pakietu Klimatycznego czy aktualnego planu RePowerEU przekładają się w bezpośredni sposób na konieczność dynamiczniejszego rozwoju technologii w sektorze energetycznym, jak i elektromobilności. Odpowiedzią na to wyzwanie mogą stać się technologie wodorowe, a szczególnie tzw. zielony wodór produkowany z odnawialnych źródeł energii (OZE) (Dincer i Acar 2015). Technologie te odpowiadają na wyzwania REPowerEU, są na wysokim pozio-

¹ SBB ENERGY SA, Opole;
ORCID iD: 0000-0002-5454-1852; e-mail: d.bandola@sbbenergy.pl
² SBB ENERGY SA, Opole;
e-mail: m.bazan@sbbenergy.pl
³ SBB ENERGY SA, Opole;
ORCID iD: 0000-0002-3414-5123; e-mail: l.lelek@sbbenergy.pl
⁴ SBB ENERGY SA, Opole;
ORCID iD: 0000-0003-1801-418X; e-mail: r.zmuda@sbbenergy.pl

mie gotowości technologicznej oraz ze względu na swój zeroemisyjny charakter pozwalają na dynamiczną ale i zrównoważoną transformację energetyczną regionów UE (Acar i Dincer 2014).

Niniejsza praca przedstawia podstawowe cechy wodoru jako paliwa oraz jego potencjał w procesach transformacji na podstawie przeglądu literatury oraz własnych doświadczeń zdobytych przy opracowywaniu koncepcji technologicznych. Głównym celem rozdziału jest opis aktualnie podejmowanych działań w Polsce, w tym pierwszych w kraju i dlatego kluczowych projektów dotyczących technologii opartych na zeroemisyjnym wodorze. Opisano projekty będące aktualnie w końcowych fazach realizacji, ze szczególnym uwzględnieniem dwóch, w których SBB ENERGY SA bierze udział. Rola Spółki jako generalnego wykonawcy umożliwia także wskazanie kilku wniosków z zakończonych prac.

1. Wodór jako paliwo

Wodór jest powszechnie występującym pierwiastkiem, co sprawia, że jego źródła i metody wytwarzania mogą być bardzo zróżnicowane. Klasyfikacja opiera się na źródle pochodzenia paliwa – zielonym określa się wodór, który powstał z wykorzystaniem OZE. Dzięki szerokiemu wachlarzowi technologii, jest dobrym nośnikiem energii, który może zostać wyprodukowany i wykorzystany w każdym miejscu z dostępem do energii elektrycznej i wody (Ishaq i in. 2022). Na rynku funkcjonują również technologie produkcji wodoru z biomasy odpadowej, a trwają prace nad wdrażaniem rozwiązań wykorzystujących, jako surowiec, odpady plastikowe (Ismail i Dincer 2023).

Wodór może stanowić magazyn energii, który jednak podlega pewnym ograniczeniom. Charakteryzuje się dużą wartością opałową odniesioną do jednostki masy – jest to około 2,5 razy więcej niż dla metanu. Istotną wadą jest niska objętościowa gęstość energii. Gęstość energii w masie dla wodoru wynosi aż 33,3 kWh/kg, lecz w odniesieniu do objętości gazu pod ciśnieniem 30 MPa to zaledwie 0,75 kWh/l.

Zastosowanie odnawialnych źródeł energii do produkcji paliwa pozwala na decentralizację sektora energetycznego, zwiększanie bezpieczeństwa oraz niezależności energetycznej regionów, również w miejscach oddalonych od dużych ośrodków miejskich. Długofalowo, może to pozwolić samorządom na dekarbonizację lokalnych systemów oraz efektywną walkę ze stale rosnącym deficytem energetycznym.

Wdrażanie technologii wodorowych do polskiej energetyki może prowadzić nie tylko do decentralizacji systemu, ale również ograniczenia emisji. Wodór, jako paliwo, jest nietoksyczny, a jego wykorzystanie nie powoduje uwalniania do atmosfery dwutlenku węgla oraz innych szkodliwych substancji, takich jak tlenki siarki (powstające przy spalaniu węgla). Produkcja energii elektrycznej w oparciu o ogniwa paliwowe nie generuje tlenków azotu (Lucia 2014). Podczas spalania wodoru tlenki te powstają, jednak transformacja zainicjuje stosowanie technologii odazotowania spalin z silników i turbin gazowych zasilanych mieszkankami bogatymi w wodór (Lewis 2021). Ponadto, paliwo to daje perspektywę na zmniejszenie zanieczyszczenia hałasem, a dzięki kompaktowej budowie instalacji, nie wpływają one istotnie na krajobraz.

Ogromną zaletą niektórych technologii wodorowych jest elastyczność pracy. Układy oparte na elektrolizie, to systemy szybko reagujące, co sprawia, że doskonale nadają się do magazynowania chwilowych nadwyżek energii. Taka responsywność pozwoli w przyszłości budować długofalową rezyliencję sieci i zwiększać udział odnawialnych źródeł w miksie energetycznym. Bezpośrednim produktem elektrolizy wody jest również tlen, który może być wykorzystywany w procesach spalania jako utleniacz lub w innych gałęziach gospodarki, na przykład w medycynie. Choć obecnie większość projektów w Polsce ma charakter pilotażowy, ich zaletą jest kompaktowa budowa i skalowalność. Dzięki temu, aktualnie realizowane testowe instalacje będą mogły zostać rozbudowane w większe obiekty.

Niezależnie od ścieżki wykorzystania wodoru – czy to w ogniwach paliwowych, czy w procesie spalania – będzie stanowić on ważny element w procesie dekarbonizacji wielu sektorów, ze względu na swoją wysoką gęstość energetyczną wyrażoną na jednostkę masy. Przykładem może być transport, w którym zmniejszenie negatywnego wpływu na środowisko stanowi duże wyzwanie. Szeroko dyskutowane są ograniczenia strategii polegającej na promowaniu pojazdów elektrycznych, ze względu na osiągnięte przez nie zasięgi, czas oraz technikę ładowania. Pod tym względem, wielu specjalistów widzi przewagę zastosowania technologii opartej na wykorzystaniu wodoru jako paliwa, aby osiągnąć cele stawiane w zakresie elektromobilności (Thomas 2009).

Elastyczność, wyrażona poprzez liczne możliwości zastosowania wodoru w energetyce i przemyśle, a także bezemisyjnej produkcji i utylizacji z wykorzystaniem różnorodnych technik, stanowi o jego wartości z perspektywy transformacji energetycznej. Ponadto, alternatywne technologie wytwarzania wodoru z surowców, takich jak odpady (Kapdan i Kargi 2006), w tym osady ściekowe, wpisują się w ideę obiegu zamkniętego. Poza korzystnymi cechami ekonomicznymi, pozwalają zmniejszyć problemy związane ze składowaniem i wynikającymi z niego zanieczyszczeniami gleby, wód i powietrza.

2. Kompleksowa gospodarka

Gospodarka wodorowa obejmuje technologie wytwarzania, magazynowania oraz wykorzystania gazu. Produkcja zielonego wodoru wiąże się ze współpracą układu generacji z jednostką wytwórczą OZE lub wykorzystaniem lokalnie produkowanych odnawialnych surowców. W związku z tym, w określonym zakresie mocy, układy te są elementem energetyki rozproszonej – działają z wykorzystaniem miejscowych źródeł i produkują różne formy energii do wykorzystania w obrębie regionu lub zakładu przemysłowego. W takich przypadkach, rozpatruje się często, tak zwaną, wyspową formę instalacji (*off-grid*), co oznacza, że strumienie energii nie przecinają osłony bilansowej obejmującej wewnętrzną infrastrukturę – energia nie jest pobierana, ani oddawana do sieci.

Wówczas, brak możliwości stosowania uzupełniającego zasilania energią z sieci wymusza odpowiedni dobór mocy urządzeń, ze szczególnym uwzględnieniem źródeł, węzła generacji i magazynowania, w celu zapewnienia ciągłości dostaw. Wyzwaniem jest dobór odpowiedniego systemu magazynowania, który pozwoli maksymalnie wykorzystać potencjał produkcyjny układu, spełni funkcję zabezpieczenia zapasu energii chemicznej, a jednocześnie, zmieści się

na wyznaczonym terenie i nie zwiększy nadmiernie nakładów inwestycyjnych. Prowadzi się wiele badań nad możliwością wykorzystania sieci gazowej jako buforu magazynowego dla zielonego wodoru (Haeseldonckx i Dhaeseleer 2007). Z pewnością, korzystne byłoby zastosowanie istniejącej infrastruktury do zazielenienia systemu, jest to również najtańszy sposób na transport wodoru. Technicznym wyzwaniem jest jednak zminimalizowanie przenikania oraz zabezpieczenie rurociągów przed degradacją na skutek zjawiska kruchości wodorowej, którą powoduje gromadzenie się w metalu atomów tego pierwiastka (Sun i Frank Cheng 2022).

Szeroki zakres płynnej regulacji wydajności, dopuszczalność szybkich zmian mocy oraz długa żywotność powoduje, że instalacje produkcji i utylizacji wodoru bardzo dobrze wyrównują profil produkcji energii z OZE, dzięki czemu pozwalają bilansować system, niwelując skutki nierównomiernej pracy odnawialnych źródeł zależnych od warunków atmosferycznych.

Międzysezonowe przenoszenie energii z OZE w formie energii chemicznej, wydaje się korzystniejsze przy zastosowaniu paliw płynnych produkowanych z wodoru (na przykład amoniaku) lub uzupełnianiu produkcji gazowego wodoru z innych źródeł. W lokalnej gospodarce, zastosowanie może znaleźć przetwarzanie fizykochemiczne odpadów organicznych. Produkty pośrednie z takich procesów mogą być bezpiecznie magazynowane przez długi czas, a ich skład i parametry są zbliżone do węgla brunatnego. Wykorzystanie, na przykład, osadów ściekowych jest korzystne także ze względu na możliwość uniknięcia dodatkowego kosztu operacyjnego dla oczyszczalni związanego z utylizacją odpadów, a realizowane w ten sposób ponowne wykorzystanie materii, stanowi doskonały przykład gospodarki obiegu zamkniętego.

Zaopatrzenie odbiorców w energię elektryczną, ciepło, a nawet chłód możliwe jest poprzez zastosowanie wielu dostępnych technik wykorzystujących wodór lub paliwa powstające na jego bazie. Ogniwa paliwowe, dostępne w szerokim zakresie mocy, są technologią komercyjnie dojrzałą. Ich praca nie wymaga dostarczenia innych substratów, poza wodorem oraz tlenem pochodzącym z powietrza. Wiele firm pracuje nad optymalizacją procesu spalania wodoru (Smirnov i Nikitin 2014), przy czym nieczęsto oferowane są jeszcze silniki wewnętrznego spalania zasilane czystym pierwiastkiem. Zwykle są to jednostki dostosowane do spalania mieszaniny gazu ziemnego z wodorem. Podobna sytuacja występuje w przypadku turbin gazowych. Niezależnie od tego, urządzenia te umożliwiają ograniczenie wykorzystania paliw kopalnych w produkcji energii elektrycznej oraz ciepła.

Istnieje wiele procesów przemysłowych, które mogą być poddane transformacji, poprzez zamianę paliwa kopalnego na wodór. Flagowym przykładem jest redukcja Fe_2O_3 w wielkim piecu, gdzie jako czynnik redukujący wykorzystuje się węgiel i tlenek węgla, które można zastąpić wodorem (Zieliński i in. 2010).

Ze względu na rosnącą popularność innowacji wodorowych i opisane powyżej korzyści, pojawiają się inicjatywy wspólnot, samorządów czy porozumień przedsiębiorców, dotyczące implementacji tego typu rozwiązań. Wiele z nich skupia się na zakupie taborów oraz budowaniu infrastruktury do tankowania pojazdów zasilanych wodorem. Zdaje się, że ten kierunek jest właściwy z perspektywy budowy nowego rynku, w którym równie ważne jest kreowanie strony podażowej jak i popytowej. Wielu operatorów transportu publicznego za-

uważyło korzyści płynące z inwestycji w autobusy wodorowe – zakontraktowano już zakup około 120 sztuk przy współfinansowaniu poprzez program Zielony Transport Publiczny. Już trzy polskie firmy opracowały i wprowadziły do sprzedaży autobusy z ogniwami paliwowymi. Powstały także pierwsze lokomotywy wodorowe. Rozszerzenie tego trendu na pojazdy osobowe wymaga intensywnej rozbudowy sieci stacji tankowania w kraju (obecnie funkcjonuje jedna stacja mobilna w Krakowie), a także zapewnienie stabilnych dostaw paliwa, więc prawdopodobnie zajmie wiele lat.

Wraz z rozwojem technologii oraz rozbudową infrastruktury, w lokalnych społecznościach czy zakładach przemysłowych, będzie można wykorzystać miejscowe moce wytwórcze OZE oraz odpady do produkcji wodoru, umożliwiające stabilne, niezależnie od pory dnia i roku dostawy energii elektrycznej, ciepła, chłodu oraz stanowiącego paliwo do transportu. Bezsprzecznie, przyczyni się to do zwiększenia niezależności energetycznej oraz pełni będzie znaczącą rolę w procesie dekarbonizacji.

3. Wybrane projekty wodorowe w Polsce

Infrastruktura wodorowa w Polsce jest równolegle rozwijana przez wiele podmiotów. Wśród najbardziej aktywnych jest, między innymi, Grupa ORLEN, która rozwija się zarówno w obszarach mobilności jak i przemysłu oraz energetyki. Jej działania obejmują tworzenie HUB-ów, które pozwalają na zaopatrzenie kluczowych rynków zbytu. Do 2030 roku ORLEN planuje wybudować instalacje produkujące wodór o łącznej mocy 540 MW, przy czym około 50% jego wolumenu będzie można określić jako nisko- lub zeroemisyjny. W perspektywie długoterminowej moc ta wzrośnie do 1 GW, przy czym aż 80% zostanie wykorzystana na produkcję zielonego wodoru (Strategia Wodorowa Grupy ORLEN, n.d.).

Istotnym w skali kraju projektem jest również inwestycja w układ produkcji wodoru, w oparciu o elektrolizę oraz stację napełniania magazynów mobilnych, realizowana przez ZE PAK SA przy Elektrowni Konin, współfinansowana ze środków europejskich w ramach Funduszu Innowacyjnego. W pierwszym etapie, moc instalacji wyniesie 2,5 MW, a w kolejnym 5 MW, z perspektywą na dalszą rozbudowę przy uzyskaniu odpowiednich pozwoleń. Urządzenia będą w całości zasilane energią odnawialną. Projekt jest doskonałym przykładem tego, jak modułowy charakter instalacji umożliwia jej stopniową rozbudowę (Produkcja Wodoru w ZE PAK SA 2021).

Budowa łańcucha wartości związanego z gospodarką wodorową jest wspierana przez tworzenie dolin wodorowych, w których realizowane są projekty inwestycyjne oraz B+R+I (badania-rozwoj-implementacja). Polska Strategia Wodorowa zakłada powstanie co najmniej pięciu, przy czym już istnieje, lub są zawiązywane następujące doliny: Śląska, Dolnośląska, Wielkopolska, Pomorska, Mazowiecka oraz Podkarpacka. Dla przykładu, Pomorska Dolina Wodorowa, zrzeszająca firmy, uczelnie oraz Urząd Marszałkowski Województwa Pomorskiego zajmuje się rozwojem transportu lądowego oraz morskiego, opartego na zielonym wodorze. Z kolei w Wielkopolsce sygnatariusze skupiają się na produkcji zeroemisyjnego paliwa. Jako pierwsza została powołana Dolina Podkarpacka, która chce wykorzystać potencjał regionu do produkcji ogniw paliwowych, autobusów wodorowych,

a w przyszłości także w pracach związanych z wykorzystaniem wodoru do napędzania samolotów (H2Poland 2021).

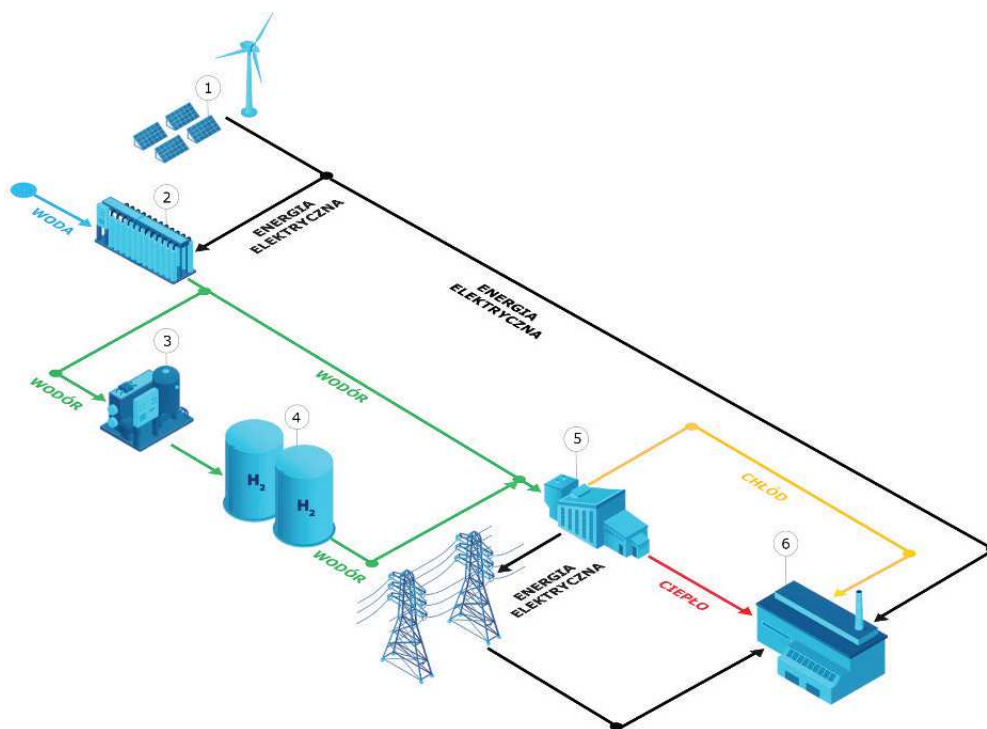
Proces transformacji energetycznej, w tym realizacja projektów związanych z rozproszonym wytwarzaniem energii i równoważeniem zapotrzebowania, dystrybucji w ramach sieci o napięciu 110 kV i obrotu energią z odnawialnych źródeł i paliw alternatywnych, wspierany jest poprzez zawieranie porozumień cywilnoprawnych zwanych klastrami energii.

Energetyczny Klaster Oławski EKO prowadzi projekty rozwijające lokalną produkcję czystej energii oraz jej magazynowanie. Jedną z inicjatyw, realizowaną na terenie zakładów produkcyjnych należących do firmy Promet-Plast, jest budowa pionierskiego układu wytwarzania wodoru zasilającego wysokosprawną jednostkę trigeneracji, o całkowitej nominalnej mocy elektrycznej do 1 MW. Jej podstawowym urządzeniem będzie elektrolizer z membraną elektrolitowo-polimerową (PEM) o mocy 5 MW wraz z magazynem wodoru i infrastrukturą towarzyszącą. Inwestycja współfinansowana ze środków Europejskiego Funduszu Spójności, w ramach Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko 2014–2020, ma na celu poprawę efektywności wykorzystania energii pierwotnej w paliwie i zmniejszenie zużycia nieodnawialnych źródeł energii, a rolę generalnego wykonawcy pełni SBB ENERGY SA.

Wytworzony w elektrolizerze wodór, poprzez układ redukcji ciśnienia, będzie przesyłany do agregatu kogeneracyjnego, składającego się z silnika spalinowego i generatora oraz układu wyprowadzenia ciepła, w którym jego energia chemiczna zostanie przemieniona w procesie spalania, na energię mechaniczną oraz energię cieplną. Posłużą one odpowiednio do wytworzenia energii elektrycznej w generatorze, zagospodarowania ciepła i produkcji chłodu w agregacie absorpcyjnym. W okresach zmniejszonego zużycia wodoru w bloku kogeneracyjnym, jednostka umożliwi jego sprężenie i zmagazynowanie. Rysunek 1 przedstawia schemat poglądowy instalacji, obejmujący następujące elementy:

1. Źródła energii odnawialnej,
2. Układ generacji i doczyszczania wodoru wraz ze stacją uzdatniania wody oraz stacją redukcji ciśnienia,
3. Węzeł sprężania wodoru,
4. System magazynowania wodoru,
5. Węzły agregatu kogeneracyjnego oraz agregatu absorpcyjnego z wieżą chłodniczą,
6. Odbiorca – zakład produkcyjny.

Sygnatariuszem Porozumienia Sektorowego na Rzecz Rozwoju Gospodarki Wodorowej w Polsce jest, między innymi, Grupa Kapitałowa PKP ENERGETYKA. Godnym uwagi jest realizowany przez Spółkę projekt, pt. „System dynamicznej redukcji obciążenia podstacji trakcyjnej, działający z wykorzystaniem zasobnika dużej mocy” współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego przez Program Operacyjny pt. Inteligentny Rozwój 2014–2020 i realizowany w ramach konkursu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju: nr 8 Programu sektorowego „PBSE”. Celem przedsięwzięcia jest opracowanie i wdrożenie systemu redukcji mocy szczytowych w stacjach trakcyjnych należących do Grupy. W ramach projektu, w lipcu 2021 roku, uruchomiona została pilotażowa instalacja wielkoskalowego magazynu energii obejmująca system baterijny składający się z 4240 ogniw litowo-jonowych zgrupowanych w łańcuchy, oraz systemu przekształcania energii, z jego głównym elementem, którym jest modułowy, dwukierunkowy przekształtnik energoelektro-



Rys. 1. Konceptyjny schemat blokowy układu produkcji wodoru oraz trigeneracji (opracowanie własne)

Fig. 1. Conceptual block diagram of hydrogen production and trigeneration system

niczny DC/DC. Obie części zabudowane są w kontenerach zlokalizowanych na terenie podstacji trakcyjnej Garbce w gminie Żmigród. Jest to pierwsza tego typu instalacja w Polsce, innowacyjna również w skali światowej (Artyszak 2021).

Kolejnym etapem realizacji opisanego wyżej projektu jest wybudowanie wodorowego systemu magazynowania energii współpracującego z powstającą, w ramach odrębnej inwestycji, instalacją fotowoltaiczną oraz istniejącą już infrastrukturą baterijną w Garbcach. koncepcja technologiczna została opracowana wspólnie przez PKP ENERGETYKA i zespół naukowców z Uniwersytetu Zielonogórskiego (PKP ENERGETYKA SA 2022), a rolę Generalnego Wykonawcy dla tego zadania pełni SBB ENERGY SA. Zakres trwających prac, dotyczących instalacji wodorowej, stanowiącej część przyszłej mikrosieci, został zaznaczony na

Rysunek 3 przerywaną linią, a poszczególne symbole oznaczają kolejno:

1. Układ generacji wodoru,
2. Węzeł sprężania wodoru,
3. Układ magazynu buforowego,
4. Ogniwo paliwowe,
5. Istniejący, baterijny magazyn energii,

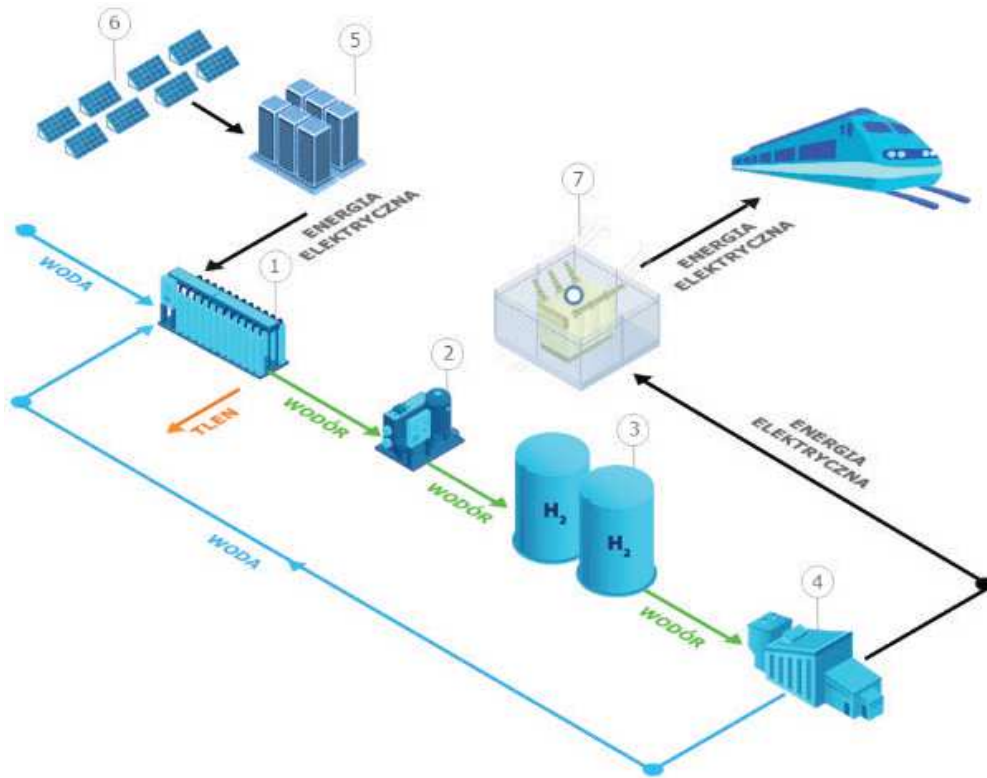


Rys. 2. Prace na placu budowy na terenie Promet-Plast w Gaju Oławskim (opracowanie własne)

Fig. 2. Work on the construction site at the Promet-Plast in Gaj Olawski

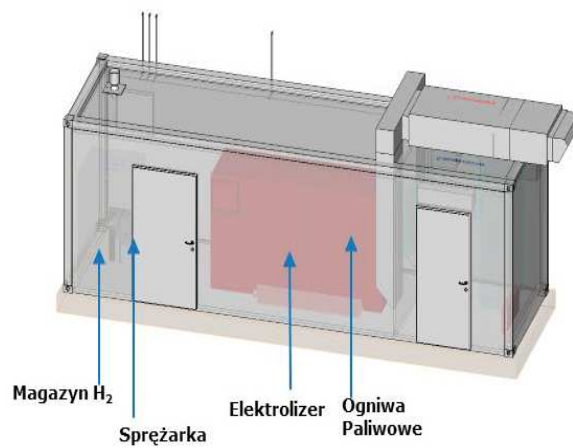
6. Źródła energii odnawialnej,
7. Odbiorca energii – podstacja trakcyjna.

Wodór produkowany będzie w elektrolizerze typu AEM (*Anion Exchange Membrane*), w którym elektrolitem jest wodny roztwór KOH o niskim stężeniu. Całe wyposażenie układu generacji zostanie zamontowane w szafie technicznej. Wyprodukowany wodór będzie sprężany, z wykorzystaniem sprężarki dwustopniowej oraz magazynowany w mobilnych butlach stalowych, łączonych w zestawy montowane w stelażu. Produkt będzie następnie kierowany do ogniwa paliwowego, generującego energię elektryczną do zasilania trakcji. Cechą charakterystyczną projektu jest umieszczenie wszystkich kluczowych elementów instalacji w jednym kompaktowym kontenerze (rys. 4). W ten sposób, powstanie pierwsza w Polsce, nowatorska, przyjazna dla środowiska mikrosieć dla sektora kolejowego. Ponadto, zastosowanie mobilnych butli magazynowych – możliwych do odłączenia od całego układu – pozwoli na wykorzystanie części produkowanego pierwiastka, także do innych celów – badawczych, lub potencjalnie, do zasilania pociągów PKP Energetyka.



Rys. 3. Schemat blokowy mikro sieci w Garbceach (opracowanie własne)

Fig. 3. Block diagram of the microgrid in Garbce



Rys. 4. Układ kontenerowy instalacji wodorowej (opracowanie własne)

Fig. 4. Containerized layout of the hydrogen plant

5. Polska Strategia Wodorowa i legislacja w Polsce

Środowisko legislacyjne związane z wodorem w Polsce jest obecnie kształtowane i definicje prawne wodoru, pojęć pokrewnych i standardów z tym związanych dopiero powstają. Brak jest kompleksowych rozwiązań oraz stabilnego i, przede wszystkim, spójnego prawodawstwa krajowego sprzyjającego realizacji opisywanych przedsięwzięć.

Opracowana przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska „Polska Strategia Wodorowa do roku 2030 z perspektywą do roku 2040” (PSW), opublikowana w październiku 2021, nie stanowi źródła powszechnie obowiązującego prawa. Jest dokumentem, który określa główne cele i kierunki rozwoju gospodarki wodorowej w Polsce, w tym również rodzaje interwencji, jakie są pożądane dla ich osiągnięcia. Dokument wskazuje na potrzebę stabilnego otoczenia regulacyjnego, obejmującego nie tylko zmiany w samej ustawie o prawie energetycznym, ale także innych aktów prawnych, między innymi ustaw o elektromobilności i paliwach alternatywnych, czy o prawie budowlanym, które powinny objąć wybrane zagadnienia wodorowe. Strategia ta wpisuje się w globalne, europejskie oraz krajowe działania mające na celu osiągnięcie gospodarki niskoemisyjnej. Niewątpliwie stanowi ona impuls w rozwoju gospodarki wodorowej, niestety nie zastępuje aktów prawnych. Jest to odpowiedź na opublikowaną 08.07.2020 r. przez Komisję Europejską „Strategię w zakresie wodoru na rzecz Europy neutralnej dla klimatu”.

Polska Strategia wskazuje 6 celów:

- wdrożenie technologii wodorowych w energetyce i ciepłownictwie;
- wykorzystanie wodoru jako paliwa alternatywnego w transporcie;
- wsparcie dekarbonizacji przemysłu;
- produkcja wodoru w nowych instalacjach;
- sprawny i bezpieczny przesył, dystrybucja i magazynowanie wodoru;
- stworzenie stabilnego otoczenia regulacyjnego.

PSW rozpoznaje strategiczny charakter wodoru, kładąc szczególny nacisk na źródła nisko- i zeroemisyjne, gdzie wodór, jako magazyn energii usprawni zwiększenie udziału odnawialnych źródeł w polskim miksie energetycznym.

W najbliższych latach zaplanowano wspieranie działalności badawczo-rozwojowej, powstawanie dolin wodorowych oraz zawiązanie „Porozumienia sektorowego na rzecz rozwoju gospodarki wodorowej” zrzeszającego ekspertów z sektora publicznego i prywatnego, pełniącego rolę instrumentu wykonawczego założeń strategii. Tworzy ono nowy model współpracy administracji z biznesem i nauką.

Wśród przyjętych wskaźników realizacji celów, znalazło się między innymi 2 GW zainstalowanej mocy instalacji do produkcji niskoemisyjnego wodoru do 2030 r. Biorąc pod uwagę fakt, że aktualnie moc ta wynosi 0 MW, a największe instalowane aktualnie w Polsce elektrolizery mają moc 5 MW, można wnioskować, że w najbliższym czasie tempo inwestycji musi się zwiększyć. Przewidziano także 800–1000 będących w użyciu autobusów wodorowych. Program Zielony Transport Publiczny skutecznie wsparł proces zwiększania taboru wodorowego wśród operatorów transportu publicznego – dotychczas zakontraktowano zakup około 120 pojazdów. Aby jednak mogły one funkcjonować, konieczna jest rozbudowa infrastruktury. Obecnie działa jedna, mobilna stacja tankowania na terenie Krakowa, a w trakcie

postępowań przetargowych są kolejne: w Wałbrzychu, Pile i Włocławku, przy czym PSW zakłada powstanie minimum 32 stacji do 2025 roku.

W kwietniu 2022 r. Kancelaria Prezesa Rady Ministrów (KPRM) opublikowała komunikat o podjęciu prac w zakresie zmiany ustawy Prawo energetyczne oraz niektórych innych ustaw. Projekt zakłada wprowadzenie definicji wodoru jako paliwa oraz określenie ram prawnych uwzględniających międzysektorowe możliwości jego stosowania. Ponadto panuje się powołanie krajowego operatora sieci wodorowych, a do tego czasu wdrożenie przepisów przejściowych dla tego typu sieci przesyłowych.

6. Doświadczenia i wnioski

Obecnie podejmowanych jest wiele działań mających na celu rozwój gospodarki wodorowej, choć wciąż stosunkowo niewiele polskich firm specjalizuje się w tym zakresie. Największym zagrożeniem dla dotrzymania terminów ustalonych w harmonogramach prowadzonych aktualnie inwestycji wodorowych są opóźnienia w dostawach kluczowych komponentów. Nie ulega wątpliwości, że jest to wciąż niedojrzały rynek, a pandemia oraz konflikty zbrojne i polityczne dodatkowo zaburzają nierozwinięte łańcuchy dostaw. Ponadto, ze względu na wysokie nakłady inwestycyjne, rozpoczęcie nowych projektów jest często uzależnione od dofinansowania dotacyjnego. Uruchomienie środków z Krajowego Planu Odbudowy mogłoby zainicjować wiele projektów, które pozostają w fazie przygotowawczej.

Brak jest także dobrych praktyk organów administracji publicznej, co niekiedy uniemożliwia sprawne procedowanie kwestii związanych z realizacją projektu i prowadzi do opóźnień w wydawaniu decyzji, czy też utrudnia prawidłową kwalifikację przedsięwzięcia. Brak standardów technicznych prowadzi do konieczności posługiwania się wzorami zagranicznymi lub tymi, które dotyczą innych sprężonych gazów palnych, co nie odzwierciedla charakterystyki wodoru jako paliwa i jego wpływu na środowisko.

Dlatego, na przykład z punktu widzenia zagrożeń pożarowych, utrudniona jest klasyfikacja inwestycji jako należącej do jednej z grup: „zawsze oddziałujących –” lub „potencjalnie oddziałujących na środowisko”, na podstawie której podejmowane są decyzje o wydaniu warunków środowiskowych.

Spełnienie ambitnych celów wyznaczonych w Polskiej Strategii Wodorowej wymaga równoległego rozwoju energetyki odnawialnej. Liberalizacja tak zwanej „ustawy odległościowej”, zakończenie prac nad ustawą o prawie energetycznym i ustawy o odnawialnych źródłach energii, wprowadzenie kompleksowych rozwiązań i spójnego prawodawstwa zniwelowałoby wiele barier we wprowadzaniu w życie planów rozwoju rynku wodorowego, gdyż przyrost mocy z różnorodnych źródeł odnawialnych stanowić będzie najważniejszy czynnik stabilizujący dostawy nowego paliwa (Polska Strategia Wodorowa do roku 2030 z perspektywą Do 2040 r. 2021).

Literatura

- Acar, C. i Dincer, I. 2014 – Comparative assessment of hydrogen production methods from renewable and non-renewable sources. *International Journal of Hydrogen Energy* 39(1), 1–12, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2013.10.060.
- Artyszak, D. 2021 – System dynamicznej redukcji obciążenia podstacji trakcyjnej, działający z wykorzystaniem zasobnika dużej mocy. *Wiadomości Elektrotechniczne* 89(11), s. 17–24, DOI: 10.15199/74.2021.11.4.
- Dincer, I. i Acar, C. 2015. Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability. *International Journal of Hydrogen Energy* 40(34), s. 11094–11111, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2014.12.035.
- H2Poland 2021 – *Doliny wodorowe w Polsce*. [Online] <https://H2poland.Eu/Pl/Kategorie/Doliny-Wodorowe/Odbior-Spoeczny/Doliny-Wodorowe-w-Polsce/> [Dostęp: 15.09.2022].
- Haeseldonckx, D. i Dhaeseleer, W. 2007 – The use of the natural-gas pipeline infrastructure for hydrogen transport in a changing market structure. *International Journal of Hydrogen Energy* 32(10–11), s. 1381–1386. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2006.10.018.
- Ishaq i in. 2022 – Ishaq, H., Dincer, I. i Crawford, C. 2022 – A review on hydrogen production and utilization: Challenges and opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy* 47(62), s. 26238–26264, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.11.149.
- Ismail, M.M. i Dincer, I. 2023 – Development and evaluation of an integrated waste to energy system based on polyethylene plastic wastes pyrolysis for production of hydrogen fuel and other useful commodities. *Fuel* 334, DOI: 10.1016/j.fuel.2022.126409.
- Kapdan, I.K. i Kargi, F. 2006 – Bio-hydrogen production from waste materials. *Enzyme and Microbial Technology* 38(5), s. 569–582, DOI: 10.1016/j.enzmictec.2005.09.015.
- Lewis, A.C. 2021 – Optimising air quality co-benefits in a hydrogen economy: A case for hydrogen-specific standards for NOx emissions. *Environmental Science: Atmospheres* 1(5), s. 201–207, DOI: 10.1039/d1ea00037c.
- Lucia, U. 2014 – Overview on fuel cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 30, s. 164–169, DOI: 10.1016/j.rser.2013.09.025.
- PKP ENERGETYKA SA (2022, February 3). *Wodorowa rewolucja na kolei coraz bliżej. Powstanie pierwsza polska mikrościeżka trakcyjna z wykorzystaniem elektrolizerów*. [Online] <https://www.Pkpenergyka.Pl/Aktualnosci/2022/Wodorowa-Rewolucja-Na-Kolei-Coraz-Blizej-Powstanie-Pierwsza-Polska-Mikrosiec-Trakcyjna-z-Wykorzystaniem-Elektrolizerow> [Dostęp: 15.09.2022].
- Polska Strategia Wodorowa do roku 2030 z perspektywą do 2040 r.* (2021). [Online] <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20170000036> [Dostęp: 15.09.2022].
- Produkcja wodoru w ZE PAK SA.* (2021, October 4). [Online] <https://www.Zepak.Com.Pl/Pl/Elektrownie/Elektrownia-Patnow-Konin/Elektrownia-Konin/Produkcja-Wodoru-w-Ze-Pak-Sa.html> [Dostęp: 15.09.2022].
- Smirnov, N.N. i Nikitin, V.F. 2014 – Modeling and simulation of hydrogen combustion in engines. *International Journal of Hydrogen Energy* 39(2), s. 1122–1136, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2013.10.097.
- Strategia wodorowa Grupy ORLEN* (n.d.). [Online] <https://www.Orlen.Pl/Pl/o-Firmie/Zrownowazony-Rozwoj/Strategia-Wodorowa-Grupy-ORLEN-Do-2030-Roku> [Dostęp: 15.09.2022].
- Sun, Y. i Frank Cheng, Y. 2022 – Hydrogen-induced degradation of high-strength steel pipeline welds: A critical review. *Engineering Failure Analysis* 133, DOI: 10.1016/j.engfailanal.2021.105985.
- Thomas, C.E. 2009 – Fuel cell and battery electric vehicles compared. *International Journal of Hydrogen Energy* 34(15), s. 6005–6020, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2009.06.003.
- Zieliński i in. 2010 – Zieliński, J., Zglinicka, I., Znak, L. i Kaszkur, Z. 2010 – Reduction of Fe₂O₃ with hydrogen. *Applied Catalysis A: General* 381(1–2), s. 191–196, DOI: 10.1016/j.apcata.2010.04.003.

Rozproszona generacja wodorowa odpowiedzią na potrzeby transformacji energetycznej

Słowa kluczowe: wodór, transformacja energetyczna, dekarbonizacja, trigeneracja

Streszczenie: Wodór będzie stanowił ważny element w procesie transformacji energetycznej, jako ogniwo łączące odnawialne źródła energii z wieloma gałęziami gospodarki – od paliw dla transportu, poprzez procesy przemysłowe, aż do generacji energii elektrycznej i ciepła. Instalacje pracujące na pokrycie lokalnego zapotrzebowania na paliwo, z wykorzystaniem pobliskich źródeł, zwiększą bezpieczeństwo energetyczne regionów i ułatwią dekarbonizację

wielu sektorów, zgodnie z założeniami Pakietu Klimatycznego oraz aktualnym planem RePowerEU. Wodór stanowić może także element bilansujący dla stabilnej pracy systemu elektroenergetycznego. Droga do rozwoju gospodarki wodorowej wymaga natomiast wypracowania standardów, optymalizacji rozwiązań technicznych, budowania łańcucha dostaw oraz wprowadzenia stabilnego otoczenia prawnego.

Niniejszy rozdział podsumowuje kluczowe cechy nośnika energii, jakim jest wodór, najważniejsze technologie jego produkcji i wykorzystania oraz ich potencjalny wpływ na rynek energii. Opisano również warianty zastosowania paliwa rozpatrywane przy budowaniu gospodarki wodorowej i jej rolę w procesie transformacji energetycznej, które stanowią o potencjale technologii i uzasadniają podejmowane działania. Polska obecnie produkuje około 1 mln ton wodoru rocznie, głównie poprzez reforming parowy gazu ziemnego. Posiadane doświadczenia w tym zakresie powalają nam na podejmowanie działań związanych z dekarbonizacją istniejących źródeł wytwórczych oraz rozwój nowych źródeł zeroemisyjnych. Obecny proces tworzenia się nowego rynku opartego na wykorzystaniu nisko- i bezemisyjnego wodoru sprzyja powstawaniu wielu ciekawych inicjatyw, w tym struktur nazwanych Dolinami Wodorowymi. W rozdziale opisano aktywne podmioty i wybrane projekty realizowane aktualnie w Polsce. Podjęto także temat założeń Polskiej Strategii Wodorowej – opisano główne cele, które ona wyznacza, a także zagadnienia związane z trwającymi zmianami legislacyjnymi. Podsumowanie zawiera wnioski wyciągnięte z realizacji pierwszych projektów wodorowych w Polsce przez firmę SBB ENERGY SA.

Distributed hydrogen generation as a response to energy transition needs

Keywords: hydrogen, energy transition, decarbonization, trigeneration

Abstract: Hydrogen will be an important element in the energy transition, as a link between renewable energy sources and many sectors of the economy – from fuels for transportation to industrial processes to electricity generation and heat. Installations working to meet local fuel needs, using neighbouring sources, will increase regional energy security and facilitate the decarbonization of many sectors, in line with the Climate Package and the current RePowerEU plan. Hydrogen can also provide a balancing element for the stable operation of the electric power system. However, the road to the growth of the hydrogen economy requires the development of standards, the optimization of technical solutions, the building of a supply chain and the introduction of a stable legal environment.

This chapter summarizes the key features of the hydrogen energy carrier, the most important technologies for its production and use, and their potential impact on the energy market. It also describes the fuel application variants considered in building a hydrogen economy and its role in the energy transition process, which represent the potential of the technology and justify the actions being taken. Poland currently produces about 1 million tons of hydrogen per year, mainly through steam reforming of natural gas. The experience we have in this area allows us to take steps to decarbonize existing generation sources and develop new zero-carbon production sources. The current process of creating a new market based on the use of low- and zero-emission hydrogen is fostering the formation of many interesting initiatives, including structures called Hydrogen Valleys. The chapter describes active players and selected projects currently underway in Poland. The assumptions of the Polish Hydrogen Strategy are also addressed – the main goals it sets are described, as well as issues related to ongoing legislative changes. The summary includes lessons learned from the implementation of the first hydrogen projects in Poland by SBB ENERGY SA.