Life After Coal PL

AGENCJA ROZWOJU REGIONALNEGO S.A. W KONINIE

Podręcznik
dla przedsiębiorców

Poznaj Wodór

Podręcznik dla przedsiębiorców
Poznaj Wodór

Wykonanie: Agencja Rozwoju Regionalnego S.A w Koninie
ul. Zakładowa 4, 62-510 Konin

Opracowanie merytoryczne:

- Dr inż. Łukasz Lindner
  Instytut Fizyki Molekularnej PAN

Zespół redakcyjny:

- Emilia Nachowiak
- Monika Bielakowska-Kasznia
- Monika Szymczak

Publikacja powstała w ramach projektu pn. „LIFE AFTER COAL PL – Wdrażanie Strategii na rzecz Neutralności Klimatycznej Wielkopolska Wschodnia 2040" (101069886 LIFE21-IPC-LIFE AFTER COAL PL) finansowanego z Programu LIFE Unii Europejskiej oraz Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Publikacja odzwierciedla jedynie stanowisko autorów i instytucje finansujące nie ponoszą odpowiedzialności za umieszczoną w nich zawartość merytoryczną.

Projekt pn. „LIFE AFTER COAL PL - Wdrażanie Strategii na rzecz Neutralności Klimatycznej Wielkopolska Wschodnia 2040", realizowany jest przy dofinansowaniu z Programu LIFE Unii Europejskiej oraz Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej LIFE21-IPC-PL-LIFE AFTER COAL PL

Spis treści

1. Wstęp 4
2. Dlaczego wodór 6
3. Dekada wodoru 8
4. Sposoby pozyskiwania wodoru 12
5. Wodór RFNBO 14
6. Wodór w biznesie 17
7. Strategie regionalne i krajowe 26
8. Jak dołączyć do gospodarki wodorowej 31
9. Bibliografia 34

1. Wstęp

Wielkopolska Wschodnia stoi dziś przed jednym z największych wyzwań rozwojowych w swojej historii. Proces odchodzenia od gospodarki opartej na węglu, zmiany w europejskiej polityce klimatycznej oraz rosnące oczekiwania wobec przedsiębiorstw w zakresie redukcji emisji i efektywności energetycznej powodują konieczność redefinicji dotychczasowych modeli biznesowych. Jednocześnie transformacja ta otwiera przed regionem i lokalnymi firmami zupełnie nowe możliwości rozwoju, innowacji i budowy trwałej przewagi konkurencyjnej.

W odpowiedzi na te wyzwania powstała „Strategia na Rzecz Neutralności Klimatycznej Wielkopolska Wschodnia 2040", która wyznacza kierunki działań prowadzących do osiągnięcia neutralności klimatycznej subregionu. Jednym z kluczowych elementów tej transformacji jest rozwój gospodarki wodorowej – nowego obszaru, który łączy cele klimatyczne, energetyczne i gospodarcze, a jednocześnie stwarza realne szanse dla przedsiębiorców działających na poziomie lokalnym i regionalnym.

Niniejszy podręcznik został przygotowany z myślą o przedsiębiorcach z Wielkopolski Wschodniej, którzy chcą lepiej zrozumieć rolę wodoru w transformacji energetycznej oraz świadomie ocenić potencjalne korzyści i wyzwania związane z jego wykorzystaniem w działalności gospodarczej. Publikacja ma charakter wprowadzający i praktyczny – jej celem jest uporządkowanie wiedzy, wyjaśnienie kluczowych pojęć oraz pokazanie, w jaki sposób technologie wodorowe mogą stać się elementem strategii rozwoju firm w różnych sektorach gospodarki.

Podręcznik przedstawia wodór nie tylko jako paliwo przyszłości, lecz przede wszystkim jako uniwersalny nośnik energii, surowiec przemysłowy oraz fundament powstającej gospodarki wodorowej. W kolejnych rozdziałach omówiono przyczyny rosnącego znaczenia wodoru, sposoby jego produkcji – ze szczególnym uwzględnieniem wodoru odnawialnego (RFNBO) – aktualne ramy regulacyjne, a także konkretne obszary zastosowań biznesowych. Szczególną uwagę poświęcono również strategiom regionalnym i krajowym oraz formom współpracy, które umożliwiają przedsiębiorstwom aktywne włączenie się w ten dynamicznie rozwijający się sektor.

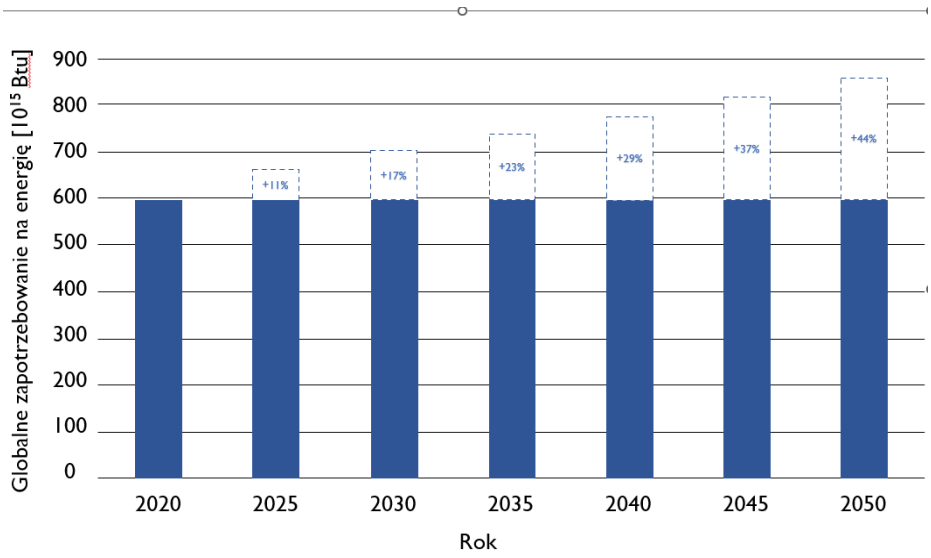
Wodór nie jest rozwiązaniem uniwersalnym dla wszystkich problemów energetycznych, jednak w wielu obszarach stanowi niezbędne uzupełnienie

elektryfikacji i kluczowy element dekarbonizacji sektorów trudnych do zelektryfikowania. Zrozumienie jego roli już dziś pozwala firmom lepiej przygotować się na nadchodzące zmiany regulacyjne, rynkowe i technologiczne, a także wykorzystać dostępne instrumenty wsparcia finansowego oraz programy rozwojowe.

Mamy nadzieję, że niniejszy podręcznik stanie się użytecznym narzędziem wspierającym przedsiębiorców Wielkopolski Wschodniej w podejmowaniu świadomych decyzji inwestycyjnych i strategicznych oraz inspiracją do aktywnego udziału w budowie nowoczesnej, niskoemisyjnej gospodarki regionu.

2. Dlaczego wodór

Rozwój cywilizacji od zawsze był ściśle powiązany z pozyskiwaniem i wykorzystywaniem energii. Im większy dostęp do energii posiada społeczeństwo, tym szybciej się rozwija, osiągając wyższy poziom technologiczny, gospodarczy i społeczny. Współczesny świat staje jednak przed wyzwaniem rosnącego zapotrzebowania na energię – według danych U.S. Energy Information Administration zawartych w *International Energy Outlook 2023*, do roku 2050 globalne zużycie energii wzrośnie o około 44%. Jednocześnie dotychczasowy model oparty na paliwach kopalnych doprowadził do szeregu negatywnych zjawisk, takich jak degradacja środowiska naturalnego, zanieczyszczenie powietrza, wód i gleb oraz postępujące zmiany klimatu. Dodatkowym problemem są geopolityczne napięcia wynikające z nierównomiernego rozmieszczenia surowców energetycznych na Ziemi. W obliczu tych wyzwań konieczne jest przeprowadzenie globalnej transformacji energetycznej, opartej na czystych, tanich i łatwo dostępnych źródłach energii. Wodór, mimo że nie jest źródłem energii, to jest częścią rozwiązania, które spełnia wszystkie te kryteria. Jest najpowszechniej występującym pierwiastkiem we wszechświecie, a na Ziemi znajduje się w licznych związkach chemicznych, przede wszystkim w wodzie, która pokrywa około 2/3 powierzchni planety i jest równomiernie rozłożona. Co więcej, produkcję wodoru można oprzeć na technologiach bezemisyjnych, takich jak elektroliza wody z wykorzystaniem energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych czy jądrowych. Dzięki temu technologie wodorowe stanowią niezbędny element przyszłego, zrównoważonego systemu energetycznego.



Rysunek 1 Przewidywany wzrost zapotrzebowania na energię do roku 2050. Źródło: International Energy Outlook 2023

Szanse te i związane z nimi wyzwania dostrzegają wszystkie rozwinięte kraje. Gospodarka wodorowa stała się integralną częścią długoterminowych strategii klimatycznych, energetycznych i rozwojowych. Państwa inwestują w badania, infrastrukturę oraz technologie związane z produkcją, magazynowaniem i wykorzystaniem wodoru.

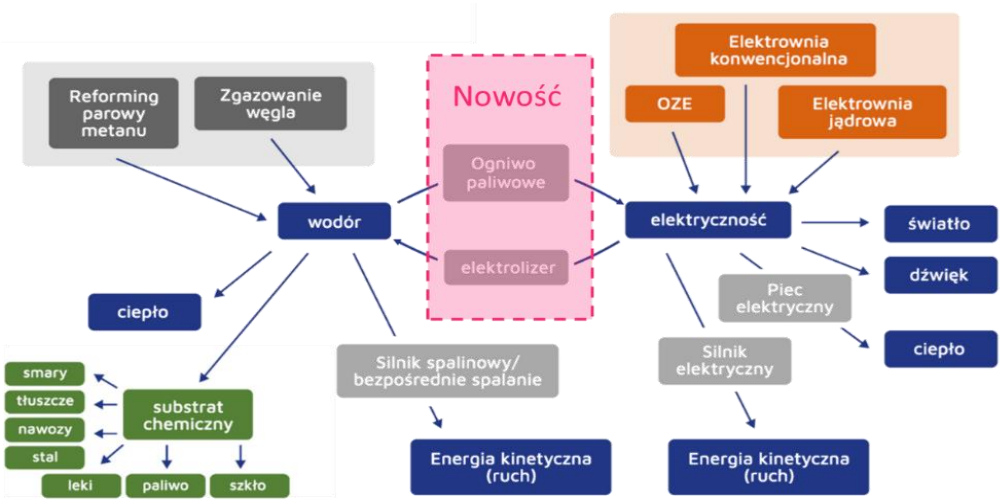
3. Dekada wodoru

Wodór nie jest źródłem energii, lecz jej nośnikiem – podobnie jak prąd elektryczny. Może być przekształcany w ciepło, energię elektryczną, wykorzystywany jako substrat chemiczny lub magazyn energii. Dzięki temu stanowi pomost pomiędzy różnymi sektorami gospodarki: energetyką, przemysłem, transportem i ciepłownictwem.

Z jednej strony wodór doskonale komponuje się z charakterem odnawialnych źródeł energii (OZE), umożliwiając magazynowanie nadwyżek energii z wiatru czy słońca i jej późniejsze wykorzystanie, z drugiej – od dawna pełni ważną rolę w procesach przemysłowych, m.in. w rafinacji ropy, produkcji nawozów i chemikaliów. Rozwój technologii wodorowych otwiera jednak zupełnie nowe możliwości zastosowań w wielu branżach – od transportu ciężkiego, przez lotnictwo, po ogrzewnictwo i stabilizację systemów elektroenergetycznych.

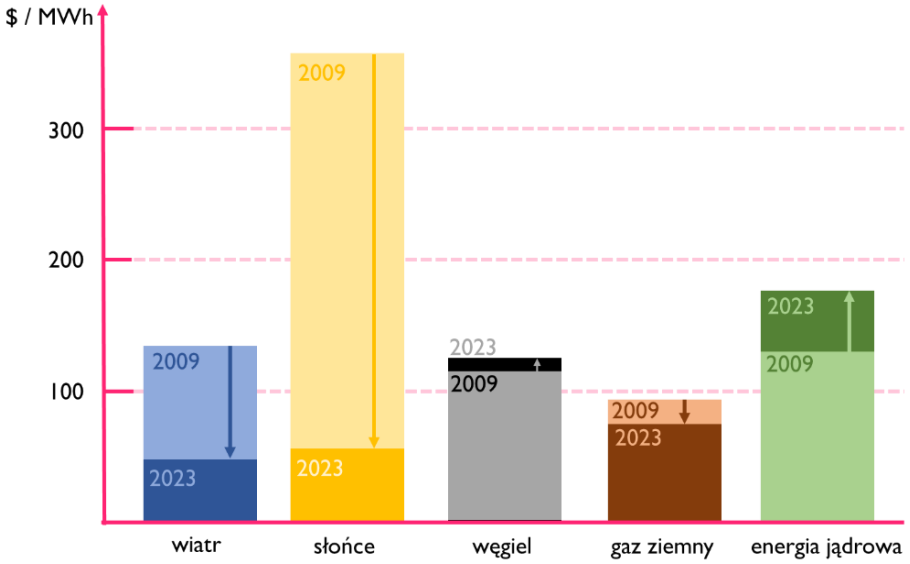
Uniwersalność wodoru sprawia, że wzbudza on tak szerokie zainteresowanie na całym świecie. Może stać się równie powszechnym nośnikiem energii jak prąd elektryczny, stanowiąc jego naturalne uzupełnienie. Ostateczny wybór między wodorem a elektrycznością zależy jednak od szeregu czynników, takich jak gęstość energii, straty przy konwersji czy opłacalność ekonomiczna. Oba nośniki łączą wspólne cechy – są bezemisyjne, wszechstronne i szeroko dostępne – a ich różnice sprawiają, że doskonale się uzupełniają w budowie nowoczesnej, zrównoważonej gospodarki energetycznej.

W tym miejscu warto zrobić mapę uniwersalności wodoru, która w jasny sposób obrazuje, w których obszarach jest on niezbędny, w których użyteczny oraz gdzie może pełnić funkcje pośrednie.



Rysunek 2 Wodór jako nośnik energii w kontekście bieżącego systemu energetycznego

Wodór od dawna znajduje szerokie zastosowanie w przemyśle chemicznym. Jest wykorzystywany przede wszystkim w produkcji nawozów sztucznych (głównie amoniaku), w rafineriach do usuwania zanieczyszczeń z paliw, w hutnictwie stali i szkła, a także w przemyśle spożywczym i farmaceutycznym – przy produkcji tłuszczów utwardzonych czy leków. Ludzkość posiada zatem ogromne doświadczenie w bezpiecznym magazynowaniu, transporcie i wykorzystaniu wodoru jako substratu chemicznego. Dotychczas jednak niemal cały wodór produkowany był z paliw kopalnych – poprzez reforming parowy metanu lub zgazowanie węgla. Procesy te, choć dobrze opanowane technologicznie, wiążą się z dużą emisją dwutlenku węgla. W kontekście globalnej polityki klimatycznej i konieczności redukcji emisji gazów cieplarnianych, ten tzw. „szary wodór" musi być stopniowo zastępowany przez wodór produkowany w sposób bezemisyjny – z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii.



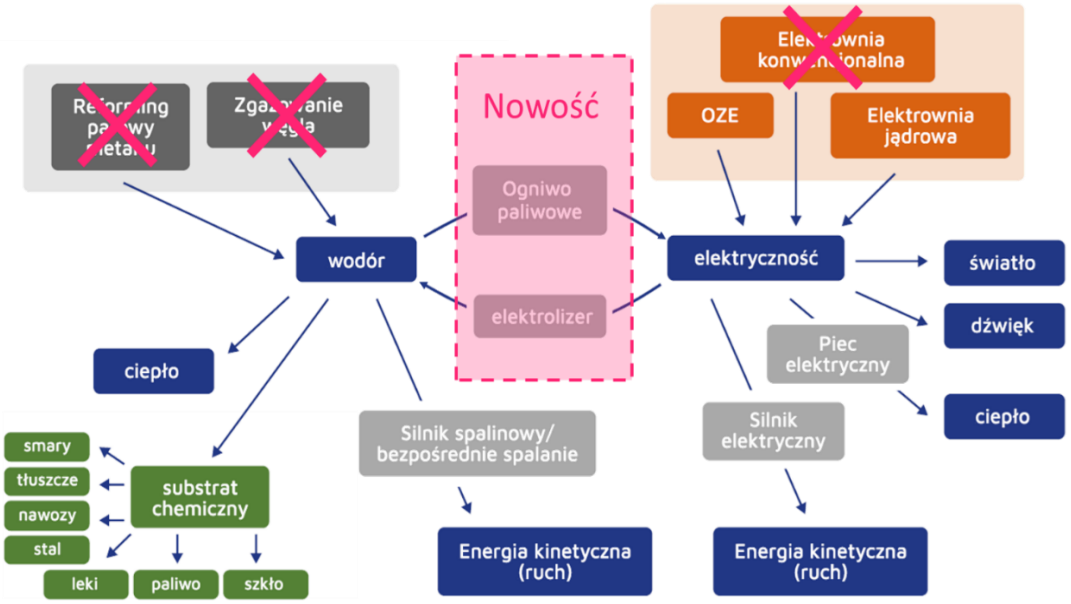
Rysunek 3 Koszty produkcji energii elektrycznej z podziałem na źródło energii wraz z odniesieniem do cen z roku 2009

Z drugiej strony, w ostatniej dekadzie nastąpił dynamiczny rozwój technologii odnawialnych źródeł energii (OZE), co znacząco zmieniło strukturę rynku energetycznego. Masowa produkcja energii z wiatru i słońca doprowadziła do spadku kosztów jej wytwarzania. Według raportu *Lazard's Levelized Cost of Energy 2023* w ciągu dekady 2009–2019, cena energii elektrycznej z paneli fotowoltaicznych spadła dziesięciokrotnie, a z elektrowni wiatrowych – około trzykrotnie. Obecnie energia z OZE jest najtańszą formą wytwarzania energii elektrycznej na świecie. Jednocześnie charakter tych źródeł – uzależnionych od pogody i pory dnia – powoduje, że systemy elektroenergetyczne coraz częściej borykają się z chwilowymi nadwyżkami produkcji. W momentach wysokiej

generacji, np. w słoneczne i wietrzne dni, operatorzy sieci są zmuszeni do ograniczania mocy farm fotowoltaicznych i wiatrowych, co oznacza niewykorzystanie dostępnego potencjału. Powstają też problemy z bilansowaniem rynku energii, czyli utrzymaniem równowagi między podażą a popytem.

Dodatkowym ograniczeniem rozwoju OZE są bariery infrastrukturalne – nowe instalacje powstają głównie tam, gdzie istnieje sieć przesyłowa i odbiorcy energii, a niekoniecznie tam, gdzie warunki wiatrowe czy nasłonecznienie są najlepsze. To powoduje, że część potencjału odnawialnych źródeł energii pozostaje niewykorzystana.

Właśnie w tym kontekście wodór staje się rozwiązaniem kluczowym. Produkcja wodoru w procesie elektrolizy wody pozwala na efektywne zagospodarowanie nadwyżek energii elektrycznej z OZE – w chwilach, gdy jej produkcja przewyższa zapotrzebowanie. Elektroliza to proces znany od ponad 200 lat, jednak dopiero teraz pojawiły się sprzyjające warunki techniczne, ekonomiczne i klimatyczne, by wdrożyć go na szeroką skalę. Obecnie możliwe jest wytwarzanie tzw. zielonego wodoru, który może zastąpić wodór kopalny w przemyśle, a także pełnić rolę magazynu energii, stabilizując pracę systemów energetycznych i umożliwiając pełniejsze wykorzystanie odnawialnych źródeł energii.



Rysunek 4 Wodór jako nośnik energii w kontekście docelowego systemu energetycznego po procesie transformacji energetycznej

Biorąc pod uwagę konieczność stopniowego ograniczania zużycia paliw kopalnych oraz dalszy wzrost znaczenia odnawialnych źródeł energii, wszystkie

współczesne strategie energetyczne i klimatyczne koncentrują się wokół dwóch głównych celów.

Po pierwsze, jest to elektryfikacja wszystkich możliwych sektorów gospodarki, ponieważ potrafimy już dziś wytwarzać energię elektryczną w sposób całkowicie bezemisyjny. Po drugie, dąży się do zwiększenia efektywności energetycznej – zarówno w procesach przemysłowych, jak i w budynkach oraz infrastrukturze miejskiej. Oznacza to bardziej racjonalne wykorzystanie energii, redukcję strat i zmniejszenie zapotrzebowania na surowce pierwotne.

Wodór stanowi integralny element realizacji obu tych celów. Wspomaga on proces elektryfikacji, umożliwiając magazynowanie i transport energii w postaci chemicznej, a jednocześnie przyczynia się do poprawy efektywności energetycznej całego systemu poprzez stabilizację pracy sieci i bilansowanie zmienności źródeł odnawialnych czy łączenie sektorów. Co więcej, wodór jest niezastąpiony w sektorach, które trudno lub wręcz niemożliwe jest bezpośrednio zelektryfikować – takich jak transport ciężki, lotnictwo, przemysł stalowy, chemiczny czy ciepłownictwo. W tych obszarach wodór staje się nie tylko alternatywnym paliwem, ale także kluczowym elementem nowych, niskoemisyjnych procesów technologicznych.

Należy jednak podkreślić, że istota transformacji nie polega na zastąpieniu paliw kopalnych wodorem jako takim, lecz na zmianie sposobu jego wytwarzania – z procesów emisyjnych (reformingu metanu, zgazowania węgla) na metody oparte o elektrolizę wody zasilaną energią odnawialną lub inne niskoemisyjne metody pozyskiwania wodoru. Tylko w ten sposób możliwe jest osiągnięcie rzeczywistego efektu dekarbonizacji.

Ponieważ wodór, podobnie jak energia elektryczna, przenika wiele dziedzin gospodarki, jego rosnące znaczenie doprowadzi do powstania nowych sektorów gospodarki wodorowej – obejmujących produkcję, magazynowanie, transport, dystrybucję oraz usługi powiązane. Rozwiną się nowe rynki, technologie i modele biznesowe, a wodór stanie się jednym z filarów nowoczesnej, zintegrowanej i niskoemisyjnej gospodarki energetycznej przyszłości.

4. Sposoby pozyskiwania wodoru

Wodór jest najprostszym i najlżejszym pierwiastkiem chemicznym w układzie okresowym, a jednocześnie najpowszechniejszym składnikiem materii we Wszechświecie i stanowi ok. 75% materii. W przyrodzie występuje głównie w związkach chemicznych – w wodzie (H_2O), węglowodorach (np. metan CH_4, ropa naftowa) oraz w związkach organicznych budujących materię żywą.

Powszechność związków zawierających wodór sprawia, że istnieje wiele sposobów jego produkcji, które różnią się zarówno technologią, jak i wpływem na środowisko. Pierwotnie klasyfikację metod wytwarzania wodoru oparto na tzw. „*kolorach wodoru*", które symbolicznie wskazują źródło energii pierwotnej, co determinuje poziom emisji gazów cieplarnianych towarzyszących procesowi produkcji.

Obecnie około 96% światowej produkcji wodoru pochodzi z paliw kopalnych – ok. 48% z gazu ziemnego, ok. 30% z ropy naftowej, około 18% z węgla. Takie technologie, choć dobrze znane i tanie, wiążą się z emisją znacznych ilości dwutlenku węgla (CO_2), co czyni je niezgodnymi z dążeniami do neutralności klimatycznej.

Tabela 1 Metody wytwarzania wodoru z podziałem na emisyjność procesu

Źródło pierwotne	Metoda uzyskania wodoru	Kolor wodoru	Emisja CO_2 / kg wodoru
Metan	Reforming metanu	Wodór szary	9-12 kg
Metan	Reforming metanu (Wychwyt CO_2)	Wodór niebieski	0 kg
Węgiel kamienny / brunatny	Zgazowanie węgla	Wodór czarny / brązowy	20 kg
Biomasa	Zgazowanie biomasy	Wodór turkusowy	netto 0 kg
Energia jądrowa	elektroliza	Wodór fioletowy/różowy	0 kg
Sieć elektryczna z sieci	elektroliza	Wodór żółty	18 – 40 kg
OZE	elektroliza	Wodór zielony	0 kg

Choć sam wodór jest zawsze bezbarwnym i bezwonnym gazem, to właśnie zielony wodór jest obecnie najbardziej pożądanym i strategicznym kierunkiem rozwoju. Jego produkcja nie generuje emisji gazów cieplarnianych, co czyni go kluczowym elementem globalnej transformacji energetycznej. W dokumentacjach prawnych

(strategie krajowe, dyrektywy europejskie, dotacje projektów, itp.) wyróżniony jest zazwyczaj wodór RFNBO (Renewable Fuels of Non-Biological Origin), jest to wodór zielony, który spełnia dodatkowe warunki (opisane w kolejnym rozdziale).

W dalszej części podręcznika skupimy się wyłącznie na produkcji wodoru z elektrolizy wody, ponieważ jest to główna metoda przewidziana we wszystkich międzynarodowych strategiach klimatycznych i energetycznych. Elektroliza, wspierana przez rozwój odnawialnych źródeł energii, umożliwia wytwarzanie czystego, bezemisyjnego wodoru, który może stać się podstawą przyszłej gospodarki energetycznej opartej na zasadzie „zero emisji".

5. Wodór RFNBO

Główne ramy regulacyjne dotyczące odnawialnych paliw, w tym wodoru, na poziomie Unii Europejskiej wynikają z dyrektyw RED II oraz RED III. Definicja RFNBO (Renewable Fuels of Non-Biological Origin) zawarta w RED II obejmuje znacznie szerszy zakres paliw niż tylko sam wodór. „Zielony" wodór – czyli wodór produkowany wyłącznie z odnawialnych źródeł energii – może być stosowany bezpośrednio w wybranych sektorach gospodarki, ale stanowi również kluczowy surowiec do wytwarzania bardziej złożonych paliw, takich jak „zielony" amoniak, „zielony" metanol czy syntetyczne paliwa lotnicze (e-fuels).

W dyrektywach RED II oraz RED III definicja RFNBO oraz cele związane z ich udziałem obejmują zarówno wodór, jak i paliwa pochodne. Regulacje te odzwierciedlają rosnące zapotrzebowanie na ekologiczne paliwa alternatywne, które będą niezbędne w transformacji energetycznej w najbliższych dekadach.

Dlaczego wprowadza się cele dla RFNBO?

Cele RFNBO zapisane w dyrektywie RED III mają na celu przyspieszenie dekarbonizacji sektorów tzw. *trudnych do elektryfikacji* — czyli takich, gdzie bezpośrednie wykorzystanie energii elektrycznej nie jest technicznie lub ekonomicznie uzasadnione, lub gdzie obecnie wykorzystuje się wodór pochodzący z paliw kopalnych.

Do wiodących sektorów, które mają zostać zdekarbonizowane przy użyciu wodoru i paliw RFNBO, należą m.in.:

- sektor nawozowy (produkcja amoniaku),
- sektor rafineryjny,
- przemysł petrochemiczny (chemikalia inne niż amoniak),
- transport ciężki i zbiorowy,
- hutnictwo metali żelaznych i nieżelaznych,
- potencjalnie także produkcja cementu.

Dyrektywy RED II i RED III wyznaczają więc kierunek rozwoju europejskiej gospodarki w stronę szerokiego wykorzystania odnawialnych, niskoemisyjnych paliw, z wodorem i jego pochodnymi jako kluczowymi nośnikami energii przyszłości.

Tabela 2 Kluczowe akty prawne uwzględniające zapotrzebowanie na wodór RFNBO

Podstawa Prawna	Kierunki Rozwoju
Art. 22a RED III (cel przemysłowy	udział RFNBO w wykorzystywanym wodorze powinien wynieść co najmniej 42% w 2030 r.
Art. 25 RED III (cel transportowy)	1% udziału RFNBO w końcowym zużyciu energii w transporcie w 2030 r.
Art. 25 RED III (transport morski)	1,2% udział RFNBO w końcowym zużyciu energii w transporcie morskim w okresie do 2030 r.
REFuelEU Aviation (transport lotniczy)	0,7% udziału syntetycznych paliw lotniczych w końcowym zużyciu paliw w transporcie lotniczym w 2030 r.

Według definicji bazującej bezpośrednio na Rozporządzeniu Delegowanym Komisji (UE) 2023/1184 wodór RFNBO musi spełnić kryteria:

a) Odnawialne źródło energii

Produkcja wodoru musi odbywać się przy wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii.

b) Zasada dodatkowości

Źródła odnawialnej energii elektrycznej wykorzystywane do produkcji wodoru muszą być nowe i nie mogą pochodzić z już istniejących mocy OZE, które byłyby wykorzystane do innych celów. Elektrownie OZE powinny zostać uruchomione maksymalnie 36 miesięcy przed elektrolizerem.

c) Korelacja czasowa i geograficzna

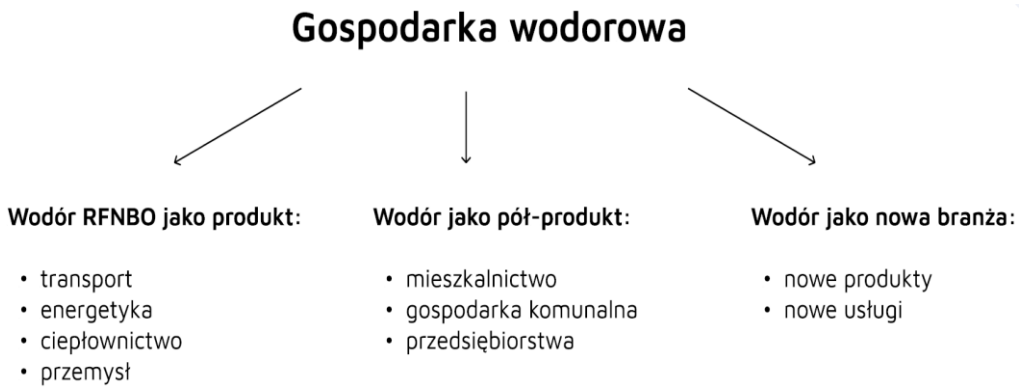
Energia elektryczna wykorzystana do produkcji wodoru powinna pochodzić z odnawialnych źródeł działających w tym samym przedziale czasowym (np. ta sama godzina lub dobowy bilans). Elektrownia OZE i elektrolizer muszą znajdować się w tej samej strefie rynkowej (np. w ramach tej samej sieci elektroenergetycznej). Strefa rynkowa to przykładowo cała Polska.

Definicje wodoru RFNBO są dość kluczowe z powodu dwóch czynników. Po pierwsze pochodzą z wiążących dyrektyw, które Polska jest zobligowana przestrzegać. Jest to dość kluczowe dla sektorów energochłonnych, które muszą spełnić cele. Bazując na obecnym zużyciu zapotrzebowanie na wodór RFNBO

w roku 2030 wynosić będzie około 223 000 ton wodoru rocznie. Drugim czynnikiem są możliwości wsparcia na poziomie dotacji, pożyczek czy gwarancji dla projektów wodorowych. Realizowane programy wsparcia w znacznej mierze odwołują się właśnie do wodoru RFNBO w swoich definicjach.

6. Wodór w biznesie

Transformacja energetyczna oraz regulacje unijne nakierowane na dekarbonizację przemysłu, transportu i energetyki powodują, że wodór odgrywa coraz bardziej strategiczną rolę w gospodarce. Jego wykorzystanie można podzielić na trzy główne ścieżki, odpowiadające różnym potrzebom oraz etapom rozwoju rynku: wodór jako produkt, wodór jako pół-produkt oraz wodór jako fundament nowej branży. Ponadto wodór postrzegany jest jako nowa wartość, która pośrednio i bezpośrednio przekłada się na prowadzenie biznesu.



Rysunek 5 Rozwój gospodarki wodorowej jako nowe gałęzie gospodarki

a) Wodór jako produkt

Wodór już dziś stanowi kluczowy surowiec w wielu gałęziach przemysłu. Obecnie jednak w większości przypadków jest to tzw. wodór „szary", produkowany z gazu ziemnego, co generuje istotne emisje CO_2. W nadchodzących latach konieczna będzie jego sukcesywna zamiana na wodór „zielony" lub RFNBO, zgodnie z celami dyrektywy RED III.

Główne obszary wykorzystania wodoru jako produktu:

- Przemysł rafineryjny – wodór wykorzystywany w procesach odsiarczania oraz konwersji paliw.
- Produkcja nawozów – jako surowiec do wytwarzania amoniaku (NH_3).
- Przemysł spożywczy – np. w procesach uwodorniania olejów roślinnych.
- Hutnictwo i metalurgia – wodór zastępuje węgiel koksujący w procesach redukcji rud metali.

Rysunek 6 Branże wykorzystujące wodór Źródło Szkoła Wodorowa, ISBN 978-83-60782-31-6

Nowe branże wykorzystujące wodór bezpośrednio:

- Transport ciężki i dalekobieżny – autobusy, ciężarówki, kolej, pojazdy specjalistyczne.
- Energetyka – wodór jako paliwo w turbinach gazowych przystosowanych do H_2.
  Ciepłownictwo – wodór mieszany z gazem lub spalany w wysokosprawnych kotłach.

Każdy z tych sektorów wymaga innej skali, jakości i ciągłości dostaw wodoru, co wpływa na sposób projektowania instalacji produkujących RFNBO.

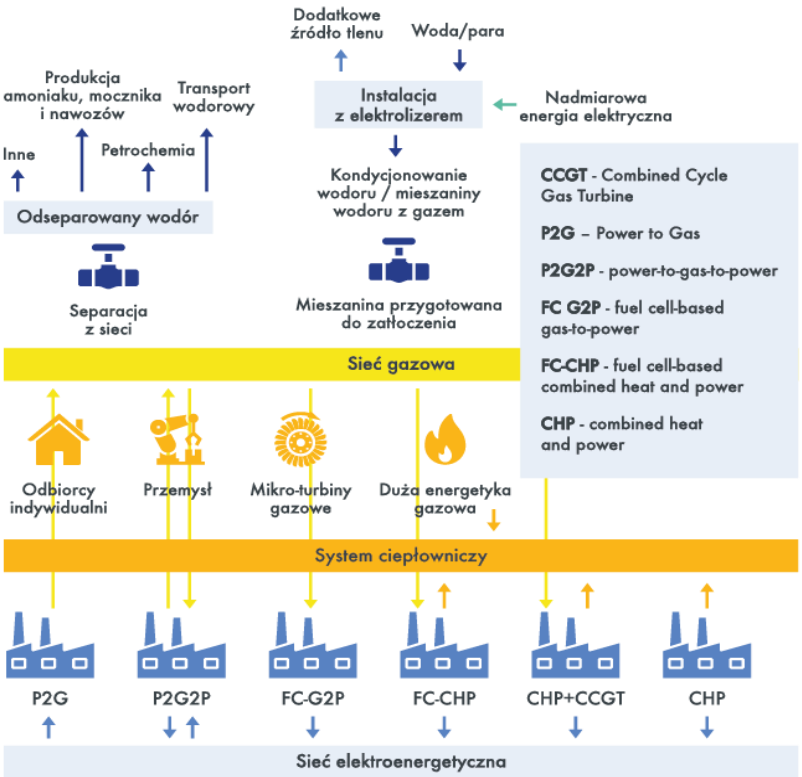
Rozwój nowych procesów chemicznych

Wodór staje się również surowcem dla:

- syntezy paliw syntetycznych (e-fuels),
- produkcji metanolu, amoniaku i pochodnych,
- licznych reakcji chemicznych w nowoczesnej chemii niskoemisyjnej.

Możliwości biznesowe

W tej ścieżce rozwija się potencjał zarówno dla producentów wodoru, jak i firm działających w obszarze logistyki, transportu, magazynowania i dystrybucji wodoru.



Rysunek 7 Sector copuling, Źródło Szkoła Wodorowa, ISBN 978-83-60782-31-6

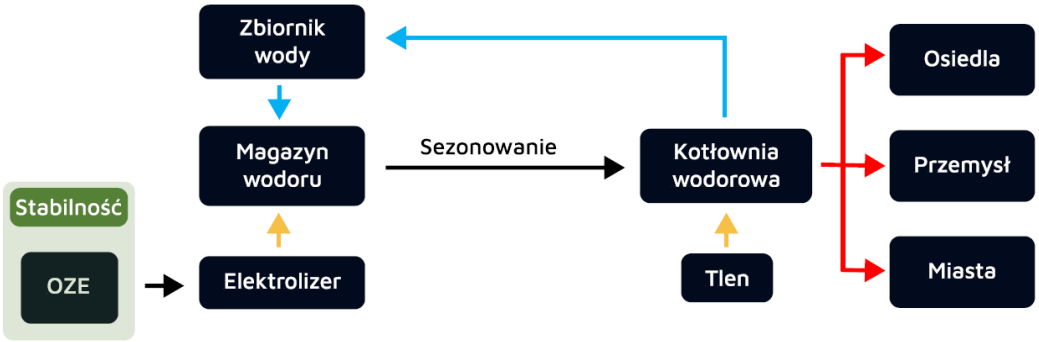
b) Wodór jako półprodukt

Wodór może pełnić rolę elementu pośredniego w licznych procesach — zarówno energetycznych, jak i przemysłowych.

Magazyn energii sezonowej

Wodór umożliwia przechowywanie nadwyżek energii z okresów letnich (np. z OZE) i wykorzystanie ich zimą. Tego typu rozwiązania mogą być stosowane:

- na poziomie osiedli mieszkaniowych,
- w parkach przemysłowych,
- w lokalnych spółdzielniach energetycznych.



Rysunek 8 Wykorzystanie wodoru jako źródło ciepła

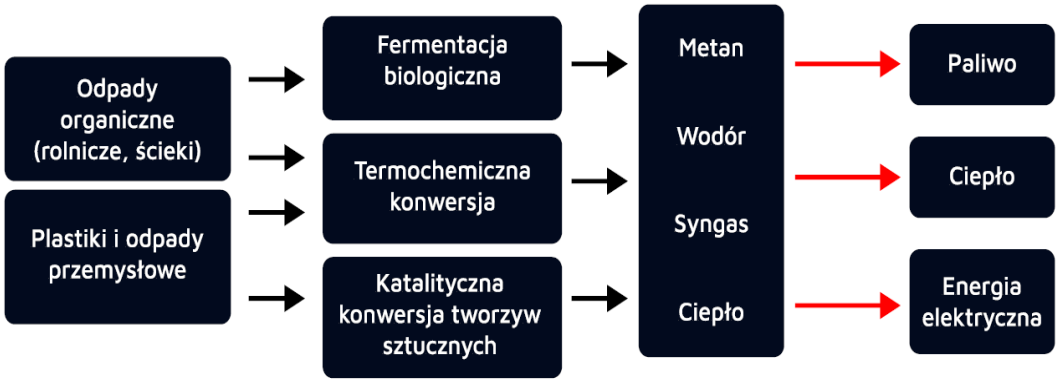
Pozyskiwanie wodoru z gospodarki komunalnej

Wodór może być wytwarzany poprzez:

- przetwarzanie odpadów organicznych (bioodpady),
- wykorzystanie odpadów nieorganicznych,
- integrację z procesami biogazowni i biometanowni.

W takich instalacjach wodór stanowi półprodukt wykorzystywany do:

- produkcji ciepła,
- tworzenia syngazu,
- poprawy efektywności procesów fermentacji lub gazyfikacji.



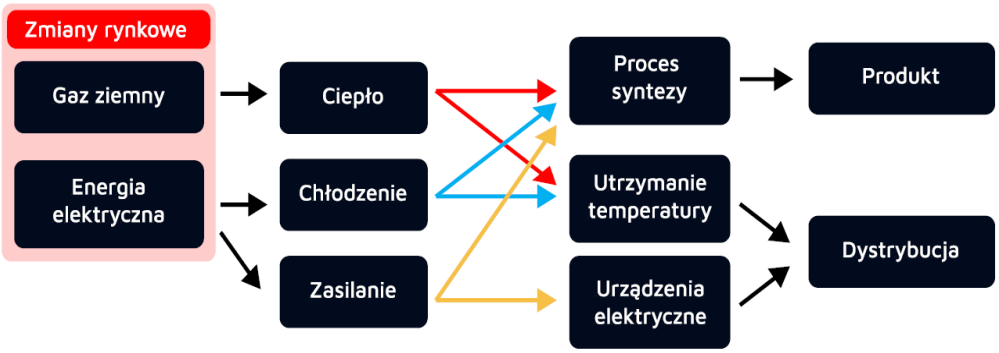
Rysunek 9 Wykorzystanie wodoru w gospodarce komunalnej

Sector Coupling – wodór jako uniwersalny łącznik

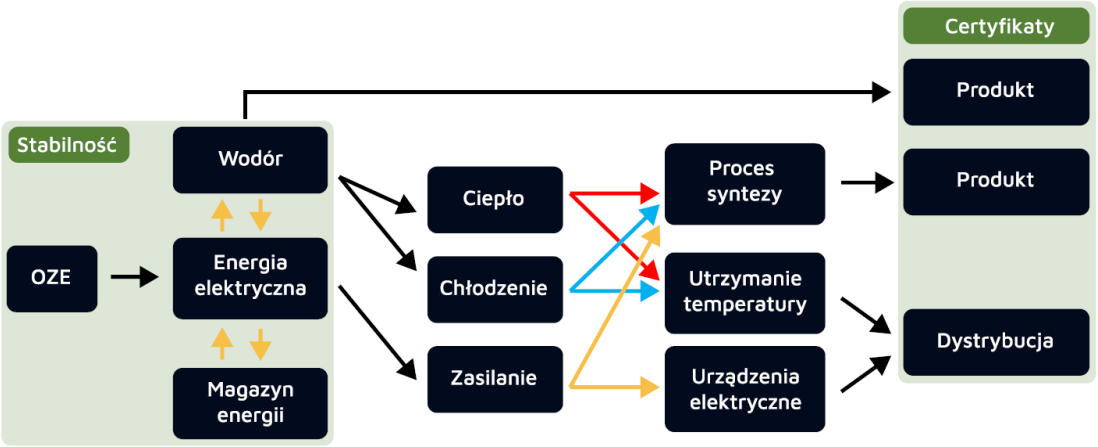
Wodór może pełnić funkcję centralnego elementu integrującego sektory energetyczne:

- ciepło ↔ energia elektryczna ↔ magazyn energii ↔ transport,
- zwiększa elastyczność systemu,
- wspiera dekarbonizację lokalnych przedsiębiorstw,
- poprawia efektywność wykorzystania energii w instalacjach przemysłowych.

Ta ścieżka wykorzystuje wodór przede wszystkim jako nośnik energii, a nie cel końcowy.



Rysunek 10 Schemat przepływu energii w procesach bazujący na obecnym systemie



Rysunek 11 Schemat przepływu energii w procesach wykorzystujący wodór jako nośnik energii

c) Wodór jako nowa branża

Rozwój gospodarki wodorowej tworzy nie tylko nowe technologie i produkty, lecz również szerokie spektrum usług – zarówno tych ściśle technicznych, jak i usług niezwiązanych bezpośrednio z inżynierią, lecz kluczowych dla funkcjonowania całego ekosystemu. Wodór staje się katalizatorem transformacji wielu sektorów, a jego rosnące znaczenie generuje zapotrzebowanie na wyspecjalizowane kompetencje, certyfikacje i procesy.

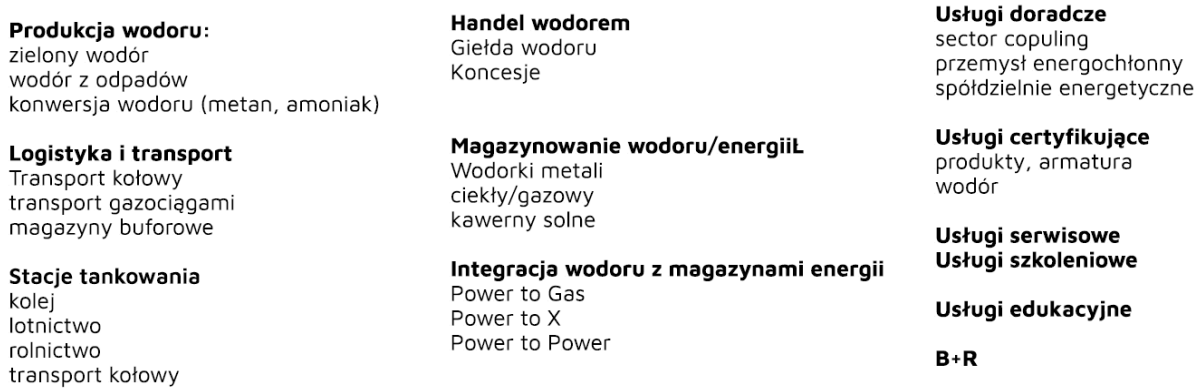
Nowe usługi techniczne i inżynieryjne:

- Serwis i utrzymanie infrastruktury wodorowej – instalacje produkcyjne, magazynowe, stacje tankowania, systemy przesyłowe wymagają regularnych przeglądów i obsługi technicznej.
- Projektowanie instalacji wodorowych – zapotrzebowanie na specjalistów od elektrolizerów, magazynów H_2, układów bezpieczeństwa i integracji z energetyką.
- Certyfikacja i monitorowanie emisji – kluczowe dla potwierdzenia zgodności z wymogami RED II/RED III oraz systemów gwarancji pochodzenia.

- Usługi bezpieczeństwa i szkolenia – obsługa wodoru wymaga nowych standardów BHP, procedur awaryjnych i wyszkolonego personelu.
- Edukacja i rozwój kompetencji – szkolenia, studia podyplomowe, kursy specjalistyczne dla administracji, sektora publicznego i prywatnego.
- Doradztwo regulacyjne i techniczne – pomoc w interpretacji wymogów unijnych, planowaniu inwestycji, przygotowaniu analiz techniczno-ekonomicznych.

Nowe usługi wspierające sektor (pozatechniczne)

- Finansowanie i sektor bankowy – instytucje finansowe muszą uwzględniać projekty dekarbonizacyjne w swoich strategiach, tworzyć dedykowane instrumenty i modele oceny ryzyka.
- Ubezpieczenia – pojawiają się nowe potrzeby związane z ubezpieczeniami instalacji wodorowych, magazynów energii, transportu i bezpieczeństwa procesowego.
- Pozyskiwanie dotacji i wsparcia publicznego – usługi doradcze związane z przygotowaniem wniosków, analizą kwalifikowalności, rozliczaniem projektów w ramach programów krajowych i unijnych.



Rysunek 12 Branże, które rozwiną się wraz z gospodarką wodorową

Nowe produkty

Dynamiczny rozwój gospodarki wodorowej tworzy szerokie pole dla powstawania nowych produktów technologicznych, materiałowych i infrastrukturalnych. Rosnący popyt na wodór jako paliwo, nośnik energii i surowiec chemiczny przyczynia się do powstawania całkowicie nowych kategorii urządzeń, komponentów i systemów, które wcześniej nie funkcjonowały na rynku energetycznym.

Nowe produkty technologiczne i infrastrukturalne

a) Elektrolizery i ich komponenty.
Produkcja wodoru metodą elektrolizy wymaga zaawansowanych modułów: stosów elektrolitycznych, systemów zasilających, układów chłodzenia i automatyki. Powstaje zupełnie nowy segment produkcji takich urządzeń na skalę przemysłową.

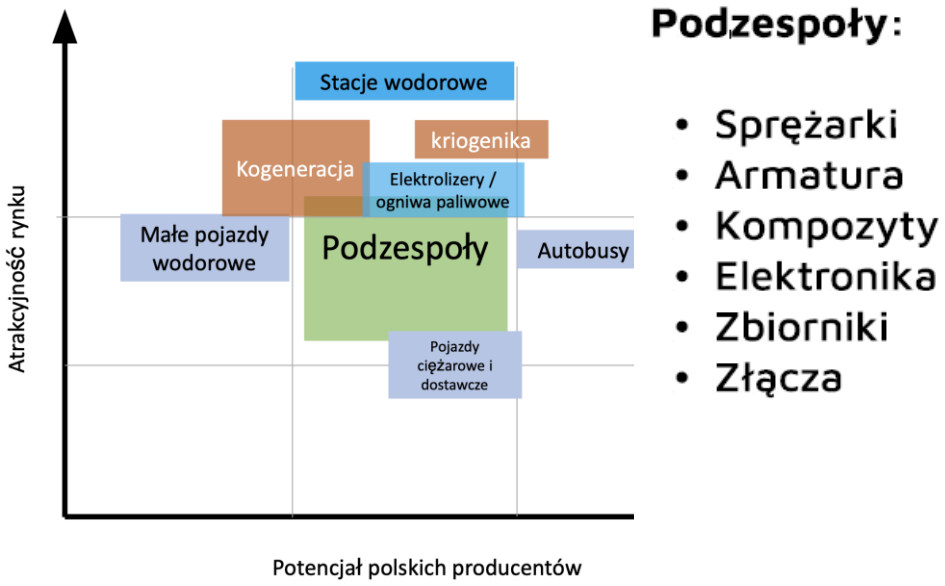
b) Zbiorniki i instalacje do magazynowania wodoru.
W tym: zbiorniki ciśnieniowe, magazyny podziemne, systemy buforowe oraz nowoczesne materiały do magazynowania wodoru w formie ciekłej lub stałej.

c) Stacje tankowania wodoru (HRS).
Modułowe i stacjonarne stacje tankowania dla transportu drogowego, kolejowego, specjalistycznego oraz dla floty przemysłowej.

d) Systemy przesyłu i dystrybucji wodoru.
Rurociągi, przyłącza, zawory, kompresory i armatura przystosowana do wodoru oraz jego mieszanin.

Nowe produkty cyfrowe i wspierające

- Systemy zarządzania produkcją i magazynowaniem wodoru. Oprogramowanie do monitoringu, bilansowania, certyfikacji i zarządzania emisjami w systemach wodorowych.
- Infrastruktura pomiarowa i detektory bezpieczeństwa. Czujniki H_2, systemy detekcji wycieków, monitoringu ciśnienia i jakości wodoru.



Rysunek 13 Analiza potencjału technologii wodorowych w Polsce do roku 2030 z perspektywą do roku 2040, Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

Wodór jako odrębna branża rozwija zupełnie nowe łańcuchy wartości, w których mogą uczestniczyć zarówno duże przedsiębiorstwa, jak i małe, wyspecjalizowane firmy technologiczne.

d) Nowe wartości wynikające z gospodarki wodorowej

Wodór staje się katalizatorem zmian w wielu wymiarach, przynosząc korzyści strategiczne, ekonomiczne i ekologiczne.

1. Dekarbonizacja i zrównoważony rozwój

- Wodór „zielony" i RFNBO umożliwia dekarbonizację sektorów trudnych do elektryfikacji, takich jak transport ciężki, hutnictwo czy przemysł chemiczny.
- Redukcja emisji CO_2 i innych zanieczyszczeń przyczynia się do realizacji celów klimatycznych UE oraz lokalnych polityk energetycznych, a także redukuje koszty związane z emisyjnością.
- Promuje przejście na zrównoważone źródła energii, zwiększając udział OZE w miksie energetycznym.

2. Wzrost innowacyjności i konkurencyjności

- Rozwój technologii wodorowych stymuluje nowe procesy przemysłowe, zaawansowane materiały i technologie magazynowania energii.
- Tworzy warunki do powstania nowych modeli biznesowych, start-upów technologicznych i wyspecjalizowanych przedsiębiorstw usługowych.
- Umożliwia konkurencyjność na rynku międzynarodowym, w szczególności w segmencie e-fuels i technologii magazynowania wodoru.

3. Nowe miejsca pracy i rozwój kompetencji

- Gospodarka wodorowa generuje wyspecjalizowane miejsca pracy w sektorach technologicznych, usługowych i edukacyjnych.
- Wzrost zapotrzebowania na kompetencje inżynieryjne, energetyczne, chemiczne i regulacyjne sprzyja podnoszeniu kwalifikacji zawodowych.
- Tworzy możliwość powstania lokalnych ekosystemów przemysłowych, integrujących produkcję, magazynowanie, transport i dystrybucję wodoru.

4. Integracja sektorowa i elastyczność systemu energetycznego

- Wodór pozwala na efektywną integrację sektorów energetycznych (sector coupling) – łączy energetykę, ciepłownictwo, transport i przemysł.

- Umożliwia magazynowanie energii sezonowej, stabilizację systemu i zwiększenie niezależności energetycznej.
- Funkcjonuje jako uniwersalny nośnik energii, zwiększając elastyczność i odporność systemów przemysłowych i miejskich.

5. Niezależność energetyczna jako nowa wartość

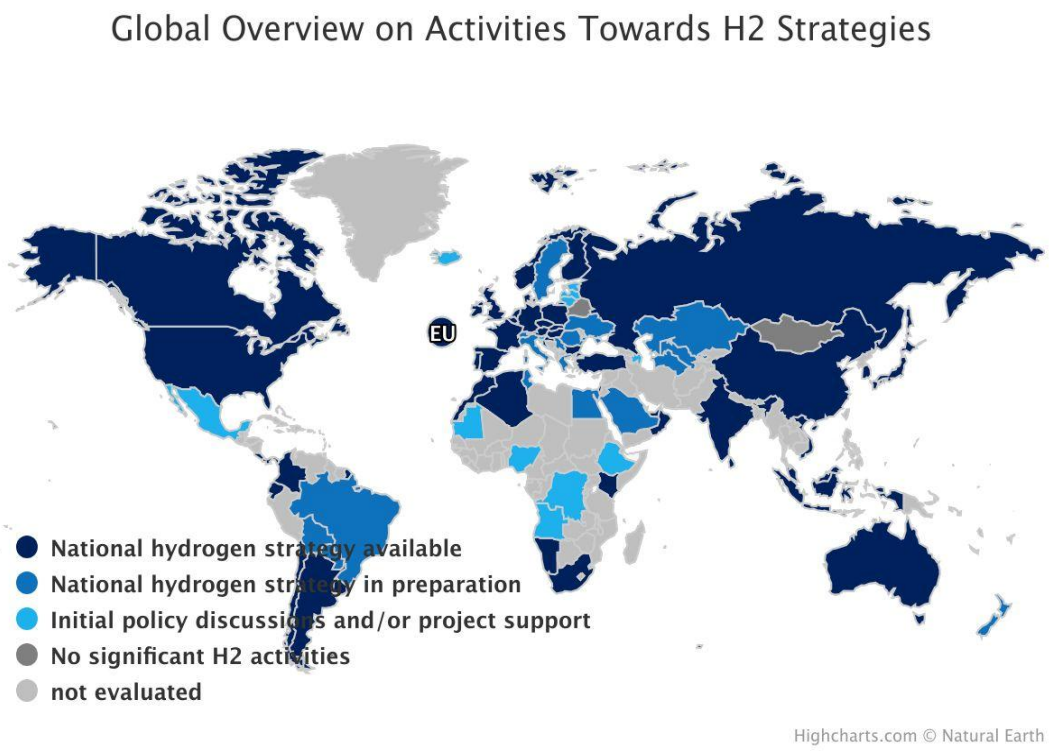
- Bezpieczeństwo operacyjne – uniezależnienie się od zewnętrznych dostawców chroni firmy przed przerwami w dostawie energii i ich negatywnymi skutkami.
- Oszczędności i stabilność kosztów – własne źródła energii oraz magazyn wodoru pozwalają na kontrolę wydatków i unikanie szoków cenowych związanych
  z rynkiem energii (jak w roku 2022).
- Zgodność z regulacjami – w obliczu zaostrzających się norm dotyczących emisji i zrównoważonego rozwoju firmy mogą uniknąć kar i dodatkowych kosztów.

7. Strategie regionalne i krajowe

Osiągnięcie celów klimatycznych oraz transformacja w kierunku gospodarki bezemisyjnej stanowią priorytet działań zarówno wielu państw, jak i regionów czy międzynarodowych sojuszy. Sercem wszystkich strategii transformacyjnych musi być czysta elektryfikacja, w której energia elektryczna wykorzystywana jest w znacznie szerszym zakresie niż obecnie, a cały jej proces wytwarzania odbywa się w sposób bezemisyjny.

W tym kontekście wodór odgrywa kluczową rolę jako nośnik energii, surowiec przemysłowy oraz element integrujący różne sektory gospodarki. Dzięki niemu możliwe jest nie tylko zastąpienie paliw kopalnych w sektorach trudnych do elektryfikacji, lecz także wsparcie magazynowania energii i integracji systemów energetycznych.

Wszystkie rozwinięte gospodarki aktywnie wdrażają dedykowane strategie wodorowe, traktując je jako integralny element krajowych i regionalnych planów transformacji energetycznej. Kierunek ten jest nieodwracalny – rozwój gospodarki wodorowej stanowi fundament budowy niskoemisyjnej, odpornej i innowacyjnej gospodarki przyszłości.



Rysunek 14 Strategie wodorowe na świecie, źródło:
https://www.weltenergierat.de/publikationen/studien/international-hydrogen%20strategies/

Wyniki pokazują, że krajowe strategie wodorowe różnią się pod względem priorytetów i środków. Jednak motywacje do opracowania krajowej strategii wodorowej są często podobne. Nacisk kładziony jest na redukcję krajowych emisji gazów cieplarnianych, zwiększenie integracji odnawialnych źródeł energii oraz dywersyfikację źródeł energii. Wiele krajów podkreśla również możliwości wzrostu gospodarczego, takie jak tworzenie miejsc pracy, postęp technologiczny oraz dodatkowe dochody z eksportu wodoru i technologii. Główne kraje uprzemysłowione mają nadzieję, że budowa krajowej gospodarki wodorowej zapewni im pozycję lidera technologicznego w globalnej konkurencji.

Polska Strategia Wodorowa na lata do 2030 z perspektywą do 2040 roku jest kluczowym dokumentem strategicznym określającym wizję i działania niezbędne do rozwoju gospodarki wodorowej w Polsce.

Polska strategia definiuje sześć celów strategicznych oraz 44 cele szczegółowe:

Wdrożenie technologii wodorowych w energetyce i ciepłownictwie

2025	2030
1. Uruchomienie instalacji P2G klasy co najmniej 1 MW celem wsparcia stabilizacji pracy sieci dystrybucyjnych;	**6. Uruchomienie instalacji ko- i poligeneracyjnych**, np. elektrociepłowni o mocy do 50 MWt, gdzie głównym paliwem będzie wodór;
2. Współspalanie wodoru w turbinach gazowych (w zależności od możliwości technicznych) i konwersja istniejących instalacji;	**7.** Rozpoczęcie wykorzystania wodoru jako nośnika energii wykorzystywanego do procesów **magazynowania energii**;
3. Wsparcie B+R w zakresie tworzenia układów ko- i poligeneracyjnych dla bloków mieszkalnych, biurowców, małych osiedli oraz obiektów użyteczności publicznej od 10 kW do 250 kW z wykorzystaniem **ogniw paliwowych**;	**8.** Instalacja układów ko- i poligeneracyjnych dla bloków mieszkalnych, biurowców, małych osiedli oraz obiektów użyteczności publicznej od 10 kW do 250 kW z wykorzystaniem **ogniw paliwowych**;
4. Rozwój magazynów energii opartych o wodór i jego pochodne;	**9.** Uruchomienie instalacji mikrogeneracyjnych 1-10 kW do wytwarzania wodoru dla instalacji grzewczej lub energii elektrycznej, oraz do zastosowań do zasilania w trudno dostępnych miejscach;
5. B+R w zakresie kompaktowych układów P2G i G2P;	**10.** Rozbudowa instalacji fotowoltaicznych o elektrolizery oraz stacje podczyszczania wody opadowej do produkcji odnawialnego wodoru.

Rysunek 15 Cele Polskiej Strategii Wodorowej, cel I Wdrożenie technologii wodorowych w energetyce i ciepłownictwie

Wykorzystanie wodoru jako paliwa alternatywnego w transporcie

2025	2030
11. Rozpoczęcie eksploatacji autobusów zeroemisyjnych napędzanych wodorem – od **100** do **250** nowych autobusów wodorowych;	**18.** Rozpoczęcie eksploatacji – od **800** do **1000** nowych autobusów wodorowych, w tym wyprodukowanych w Polsce;
12. Rozwój sieci stacji tankowania i bunkrowania wodoru – **min. 32 nowe stacje;**	**19.** Dalszy rozwój infrastruktury tankowania i bunkrowania wodoru;
13. Powstanie instalacji do oczyszczania wodoru do standardu czystości zgodnie z normą obowiązującą w UE;	**20.** Stopniowe zastępowanie pociągów i lokomotyw spalinowych ich wodorowymi odpowiednikami;
14. Powstanie **pociągów/lokomotyw wodorowych**, które zastąpią ich spalinowe odpowiedniki na trasach nieprzewidzianych do elektryfikacji;	**21.** Rozwój wykorzystania wodoru w transporcie ciężkim kołowym, kolejowym, morskim, rzecznym i lotniczym oraz intermodalnym;
15. Prace projektowe nad pierwszymi **jednostkami pływającymi** z systemem napędowym bazującym na wodorze (np. amoniak, metanol);	**22.** Oddanie do użytku **jednostek pływających** z systemem napędowym bazującym na wodorze;
16. Zbadanie możliwości i opłacalności zastosowania w transporcie paliw syntetycznych powstałych w procesie metanizacji;	**23.** Produkcja **paliw syntetycznych** opartych na wodorze.
17. Uruchomienie programów pilotażowych wykorzystania wodoru i jego pochodnych w komunikacji miejskiej, transporcie ciężkim kołowym, kolejowym, morskim, rzecznym i lotniczym oraz intermodalnym;	

Rysunek 16 Cele Polskiej Strategii Wodorowej, cel II Wykorzystanie wodoru jako paliwa alternatywnego w transporcie

Wsparcie dekarbonizacji przemysłu

2025	2030
24. Działania na rzecz pozyskania i zastosowania niskoemisyjnego wodoru do procesów produkcji petrochemicznej, chemicznej oraz na-wozowej w oparciu o zieloną energetykę przemysłową;	**28.** Powstanie co najmniej 5 dolin wodorowych będącymi centrami doskonałości w procesie wdrażania gospodarki wodorowej, integracji sektorów, transformacji klimatycznej przemysłu oraz budowie infrastruktury;
25. Budowa strategii wdrażania wodorowych technologii niskoemisyjnych w najbardziej energochłonnych gałęziach przemysłu;	**29.** Włączenie powstałych inwestycji we wspólną infrastrukturę europejską. Transfer wiedzy i wymiana doświadczeń na szczeblu krajowym i międzynarodowym na temat najlepszych rozwiązań wodorowych w przemyśle.
26. Pilotażowe projekty technologiczne dla sektorów, w których trudno jest osiągnąć neutralność klimatyczną – w szczególności w stalowym, rafineryjnym i chemicznym;	
27. Studia wykonalności przemysłowych dolin wodorowych w ramach budowy wspólnych łańcuchów wartości gospodarki wodorowej o obiegu zamkniętym;	

Rysunek 17 Cele Polskiej Strategii Wodorowej, cel III Wsparcie dekarbonizacji przemysłu

Produkcja wodoru w nowych instalacjach

2025	2030
30. B+R dla niskoemisyjnych technologii pozyskiwania wodoru;	**33.** Dążenie do osiągnięcia mocy instalacji do produkcji wodoru i jego pochodnych z niskoemisyjnych źródeł, procesów i technologii na poziomie **2 GW,** w tym w szczególności instalacji elektrolizerów.
31. Uruchomienie instalacji do produkcji wodoru ze niskoemisyjnych źródeł, procesów i technologii o łącznej mocy min. 50 MW: – wody w procesie elektrolizy, – biomasy w technologii zgazowania, fermentacji lub pirolizy, – biogazu w procesie reformingu parowego, – biometanu w procesie reformingu parowego, – odpadów w technologii zgazowania, termicznego przetwarzania lub procesie pirolizy, – gazów odpadowych, – węglowodorów w procesie reformingu parowego z wykorzystaniem CCS/CCU, – węgla w procesie zgazowania z wykorzystaniem CCS/CCU, technologii IGCC oraz IGFC oraz innych niskoemisyjnych procesów i technologii pozyskiwania wodoru;	
32. Uruchomienie wytwarzania gazów syntetycznych w procesie metanizacji wodoru oraz wykorzystanie niskoemisyjnego wodoru w produkcji amoniaku;	

Rysunek 18 Cele Polskiej Strategii Wodorowej, cel IV Produkcja wodoru w nowych instalacjach

Sprawna i bezpieczna dystrybucja oraz magazynowanie wodoru

2025	2030
34. Rozwój sieci przesyłu i dystrybucji wodoru – opracowanie analizy w zakresie najbardziej optymalnej formy przesyłu energii na rzecz rozwoju gospodarki wodorowej: przesył energii elektrycznej/ przesył wodoru/SNG istniejącą infrastrukturą/przesył wodoru dedykowanymi rurociągami;	**38.** Dostosowanie wybranych odcinków sieci gazowej do przesyłu i dystrybucji wodoru domieszkowanego do gazu;
35. „Autostrada wodorowa" – opracowanie studium wykonalności dedykowanego wodorowi rurociągu północ – południe;	**39.** Budowa dedykowanych rurociągów do przesyłu i dystrybucji wodoru lub rozbudowa sieci elektroenergetycznej w celu przesyłu energii elektrycznej;
36. Zbadanie istniejącej infrastruktury gazowej pod kątem możliwości zatłaczania wodoru i przesyłu mieszanin wodoru z gazem;	**40.** B+R w zakresie lekkich zbiorników do dystrybucji wodoru;
37. Transport kolejowy, drogowy i intermodalny wodoru;	**41.** B+R w zakresie zagospodarowania wielkoskalowych kawern solnych magazynowanie wodoru;
	42. Wprowadzanie do sieci gazowych SNG wyprodukowanego w systemach P2G.

Rysunek 19 Cele Polskiej Strategii Wodorowej, cel V Sprawna i bezpieczna dystrybucja oraz magazynowanie wodoru

Stworzenie stabilnego otoczenia regulacyjnego

III kw. 2021 r. – stworzenie ram regulacyjnych funkcjonowania wodoru jako paliwa alternatywnego w transporcie.

IV kw. 2021 r. – opracowanie legislacyjnego pakietu wodorowego, tworzącego podstawy funkcjonowania rynku.

2022-2023 r. – opracowanie legislacyjnego pakietu wodorowego – przepisów określających szczegóły funkcjonowania rynku, implementujących prawo UE, w tym zakresie oraz wdrażających system zachęt do produkcji niskoemisyjnego wodoru.

Poza podstawowymi 42. Działaniami określonymi w ramach Polskiej Strategii Wodorowej planowane jest wsparcie działań o charakterze horyzontalnym:

- 43. Wykorzystanie polskiego potencjału badawczo-rozwojowego w zakresie technologii wodorowych.
- 44. Rozwój zakładów produkcji pojazdów napędzanych wodorem, elektrolizerów, instalacji pirolizy, ogniw paliwowych, autobusów i lokomotyw, zbiorników na wodór, reaktorów i katalizatorów do metanizacji, czy technologii P2L oraz innych komponentów (m.in. rurociągi, zawory, uszczelki, sprężarki, pompy, automatyka zabezpieczeniowa).

8. Jak dołączyć do gospodarki wodorowej

Rozwój gospodarki wodorowej stanowi jedną z największych transformacji energetycznych współczesności. Wodór nie jest jedynie nową technologią – to przede wszystkim zmiana systemowa, która wymaga szeroko zakrojonej współpracy między różnymi sektorami. Sukces wdrażania projektów wodorowych w Polsce i Europie zależy od zdolności do budowy spójnego, otwartego ekosystemu, w którym spotykają się interesy biznesu, nauki, administracji publicznej oraz społeczności lokalnych.

1. Wodór jako zmiana oparta na współpracy

Technologie wodorowe obejmują pełen łańcuch wartości: produkcję, magazynowanie, transport i wykorzystanie wodoru w przemyśle, energetyce czy transporcie. Każdy z tych etapów wymaga odrębnych kompetencji, inwestycji oraz ram regulacyjnych. Żaden pojedynczy podmiot – nawet duża firma energetyczna – nie jest w stanie efektywnie rozwijać gospodarki wodorowej w izolacji. Konieczna jest współpraca umożliwiająca integrację technologii, dostęp do infrastruktury, standaryzację oraz wymianę doświadczeń. Wodór z natury jest więc projektem wspólnym, którego rozwój opiera się na synergii różnych środowisk.

2. Budowa ekosystemu wodorowego

Aby gospodarka wodorowa mogła się dynamicznie rozwijać, niezbędne jest stworzenie kompleksowego ekosystemu, w którym funkcjonować będzie:

- biznes – przedsiębiorstwa przemysłowe, energetyczne, start-upy, operatorzy infrastruktury;
- samorządy – pełniące rolę organizatorów lokalnych przedsięwzięć i jednocześnie odbiorców końcowych (np. transport publiczny, ciepłownictwo);
- nauka i edukacja – instytuty badawcze, uczelnie, laboratoria, które rozwijają innowacje, kształcą kadry oraz weryfikują technologie.

Taki ekosystem pozwala zmniejszać ryzyka inwestycyjne, poprawiać jakość projektów, przyspieszać komercjalizację badań i podnosić poziom bezpieczeństwa technologicznego. Kluczowe jest również budowanie kompetencji – zarówno technicznych, jak i organizacyjnych – aby wodór mógł być wdrażany w sposób odpowiedzialny i efektywny ekonomicznie.

3. Stabilne otoczenie rozwojowe oparte na współpracy

Wprowadzanie technologii wodorowych wymaga stabilnego i przewidywalnego otoczenia regulacyjnego, finansowego i organizacyjnego. Taki system może powstać tylko wtedy, gdy interesariusze działają wspólnie, tworząc struktury, które:

- integrują podmioty na poziomie lokalnym i krajowym,
- umożliwiają wymianę wiedzy i dobrych praktyk,
- wspierają projekty pilotażowe i demonstracyjne,
- koordynują działania i ułatwiają dostęp do finansowania,
- budują zaufanie między sektorami.

Współpraca ta często przybiera formę dolin wodorowych, grup roboczych, konsorcjów badawczo-przemysłowych czy partnerstw publiczno-prywatnych. Dzięki temu uczestnicy rynku wodorowego mają możliwość wzajemnego uczenia się, eliminacji barier oraz wspólnego wypracowywania standardów.

4. Współpraca wodorowa w Polsce

W Polsce rola współpracy wodorowej została szybko dostrzeżona. Obecnie funkcjonują zarówno regionalne doliny wodorowe, jak i stowarzyszenia o zasięgu ogólnopolskim, które aktywnie integrują środowisko. W tych strukturach:

- prowadzone są prace nad strategiami lokalnymi,
- realizowane są projekty pilotażowe,
- odbywa się intensywna wymiana wiedzy między firmami, samorządami i uczelniami,
- nawiązywane są partnerstwa międzynarodowe,
- przygotowywane są wspólne aplikacje o środki unijne i krajowe.

Dzięki temu w Polsce powstaje sieć współpracy, która nie tylko przyspiesza wdrażanie technologii, ale również wzmacnia pozycję kraju w europejskim rynku wodorowym.

Najważniejsze stowarzyszenia branżowe w Polsce

Tabela 3 Najważniejsze wodorowe stowarzyszenia branżowe w Polsce

Nazwa	Region	Kontakt
Porozumienie sektorowe na rzecz rozwoju gospodarki wodorowej	Ogólnopolskie	www.gov.pl/web/klimat/porozumienie-sektorowe-gospodarka-wodorowa wodor@klimat.gov.pl
Polska Izba Wodoru	Ogólnopolskie	https://polskaizbawodoru.pl kontakt@polskaizbawodoru.pl
Wielkopolska Platforma Wodorowa	Wielkopolska	www.h2wielkopolska.pl/ drg.sekretariat@umww.pl tel. 61 626 6240
Dolnośląska Dolina Wodorowa	Dolny Śląsk	www.dolinah2.pl/ kontakt@dolinah2.pl tel. +48 572 073 252
Mazowiecka Dolina Wodorowa	Mazowsze	www.orlen.pl/pl/zrownowazony-rozwoj/projekty-transformacyjne/wodor/Mazowiecka-Dolina-Wodorowa
Śląsko-Małopolska Dolina Wodorowa	Śląsk, Małopolska	www.h2dolina.eu/ biuro@h2dolina.eu tel. +48 32 757 48 75
Podkarpacka Dolina Wodorowa	Podkarpacie	www.dolinawodorowa.org/ biuro@dolinawodorowa.org
Pomorska Dolina Wodorowa	Pomorze	www.klasterwodorowy.pl/ tel. +48 512 273 888 kontakt@klasterwodorowy.pl
Pozostałe doliny wodorowe	Regionalne	www.arp.pl/pl/jak-dzialamy/transformacja-energetyczna-/doliny-wodorowe/

9. Bibliografia

1. International Energy Outlook 2023, U.S. Energy Information Administration.
2. Analiza potencjału technologii wodorowych w Polsce do roku 2030 z perspektywą do roku 2040, Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.
3. Szkoła Wodorowa, Urząd Marszałkowski Województwa Wielkopolskiego, ISBN 978-83-60782-31-6, https://mh.energy/szkola-wodorowa .
4. Polska Strategia Wodorowa do roku 2030, Ministerstwo Klimatu i Środowiska, https://www.gov.pl/web/klimat/polska-strategia-wodorowa-do-roku-2030 .
5. Wyścig po wodór Państwa i ich strategie wodorowe, Polski Instytut Ekonomiczny, ISBN 978-83-67575-58-4.
6. Koszty braku dekarbonizacji gospodarki, Polski Instytut Ekonomiczny, ISBN 978-83-67575-61-4.
7. Hydrogen Insights 2023, Hydrogen Council, McKinsey & Company, https://hydrogencouncil.com/en/hydrogen-insights-2023/ .
8. Hydrogen Roadmap Europe: A sustainable pathway for the European Energy Transition, Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking, 2019, https://www.clean-hydrogen.europa.eu/media/publications/hydrogen-roadmap-europe-sustainable-pathway-european-energy-transition_en .
9. Zielony wodór - rewolucja czy przejściowa moda? Szanse i wyzwania dla polskiej gospodarki, EY, 2023.
10. Kierunki rozwoju gospodarki wodorowej w Polsce, Polski Instytut Ekonomiczny, 7/2019, ISBN 978-83-66306-61-5.
11. Zielony wodór z OZE w Polsce, Dolnośląski Instytut Studiów Energetycznych, https://dise.org.pl/raport-zielony-wodor/ .
12. Making the Hydrogen Economy Possible: Accelerating Clean Hydrogen in an Electrified Economy, Energy transitions Commisions, kwiecień 2021, https://energy-transitions.org/wp-content/uploads/2021/04/ETC-Global-Hydrogen-Report.pdf .
13. Strategia rozwoju Wielkopolski wodorowej do 2030 z perspektywą do 2040, Samorząd Województwa Wielkopolskiego, ISBN: 978-83-60782-34-7, http://iw.org.pl/wp-content/uploads/2023/05/Strategia-rozwoju-Wielkopolski-wodorowej-do-2030-z-perspektywa-do-2040.pdf .