

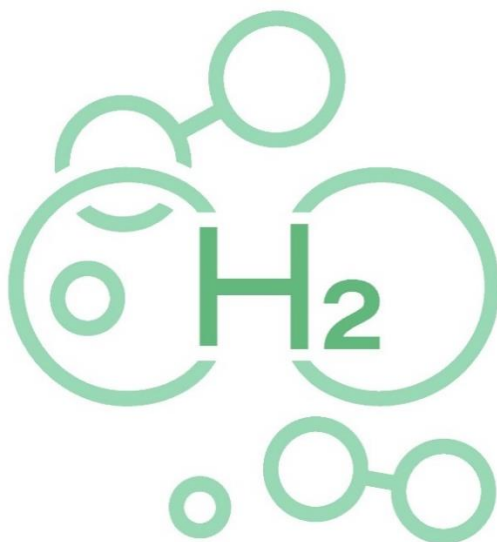


**Instytut
Energetyki**



WIELKOPOLSKA

PRAKTYCZNY PRZEWODNIK FINANSOWANIA PROJEKTÓW WODOROWYCH



Luty 2026 r.

Dokument opracowany został na zlecenie Województwa Wielkopolskiego (Urząd Marszałkowski Województwa Wielkopolskiego, Departament Gospodarki) w ramach projektu „Wielkopolskie Inteligentne Specjalizacje – Ekosystem na rzecz neutralności klimatycznej (WIS-E NET ZERO)”. Projekt realizowany i finansowany jest z Programu Fundusze Europejskie dla Wielkopolski na lata 2021-2027 w ramach Priorytetu 1 Fundusze Europejskie dla Wielkopolskiej Gospodarki; Działanie 1.7 Wzmocnienie procesu przedsiębiorczego odkrywania i promocja gospodarki w regionie.



Fundusze Europejskie
dla Wielkopolski



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



SAMORZĄD
WOJEWÓDZTWA
WIELKOPOLSKIEGO



Spis treści

I. Wprowadzenie do przewodnika	5
1.1. Cel i założenia przewodnika	5
1.2. Dla kogo jest ten dokument?.....	5
1.3. Jak korzystać z przewodnika?	5
II. Wodór i gospodarka wodorowa	7
2.1. Wodór w kontekście globalnej dekarbonizacji.....	7
2.2. Polska vs świat – pozycja, szanse, zagrożenia	8
2.3. Łańcuch wartości wodoru – ujęcie globalne.....	9
III. Technologie wodorowe – przegląd	12
3.1. Produkcja wodoru	12
3.2. Magazynowanie wodoru	15
3.3. Transport.....	15
3.4. Wykorzystanie wodoru	17
3.5. Kryteria wyboru technologii wodorowej	19
IV. Metodyka realizacji projektów wodorowych – planowanie, wybór technologii i analizy rynkowe.....	21
4.1. Fazy cyklu życia projektu wodorowego	22
4.2. Analiza potencjału produkcji wodoru.....	25
4.3. Analiza „state-of-the-art” i SWOT wybranej technologii.....	29
4.4. Analizy rynkowe i biznesowe	31
4.5. Optymalizacja kosztów i procesów	38
V. Krajowe źródła finansowania projektów wodorowych	41
5.1. Krajowe instytucje i mechanizmy wspierające projekty wodorowe.....	41
5.2. Typy projektów kwalifikujących się do wsparcia.....	45
5.3. Kluczowe wymagania formalne i proces aplikacji	46
5.4. Studium przypadku - projekty krajowe	46
VI. Międzynarodowe inicjatywy finansowania projektów wodorowych	48
6.1. Rola Unii Europejskiej w rozwoju gospodarki wodorowej	49
6.2. Najważniejsze europejskie programy wsparcia	51
6.4. Budowanie budżetu w projektach międzynarodowych	53
6.5. Studium wykonalności - wymogi europejskie	54
6.6. Przykłady projektów europejskich ze szczególnym uwzględnieniem tych realizowanych w Polsce	56

VII. Aspekty prawne, regulacyjne, administracyjne i zarządzanie ryzykiem w projektach wodorowych.....	59
7.1. Aspekty bezpieczeństwa w projektach wodorowych	59
7.2. Kluczowe regulacje krajowe i unijne	61
7.3. Proces uzyskiwania kluczowych decyzji administracyjnych	62
7.4. Certyfikacja zielonego wodoru	65
7.5. Standardy techniczne i dobre praktyki	65
7.6. Zarządzanie ryzykiem w projektach wodorowych	66
VIII. Partnerstwa i konsorcja projektowe	69
8.1. Jak identyfikować partnerów?.....	69
8.2. Zasady tworzenia konsorcjum.....	69
8.3. Umowa konsorcjalna – najważniejsze elementy	70
8.4. Relacje i komunikacja w projekcie	71
8.5. Rola instytucji wspierających	71
IX. Obliczanie i znaczenie śladu węglowego w projektach wodorowych	71
9.1. Po co liczyć ślad węglowy?	72
9.2. Podstawy metodologii	72
9.3. Jak policzyć ślad węglowy dla poszczególnych etapów.....	75
9.4. Przykładowe narzędzia do obliczeń	76
9.5. Jak wpływ środowiskowy podnosi atrakcyjność projektu	77
X. Narzędzia wspierające rozwój rynku wodorowego	77
10.1. Mechanizm Wodorowy	77
10.2. Bank Wodorowy UE	78
10.4. Bazy danych, raporty i narzędzia analityczne	79
XI. Przykłady projektów i najlepsze praktyki.....	80
XII. Podsumowanie i check-listy	85
12.1. Check-lista: „Czy mój projekt jest gotowy do złożenia wniosku?”	90
12.2. Check-lista: „Najważniejsze ryzyka technologiczne i organizacyjne”	91
12.3. Check-lista: „Jak budować budżet?”	91
12.4. Check-lista: „Czy jesteśmy jako podmiot gotowi do projektu UE?”	92
Spis rysunków:.....	94
Spis tabel:.....	94

I. Wprowadzenie do przewodnika

1.1. Cel i założenia przewodnika

Celem przewodnika jest przedstawienie w przystępny, praktyczny i uporządkowany sposób możliwości finansowania projektów wodorowych oraz całego procesu ich przygotowania tj. od pomysłu, poprzez studium wykonalności, budowanie partnerstw i aplikowanie o dedykowane środki, aż po realizację i rozliczenie projektu.

Przewodnik pomoże użytkownikom:

- zrozumieć, jak funkcjonuje gospodarka wodorowa i jakie niesie szanse rozwoju dla danego podmiotu,
- wybrać spośród krajowych i międzynarodowych źródeł finansowania,
- świadomie i odpowiedzialnie planować inwestycje i dobierać technologie,
- minimalizować ryzyka związane z formalnościami, aspektami technicznymi i regulacyjnymi,
- przygotować konkurencyjny projekt i poprawny wniosek o dofinansowanie,
- efektywnie współpracować w konsorcjach i budować partnerstwa (zarówno krajowe, jak i międzynarodowe),
- wykorzystywać narzędzia raportowania środowiskowego, w tym obliczanie śladu węglowego.

1.2. Dla kogo jest ten dokument?

Przewodnik został opracowany z myślą o szerokim gronie interesariuszy aktywnie uczestniczących w rozwijającym się łańcuchu gospodarki wodorowej:

- **Mikro, małe i średnie przedsiębiorstwa (MŚP) oraz duże przedsiębiorstwa** – firmy produkcyjne, technologiczne, usługowe, lokalni operatorzy energii.
- **Jednostki samorządu terytorialnego (JST)** – miasta i gminy zainteresowane transportem niskoemisyjnym, lokalnymi źródłami energii, produkcją zielonego wodoru czy aktywizacją gospodarki.
- **Uczelnie i jednostki naukowe** – ośrodki badawcze rozwijające technologie i demonstrujące ich zastosowanie.
- **Organizacje społeczne i klastry energii** – podmioty wspierające transformację energetyczną i współpracę międzysektorową.
- **Inwestorzy i deweloperzy projektów energetycznych.**

Treści zostały tak przygotowane, aby zarówno osoby techniczne, jak i nietechniczne mogły łatwo z nich korzystać.

1.3. Jak korzystać z przewodnika?

Przewodnik został zbudowany modułowo, co oznacza, że można go czytać w całości lub przechodzić bezpośrednio do wybranych fragmentów.

Szczególną uwagę zwracamy na:

- **schematy postępowania**, które prowadzą użytkownika krok po kroku,
- **tabele porównawcze**, ułatwiające dobór technologii lub programu finansowania,
- **studia przypadku**, pokazujące, jak w praktyce wyglądają realne projekty,
- **linki**, które zapewniają dostęp do aktualnych informacji.

Wszystkie odnośniki prowadzą do stron instytucji, programów, narzędzi analitycznych i dokumentów, które są nieustannie aktualizowane i rozbudowywane.

1.4. Rola aktywnych linków i aktualności źródeł

Rynek wodoru rozwija się bardzo dynamicznie – zarówno w Polsce, jak i w Europie. Regularnie pojawiają się nowe inicjatywy, aktualizowane są programy finansowania, a regulacje i standardy techniczne ulegają zmianom.

Dlatego przewodnik odwołuje się do:

- oficjalnych portali instytucji finansujących,
- aktualnych dokumentów konkursowych,
- narzędzi i baz danych wspierających poszczególne etapy realizacji przedsięwzięć,
- stron zawierających najnowsze standardy i raporty branżowe.

Za pomocą linków użytkownik może szybko dotrzeć do aktualnych dokumentów lub wersji roboczych, które często decydują o sukcesie przygotowywanego projektu. Dzięki temu przewodnik zachowuje trwałą wartość, a jednocześnie umożliwia bieżące dopasowanie do zmian rynkowych.

1.5. Autorstwo przewodnika

Przewodnik został opracowany na podstawie doświadczeń ekspertów, praktyków i instytucji działających w obszarze energetyki i technologii wodorowych:

- **Instytut Energetyki – Państwowy Instytut Badawczy (IEN-PIB)**
Jedna z wiodących w Polsce jednostek badawczych, realizująca projekty z zakresu energetyki, w tym technologii wodorowych, elektromobilności i magazynowania energii.
Więcej informacji: <https://ien.com.pl/>
- **Centrum Technologii Wodorowych (CTH2)**
Specjalistyczna jednostka zajmująca się rozwojem, badaniem i wdrażaniem technologii wodorowych oraz doradztwem w zakresie projektów, finansowania i bezpieczeństwa.
Więcej informacji: <https://ien.com.pl/centrum-technologii-wodorowych-cth2>

Organizacje te współtworzą środowisko, w którym wiedza naukowa łączy się z praktyką wdrożeń i doświadczeniem projektowym.

Cykl warsztatów przeprowadziła grupa ekspertów w składzie:

- Prof. dr hab. inż. Jakub Kupecki,
- Dr hab. Grzegorz Tchorek, prof. IEN-PIB,
- Dr inż. Anna Niemczyk,
- Dr inż. Marcin Blesznowski,
- Mgr Kamila Woźniakowska,
- Dr inż. Krzysztof Pajączek.

II. Wodór i gospodarka wodorowa

Zakres warsztatu:

*„Gospodarka wodorowa i globalny łańcuch wartości – technologie, trendy i miejsce Polski”
oraz „Partnerstwa, modele biznesowe i rozwój krajowych podmiotów w łańcuchu wartości wodoru”*

Wodór odgrywa coraz ważniejszą rolę w globalnym systemie energetycznym, szczególnie w kontekście dekarbonizacji gospodarki. Jego unikalne właściwości jako nośnik energii pozwalają na redukcję emisji w sektorach, które trudno poddać elektryfikacji, takich jak przemysł ciężki, transport dalekobieżny czy procesy chemiczne. Jednak, aby w pełni wykorzystać potencjał wodoru, niezbędne jest zrozumienie jego miejsca w łańcuchu wartości oraz globalnych trendów technologicznych i finansowych.

2.1. Wodór w kontekście globalnej dekarbonizacji

W 2022 r. udział wodoru w zużyciu energii wynosił poniżej 2% i był w 96% produkowany z gazu ziemnego, generując znaczne emisje CO₂. W Europie znaczenie wodoru dobitnie potwierdza unijna strategia REPowerEU, zakładająca produkcję **10 mln ton i import kolejnych 10 mln ton** odnawialnego wodoru do 2030 r..

Wodór ma również szczególne znaczenie dla modernizacji europejskiego przemysłu. Podczas **4. Enagás Hydrogen Day** przedstawiciele przemysłu potwierdzili, że zielony wodór jest niezbędny do dekarbonizacji sektorów takich jak rafinerie, chemia, hutnictwo, cementownie, czy ciężki transport.

Wodór jest również narzędziem wzmacniania bezpieczeństwa energetycznego. Jego produkcja z lokalnych odnawialnych źródeł pomaga zmniejszać zależność od importu paliw kopalnych oraz zapewnia stabilność systemu energetycznego poprzez możliwość magazynowania energii w formie paliwa. W kontekście globalnym Europa odgrywa istotną rolę technologicznego lidera – inwestując w elektrolizery, infrastrukturę i rozwój regulacji wspierających rynek wodoru, tworzy modelowe podejście do dekarbonizacji, które może stać się inspiracją dla innych regionów świata.

Podsumowując, wodór jest symbolem transformacji energetycznej i narzędziem w realizacji celów klimatycznych. Warto jednak odróżnić fakty od mitów:

- **Fakty:** Wodór, zwłaszcza niskoemisyjny, produkowany z odnawialnych źródeł energii, może znacznie ograniczyć emisje CO₂ w sektorach trudnych do bezpośredniej elektryfikacji. Wodór może być magazynowany średnio i długoterminowo, co pozwala na integrację źródeł odnawialnych o zmiennej produkcji. Konwersja energii elektrycznej na wodór i inne paliwa wodoronośne (m.in. amoniak, metanol, e-metan) pozwala na wykorzystanie potencjału OZE oraz transport energii w postaci energii chemicznej na duże dystanse omijając ograniczenia sieci elektroenergetycznej.
- **Mity:** Nie każdy wodór jest „zielony” – większość obecnie produkowanego wodoru na świecie to tzw. szary wodór, powstający z paliw kopalnych, którego emisje nie są neutralne klimatycznie. Sam wodór nie jest rozwiązaniem uniwersalnym – jego produkcja i transport wymagają wysokich nakładów inwestycyjnych.

WAŻNE:

Wodór należy traktować jako nośnik energii, który łączy sektory gospodarki oraz przyczynia się do redukcji emisji dwutlenku węgla szczególnie w przemyśle energochłonnym, dzięki efektywnemu wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii.

Poniżej przedstawiono porównanie właściwości fizykochemicznych wodoru z innymi typowymi paliwami. Wartość gęstości podana dla warunków normalnych ($T = 273,15\text{ K}$; $p = 101,325\text{ kPa}$). Dane z *Hydrogen energy: challenges and prospects*, D. A. J. Rand and R. M. Dell.

Tabela 1 Porównanie właściwości fizykochemicznych wodoru

parametr	wodór	benzyna	metanol	metan	propan
wartość opałowa [MJ kg ⁻¹]	120	44,38	20,1	50	46,4
ciepło spalania [MJ kg ⁻¹]	141,9	46,7	23,3	55,5	48,9
współczynnik dyfuzji w powietrzu [cm ² s ⁻¹]	0,63	0,08	0,16	0,2	0,1
dolna granica palności [%obj.]	4	1	7	5	2
górną granicę palności [%obj.]	75	6	36	15	10
gęstość w stanie ciekłym [kg m ⁻³]	70,8	702	797	425	507
gęstość w stanie gazowym [kg m ⁻³]	0,0899	-	-	0,718	2,01

2.2. Polska vs świat – pozycja, szanse, zagrożenia

Należy podkreślić, że Polska jest trzecim w Europie, piątym na świecie producentem wodoru. Całość jednak jest konsumowana na miejscu – głównie w procesach petrochemicznych i w produkcji nawozów (aktualnie wodór ten pochodzi z procesów wysokoemisyjnych, w większości z procesu reformingu parowego gazu ziemnego). Polska znajduje się obecnie w fazie rozwoju niskoemisyjnego rynku wodorowego. W porównaniu z liderami europejskimi, takimi jak Niemcy, Holandia czy Skandynawia, dysponujemy dużym potencjałem w zakresie infrastruktury energetycznej, zasobów OZE i przemysłu chemicznego, ale musimy nadrobić zaległości technologiczne i regulacyjne.

Szanse:

- rozwój niskoemisyjnej gospodarki wodorowej wspiera realizację krajowych celów klimatycznych,
- nowe miejsca pracy w sektorze technologicznym i energetycznym,
- obniżenie emisyjności kluczowych sektorów gospodarki poprzez integrację technologii wodorowych z istniejącymi sektorami przemysłowymi i transportowymi umożliwiając.

Zagrożenia:

- brak wypracowanych modeli finansowania dużych inwestycji,
- potrzeba aktualizacji przepisów i standardów technicznych,
- długi czas uzyskiwania pozwoleń i zgód prawno-administracyjnych,
- ryzyko zależności od technologii i partnerów zagranicznych.

Strategiczne podejście do wdrażania wodoru w Polsce wymaga połączenia planowania rynkowego, inwestycji w technologie oraz aktywnego udziału państwa w tworzeniu regulacji i mechanizmów wsparcia.

2.3. Łańcuch wartości wodoru – ujęcie globalne

Globalny łańcuch wartości wodoru obejmuje pełne spektrum działań – od pozyskania energii, przez produkcję, transport, magazynowanie, aż po końcowe zastosowania w przemyśle, energetyce i transporcie. W ostatnich latach łańcuch ten dynamicznie się rozwija, a inwestycje w niskoemisyjny wodór rosną, choć wolniej niż pierwotnie zakładano. Według *Global Hydrogen Review 2025* od 2021 r. liczba projektów niskoemisyjnego wodoru wzrosła z kilku demonstratorów do ponad 200 potwierdzonych inwestycji. Jednocześnie rozwijane są regulacje, infrastruktura i narzędzia monitoringu rynku, jak np. Hydrogen Tracker IEA.

Linki do narzędzi i kompleksowych raportów:

- <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/hydrogen-tracker>
- <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2025>
- <https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/hydrogen-landscape/production-trade-and-cost/hydrogen-production>

Produkcja wodoru

Obecny globalny rynek wodoru (ok. 200 mld USD) pozostaje zdominowany przez wodór szary, używany głównie w rafineriach i przemyśle chemicznym. Jednak transformacja energetyczna silnie przesuwa akcent w stronę wodoru zielonego i niebieskiego. Spadki kosztów energii odnawialnej, rozwój elektrolizerów oraz systemy wsparcia – np. inwestycje w USA w ramach IRA czy strategia UE zakładająca 40 GW elektrolizerów do 2030 r. – napędzają rozwój niskoemisyjnego rynku wodoru.

IRENA wskazuje, że wodór zielony będzie kluczowy dla głębokiej dekarbonizacji i stanie się podstawą nowych globalnych łańcuchów handlowych, obejmujących m.in. paliwa syntetyczne (amoniak, e-metanol) czy DRI w hutnictwie. Obszary o niskich kosztach OZE mogą stać się eksporterami wodoru i jego pochodnych do regionów przemysłowych o wysokim zapotrzebowaniu.

Transport, magazynowanie i infrastruktura

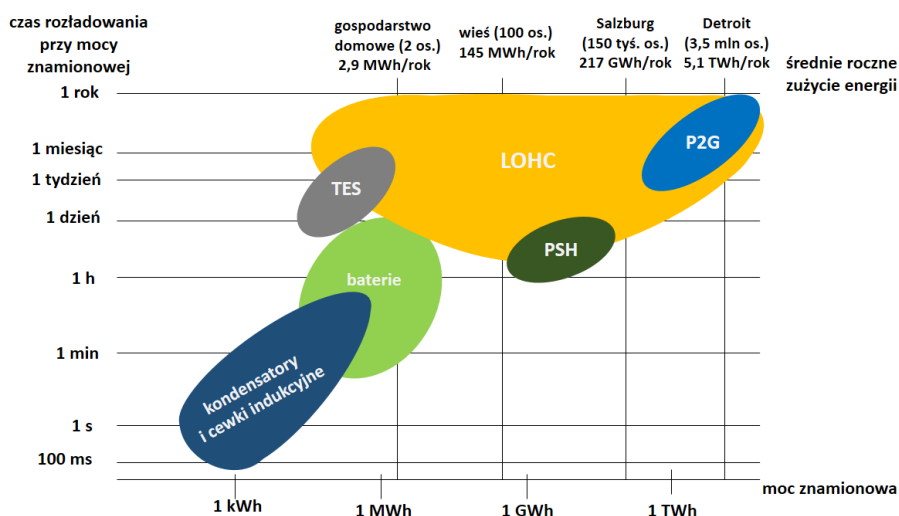
Aby umożliwić skalowanie produkcji, potrzebna jest rozbudowana infrastruktura transportu i magazynowania wodoru. IEA (International Energy Agency) aktualizuje globalną bazę projektów dotyczących rurociągów i magazynów podziemnych, która pokazuje stopniowy rozwój infrastruktury, choć jej dostępność wciąż jest kluczową barierą. Niepewność regulacyjna oraz brak jednolitych standardów utrudniają rozwój rynków międzynarodowych. Projekty obejmują m.in. konwersję istniejących sieci gazowych do mieszanin H₂/CH₄ oraz budowę nowych, w tym także terminali eksportowo-importowych dla ciekłych i związkowych nośników wodoru.

Zastosowania końcowe

Wodór zyskuje znaczenie w następujących sektorach:

- **Przemysł ciężki:** szczególnie hutnictwo (wodór jako reduktor), produkcja amoniaku, rafinerie. Projekty demonstracyjne w Europie już wykorzystują wodór w produkcji stali o niskim śladzie węglowym. Przykład udanego przedsięwzięcia: <https://www.hybritdevelopment.se/en/>
- **Transport ciężki i morski:** rozwija się flota pojazdów na ogniwa paliwowe, rośnie znaczenie wodoru i e-paliw w żegludze i lotnictwie. Przykład udanego przedsięwzięcia: <https://www.norled.no/en/nyhet/mf-hydra-the-worlds-first/>

- **Energetyka:** wodór jako nośnik do długoterminowego magazynowania energii oraz paliwo do turbin gazowych przystosowanych do spalania mieszanin H_2/CH_4 . Link: <https://interestingengineering.com/innovation/siemens-energy-tests-100-hydrogen-gas-turbine>



Skróty:

LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carrier) – ciekłe związki organiczne; P2G – technologia Power-to-Gas; PSH (Pumped-Storage Hydroelectricity) – elektrownie szczytowo-pompowe; TES (Thermal Energy Storage) – systemy magazynowania energii w formie ciepła.

Rysunek 1 Zestawienie technologii magazynowania energii elektrycznej. Źródło: h2-industries

Hydrogen Council zwraca uwagę, że pierwsza fala dojrzałych projektów czystego wodoru pokazuje zarówno możliwości technologiczne, jak i wąskie gardła wdrożeń – głównie koszty, brak długoterminowych kontraktów oraz opóźnienia infrastrukturalne. Jednocześnie rośnie liczba „bankowalnych” projektów wzdłuż łańcucha wartości, obejmujących zarówno produkcję, jak i popyt końcowy.

Sector coupling (powiązanie sektorów)

Sector coupling, czyli integracja sektorów energii, przemysłu i transportu poprzez wodór i jego pochodne, jest kluczowym elementem globalnego łańcucha wartości. Koncepcja ta umożliwia efektywne wykorzystanie nadwyżek energii odnawialnej oraz optymalizację systemów energetycznych.

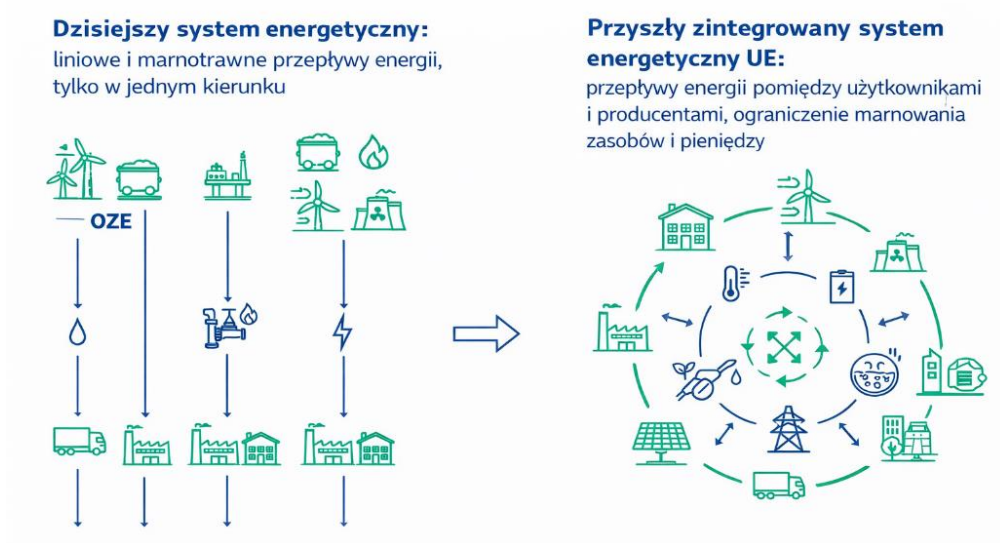
Integracja systemów energetycznych

W raportach IRENA wodór jest przedstawiany jako narzędzie do łączenia różnych sektorów gospodarki poprzez magazynowanie i transformację energii z OZE. Nadwyżki energii wytwarzanej z wiatru czy słońca mogą być przekształcane w wodór, który następnie zasila przemysł, transport lub wraca do energetyki jako nośnik energii (*power-to-gas* P2G, *power-to-power* P2P). Pozwala to na bardziej elastyczne bilansowanie systemu elektroenergetycznego oraz minimalizację redukcji mocy OZE.

Powiązanie przemysłu i energetyki

W sektorze przemysłowym wodór pełni funkcję medium, które łączy procesy wysokotemperaturowe z rynkiem energii. Przemysł stalowy, chemiczny i rafineryjny zmienia surowce procesowe na

niskoemisyjne, integrując się w ten sposób z rynkiem energii odnawialnej. Takie podejście zwiększa elastyczność całego systemu i umożliwia głębszą dekarbonizację sektorów, które wcześniej były od niej odseparowane.

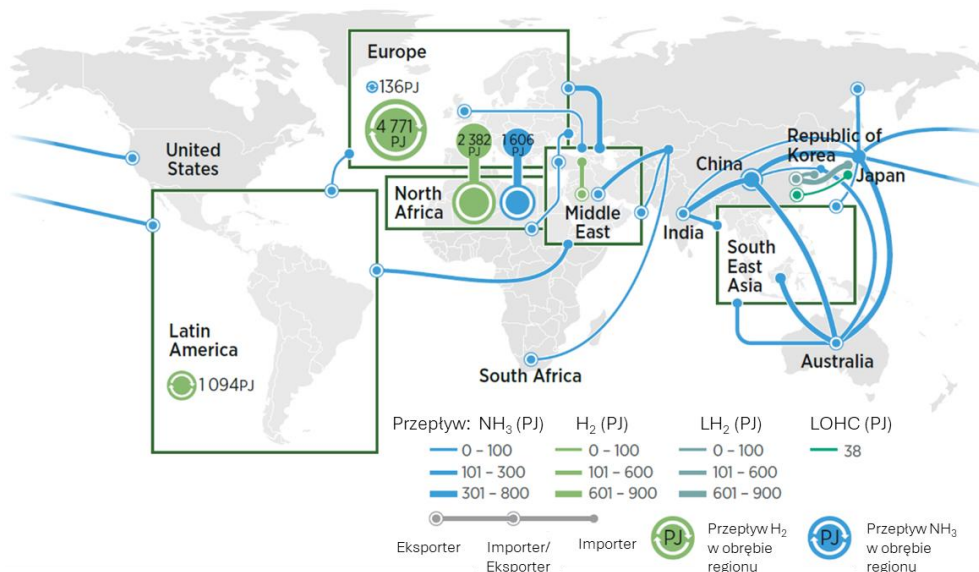


Rysunek 2 Rozwój i integracja przemysłu z sektorem energetycznym

Transport jako element integracji

Transport wykorzystujący wodór (ciężarowy, kolejowy, morski) tworzy sprzężenie zwrotne z sektorem produkcji i dystrybucji wodoru. Rosnąca liczba projektów FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle - samochody elektryczne zasilane ogniwami paliwowymi) i rozbudowa infrastruktury tankowania tworzą stabilny popyt, który stymuluje inwestycje w produkcję. Hydrogen Compass 2025 wskazuje, że stabilność popytu jest warunkiem koniecznym do dojrzewania projektów w całym łańcuchu wartości oraz poprawy ekonomiki systemu.

Wymiar globalny – handel i geopolityka



Rysunek 3 Globalne przepływy handlu wodorem przy optymistycznych założeniach technologicznych w 2050 r. Źródło: IRENA 2022

Sector coupling ma również wymiar międzynarodowy: eksport i import wodoru oraz jego pochodnych łączy systemy energetyczne różnych regionów. Kraje zasobne w OZE (np. Australia, Chile, Bliski Wschód) mogą stać się kluczowymi eksporterami paliw syntetycznych i zielonego wodoru do Europy, Azji i Ameryki Północnej, wspierając globalną dekarbonizację i zwiększając bezpieczeństwo energetyczne odbiorców.

III. Technologie wodorowe – przegląd

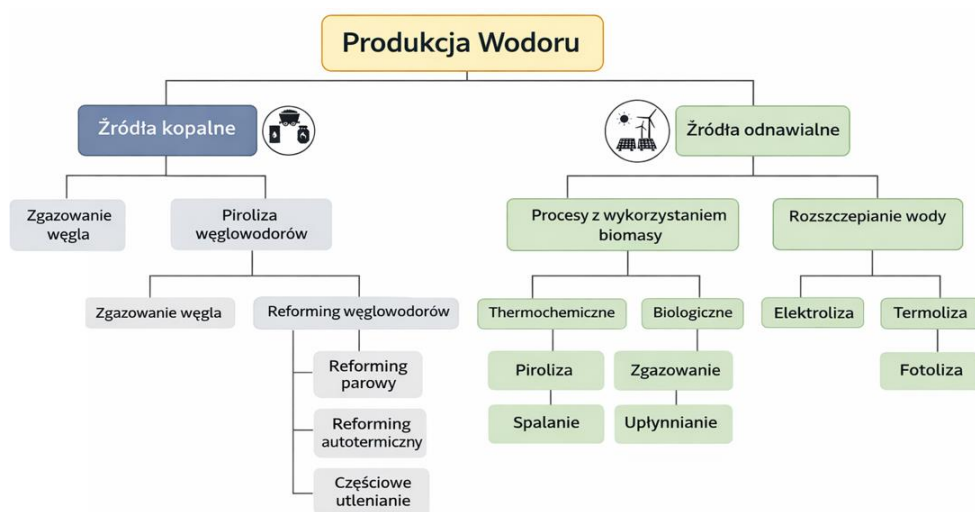
Zakres warsztatu:

„Kluczowe technologie wodorowe – przegląd, porównanie, praktyczne zastosowania”

Rozwój gospodarki wodorowej wymaga dogłębnego zrozumienia dostępnych technologii wodorowych – od produkcji, przez magazynowanie i transport, aż po końcowe wykorzystanie w różnych sektorach gospodarki. Wybór właściwej technologii dla danego podmiotu i obszaru determinuje efektywność energetyczną projektu, jego koszty operacyjne i inwestycyjne oraz wpływ na środowisko.

3.1. Produkcja wodoru

Wodór można wytwarzać różnymi metodami, z których każda ma swoje zalety, ograniczenia i zastosowania. Poniżej przedstawiono graficzny podział technologii produkcji wodoru.



Rysunek 4 Metody produkcji wodoru

Dane dotyczące wielkości produkcji wodoru w Unii Europejskiej oraz w Polsce, w tym także dane dotyczące specyfikacji instalacji (m.in. wielkość, lokalizacja, technologia) można znaleźć w bazach online:

- <https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/hydrogen-landscape/production-trade-and-cost/hydrogen-production>
- <https://h2poland.eu/pl/mapa-inwestycji-wodorowych/?catId=39>

Elektroliza

Elektroliza wody to proces elektrochemiczny, w którym energia elektryczna rozdziela cząsteczki H_2O na wodór (H_2) i tlen (O_2). Technologia ta jest kluczowa dla produkcji tzw. zielonego wodoru, z wykorzystaniem energii z odnawialnych źródeł (OZE). Różne typy elektrolizerów wyróżniają się odmiennymi parametrami pracy, stopniem dojrzałości technologicznej oraz wymaganiami materiałowymi.

Elektrolizery z membraną PEM (PEMWE – Proton Exchange Membrane Water Electrolyzer)

Technologia bazująca na polimerowej membranie protonowej, która przewodzi protony, a jednocześnie stanowi barierę dla gazów. PEMWE bardzo szybko reagują na zmiany napięcia i mocy, co czyni je idealnym rozwiązaniem do współpracy z niestabilnymi źródłami OZE (np. fotowoltaika, wiatr). Dodatkowo, możliwe jest osiągnięcie ciśnień nawet powyżej 30 bar bez dodatkowej kompresji, co obniża koszty instalacji. Wysoka gęstość prądowa umożliwia mniejszą powierzchnię ogniw i kompaktową zabudowę systemu. Jednakże, elektrolizery PEM wymagają elektrod pokrytych metalami szlachetnymi, głównie irydem i platyną, co znacząco podnosi koszty. Dodatkowo dostępność irydu jest ograniczona. Ponadto, konieczne jest wykorzystać wodę dejonizowaną o bardzo wysokiej czystości, aby uniknąć uszkodzeń membrany.

Elektrolizery alkaliczne (AWE – Alkaline Water Electrolyzer)

To najstarsza i najbardziej dojrzała technologia elektrolizy, wykorzystująca roztwór zasadowy (najczęściej KOH). Cechują się stosunkowo niskimi kosztami inwestycyjnymi i operacyjnymi – brak konieczności użycia metali szlachetnych i tańsza konstrukcja.

AWE to sprawdzone rozwiązanie stosowane od kilkudziesięciu lat w przemyśle chemicznym. Cechuje się wolniejszą reakcją na zmiany mocy oraz gorszą pracą przy zmiennym obciążeniu co powoduje, że elektrolizery alkaliczne są mniej kompatybilne z OZE. Ponadto, konieczne jest dodatkowe oczyszczanie wodoru, zwłaszcza przy zmiennych warunkach pracy.

Elektrolizery stałotlenkowe (SOE – Solid Oxide Electrolyzer)

Elektrolizery pracujące w wysokich temperaturach (600–850°C), w których elektrolitem jest ceramiczna membrana przewodząca tlenki. Najwyższa efektywność energetyczna spośród technologii elektrolizy — dzięki pracy w wysokiej temperaturze część energii elektrycznej zastępowana jest ciepłem. Możliwość wspólnego wykorzystania pary i CO_2 umożliwia współelektrolizę (ko-elektrolizę, co-electrolysis) i produkcję gazu syntezowego (syngazu), który może służyć do dalszej syntezy paliw. Zastosowanie ciepła odpadowego jest szczególnie konkurencyjne w integracji z przemysłem ciężkim, gdzie dostępne są duże ilości ciepła odpadowego. Technologia wciąż rozwijana obecnie głównie w fazie demonstratorów i pierwszych instalacji pilotażowych. Wyzwaniem pozostaje trwałość materiałów i koszty.

Reforming gazowy

Reforming metanu parą wodną (SMR – Steam Methane Reforming) jest obecnie najczęściej stosowaną metodą przemysłowej produkcji wodoru. SMR polega na reakcji metanu z parą wodną w wysokiej temperaturze (700–1000°C) i pod ciśnieniem, w obecności katalizatora. Proces składa się z dwóch głównych etapów: reformingu i konwersji wodnego gazu (water–gas shift), gdzie powstaje dodatkowy wodór.

- „Szary wodór” – powstaje, gdy CO_2 emitowany w procesie nie jest wychwytywany; jest to obecnie najbardziej emisyjna forma produkcji wodoru.
- „Niebieski wodór” – SMR z wychwytywaniem i składowaniem CO_2 (CCS). Redukcja emisji zależy od sprawności systemu wychwytywania (zwykle 60–95%).

Możliwe źródła węglowodorów – oprócz gazu ziemnego można stosować biometan, co obniża ślad węglowy procesu.

Piroliza

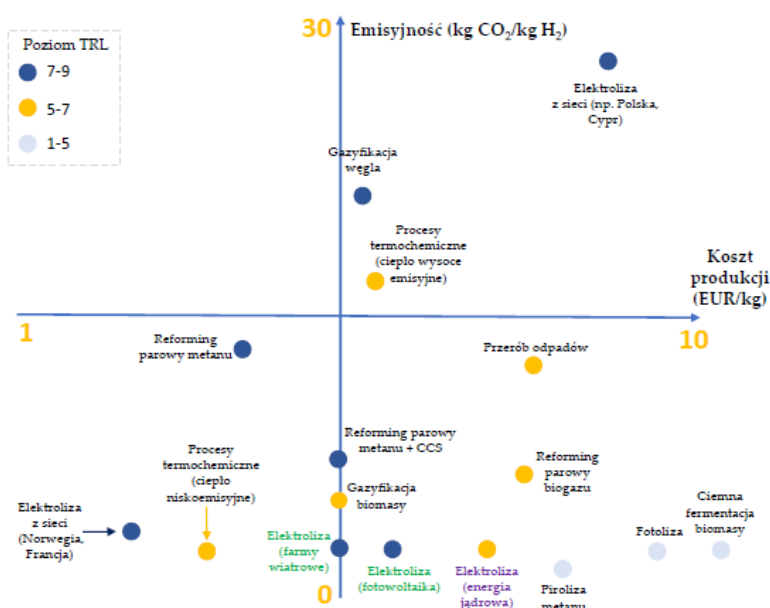
Piroliza metanu polega na jego termicznym rozkładzie na wodór oraz stały węgiel bez udziału tlenu. Proces odbywa się w temperaturach 900–1200°C, a ciepło może pochodzić z elektrycznego nagrzewania plazmowego, reaktorów mikrofalowych lub ciepła wysokotemperaturowego. Kluczowa zaleta to brak emisji CO₂ z procesów chemicznych, powstający węgiel jest produktem stałym, łatwym do składowania lub komercjalizacji. Możliwe wykorzystanie powstającego węgla jako surowca np. do produkcji materiałów kompozytowych, grafitu czy nawozów. Wyzwaniami są trwałość reaktorów, zarządzanie akumulacją węgla i potrzeba czystych strumieni metanu.

Technologie rozwijające się

W fazie badań i pilotażu pozostają technologie alternatywne, które mogą w przyszłości znacząco zmniejszyć koszty produkcji wodoru z OZE.

- Metody fotokatalityczne - Wykorzystują półprzewodniki zdolne do aktywacji przez światło słoneczne i rozkładu wody. Dążenie do integracji z tanimi, obfitymi materiałami fotoaktywowanymi (np. TiO₂ modyfikowany).
- Metody biologiczne - Oparte na mikroorganizmach (np. algach, bakteriach purpurowych). Mogą wykorzystywać odpady organiczne oraz biomasę, co potencjalnie obniża koszty procesu.
- Systemy hybrydowe - łączą różne technologie, np. fotoelektrochemiczne ogniwa wodorowe czy elektrolizę wspomaganą ciepłem geotermalnym. Celem jest uzyskanie jak najwyższej efektywności konwersji energii słonecznej w wodór.

Poniżej znajduje się porównanie technologii pod względem kosztów oraz emisyjności CO₂. Dane z raportu: "Łańcuchu wartości gospodarki wodorowej w Polsce". Link: <https://ien.com.pl/baza-wiedzy/materialy-informacyjne/lancuch-wartosci-gospodarki-wodorowej-w-polsce>

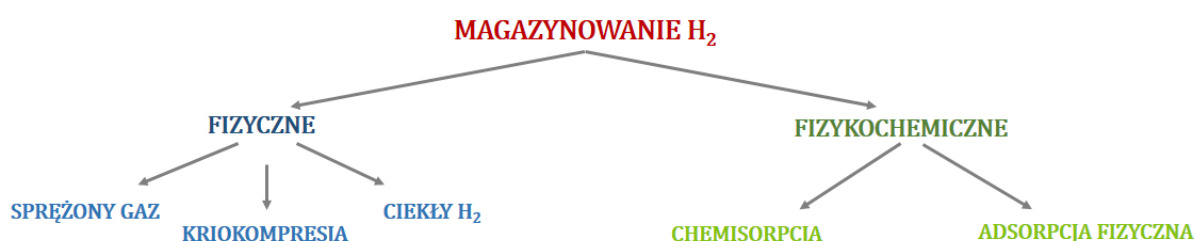


Rysunek 5 Porównanie technologii produkcji wodoru

3.2. Magazynowanie wodoru

Efektywne magazynowanie jest kluczowe dla zapewnienia ciągłości dostaw i stabilności systemu energetycznego. Istnieją trzy główne sposoby:

- **Sprężony wodór** – magazynowany w butlach lub zbiornikach ciśnieniowych przy wysokim ciśnieniu (do 700 barów). Najbardziej rozpowszechniony w transporcie i stacjach tankowania.
- **Ciekły wodór** – magazynowanie w formie skroplonej w bardzo niskiej temperaturze (-253°C). Pozwala na większą gęstość energii, ale wymaga dużych nakładów energetycznych na schłodzenie i izolację.
- **Magazynowanie w materiałach** – wodór wiązany chemicznie lub fizycznie w materiałach takich jak LOHC (ang. *Liquid Organic Hydrogen Carriers*) lub wodorki metali. Rozwiązanie bezpieczne i wydajne pod względem przestrzennym, ale wymagające infrastruktury do uwalniania wodoru.



Rysunek 6 Metody magazynowania wodoru

3.3. Transport

Transport wodoru może odbywać się na kilka sposobów, a wybór technologii zależy przede wszystkim od skali przesyłu, odległości oraz istniejącej infrastruktury. Każda metoda ma nieco inne wymagania techniczne, koszty oraz ograniczenia operacyjne.

Transport rurociągowy

Pierwszą i najbardziej perspektywiczną metodą pozostaje transport rurociągowy. Rurociągi projektowane do wodoru, zarówno nowe, jak i te adaptowane z sieci gazu ziemnego, pozwalają na przesył dużych ilości gazu w sposób ciągły i stabilny. Ich wdrażanie wymaga stosowania materiałów odpornych na zjawisko kruchości wodorowej oraz rozbudowanych systemów monitoringu, obejmujących m.in. czujniki wycieków, telemetrię i urządzenia kompresyjne. Dzięki tym rozwiązaniom rurociągi stają się kluczowym elementem przyszłej europejskiej infrastruktury wodorowej, zdolnej do obsługi rosnącego zapotrzebowania przemysłu, energetyki i transportu.

Transport drogowy

Kolejnym rozwiązaniem jest transport drogowy, który zapewnia największą elastyczność, zwłaszcza na wczesnych etapach rozwoju rynku. Wodór przewozi się w formie sprężonej lub skroplonej, w zależności od wymaganej gęstości energetycznej i wymagań logistycznych. Transport sprężonego wodoru (CGH_2) odbywa się przy ciśnieniach rzędu kilkuset bar, natomiast wodór skroplony (LH_2) wymaga kriogenicznych zbiorników utrzymujących temperaturę -253°C . Chociaż metoda ta jest droższa i ograniczona zasięgiem, pozostaje niezastąpiona w lokalnej dystrybucji do stacji tankowania, laboratoriów i przemysłowych odbiorców.

Blendy z gazem ziemnym

Trzecią możliwością jest mieszanie wodoru z gazem ziemnym w istniejącej sieci gazowej. Dodatek wodoru w niewielkich stężeniach – typowo 5–20% objętości – umożliwia szybką, częściową dekarbonizację systemu gazowego bez konieczności natychmiastowej rozbudowy nowej infrastruktury. Rozwiązanie to wymaga jednak analizy kompatybilności materiałów rurociągów oraz sprawdzenia bezpieczeństwa urządzeń końcowych, ponieważ wodór wpływa na wartość opałową mieszanki i sposób spalania. Mimo tych wyzwań blending pozostaje strategicznym narzędziem przejściowym, które może być stosowane równolegle z rozbudową dedykowanych sieci wodorowych.

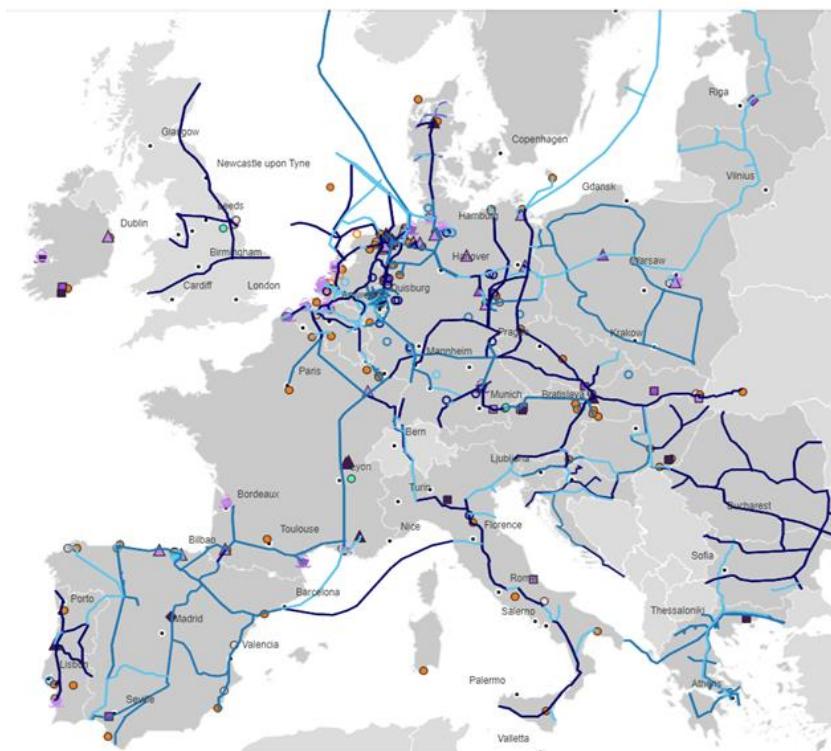
Przyszła infrastruktura EU Hydrogen Backbone (EHB)

Europejski system przesyłu wodoru rozwija się obecnie w oparciu o długoterminową koncepcję European Hydrogen Backbone – wspólną inicjatywę operatorów sieci przesyłowych gazu z całej Europy. Celem jest stworzenie do roku 2040 zintegrowanej, paneuropejskiej sieci wodorowej, opartej w dużej mierze na rurociągach nowych lub przystosowanych. Zgodnie z najnowszymi analizami EHB, finalna infrastruktura powstaje na podstawie krajowych ocen istniejącej sieci, oczekiwanego rozwoju rynku gazu i wodoru oraz założeń klimatycznych UE do 2040 roku. Wskazuje się, że może ona znacząco przyspieszyć dekarbonizację, łącząc regiony o dużym potencjale produkcyjnym (np. Skandynawia, Hiszpania, kraje Beneluksu) z ośrodkami przemysłowymi o wysokim zapotrzebowaniu na wodór.

Aktualna mapa infrastruktury, publikowana jako Hydrogen Infrastructure Map, jest tworzona jako narzędzie dynamiczne i corocznie aktualizowane w oparciu o zgłoszenia projektów przesyłowych, magazynowych, portowych oraz terminalowych. Zawiera już kilkaset inicjatyw – od krajowych sieci przesyłowych, przez węzły magazynowe, aż po transgraniczne korytarze mające połączyć główne klastry produkcyjne wodoru z odbiorcami. Mapa ta odzwierciedla zarówno projekty budowane, jak i te przesunięte w czasie lub zaktualizowane w związku ze zmianami regulacyjnymi i finansowymi. Najnowsza wersja z końca 2025 roku uwzględnia m.in. zaktualizowaną strukturę niemieckiej sieci wodorowej, rozszerzone plany Hiszpanii oraz rozwinięte projekty w regionie nordycko-bałtyckim.

Wizja EHB zakłada powstanie sieci o długości kilkunastu tysięcy kilometrów, złożonej w około 70% z rurociągów konwertowanych z istniejących gazociągów, a w pozostałej części z nowych odcinków budowanych tam, gdzie brak infrastruktury. Zgodnie z danymi publikowanymi na portalu Hydrogen Infrastructure Map, w systemie ujęto już ponad 180 projektów przesyłowych, ponad 80 projektów magazynowych oraz ponad 30 terminali i portów wodorowych, co potwierdza skalę tworzącego się europejskiego rynku.

Interaktywna „Hydrogen Infrastructure Map” dostępna jest pod adresem: <https://www.h2inframap.eu>



Rysunek 7 Mapa infrastruktury wodorowej. Źródło: <https://www.gie.eu/press/update-of-the-joint-hydrogen-infrastructure-map-shows-progression-of-hydrogen-infrastructure-along-value-chain/>

3.4. Wykorzystanie wodoru

Wodór staje się jednym z najważniejszych filarów globalnej transformacji energetycznej. Jego rola rośnie równolegle w trzech strategicznych obszarach: energetyce, przemyśle i transporcie, gdzie zastępuje paliwa kopalne lub ogranicza ich zużycie. Połączenie właściwości wodoru jako czystego nośnika energii, magazynu energii i wszechstronnego surowca chemicznego czyni go jednym z kluczowych elementów przyszłej gospodarki zeroemisyjnej. Znaczący wzrost liczby inwestycji potwierdza, że wodór nie jest już technologią przyszłości, lecz realnym narzędziem wspierającym dekarbonizację.

Energetyka — wodór jako nośnik i magazyn energii

W energetyce wodór jest wykorzystywany zarówno jako paliwo do wytwarzania energii elektrycznej i ciepła, jak i jako medium umożliwiające magazynowanie nadwyżek energii z OZE. Turbiny wodorowe oraz ogniwa paliwowe umożliwiają stabilną pracę systemu elektroenergetycznego w warunkach zmienności produkcji energii odnawialnej. Dodatkowo wodór może być magazynowany sezonowo, co pozwala na wykorzystanie go w okresach niskiej generacji wiatrowej lub słonecznej.

Przykłady projektów:

- REFHYNE II (Kolonja, Niemcy) – instalacja elektrolizera PEM o mocy 100 MW w rafinerii Shell, produkująca zielony wodór zarówno do celów energetycznych, jak i procesowych. To

jeden z największych tego typu projektów w Europie, wspierający stabilizację sieci i rozwój technologii wodorowych. <https://www.refhyne.eu/refhyne-2/>

- H2HEAT (Wyspy Kanaryjskie, Hiszpania) – projekt wykorzystujący wodór w systemach kogeneracji wytwarzających energię elektryczną i ciepło dla obiektów szpitalnych. Łączy produkcję zielonego wodoru z pompami ciepła i układami H₂-CHP, stanowiąc wzorcowy przykład integracji wodoru z systemami ciepłowniczymi. <https://h2-heat.eu/>
- FreeHydroCells (Irlandia) – projekt rozwijający technologie fotokatalityczne, które umożliwiają bezpośrednie przetwarzanie energii słonecznej na wodór poprzez fotoelektrochemiczne rozszczepienie wody. To kierunek rozwoju energetyki bezpośrednio powiązany z OZE. <https://freehydrocells.eu/>

Przemysł — wodór jako surowiec i reduktor procesowy

Przemysł ciężki jest jednym z najtrudniejszych sektorów do dekarbonizacji, a wodór pełni w nim kluczową rolę. Może zastępować gaz ziemny i węgiel w procesach wysokotemperaturowych oraz działać jako reduktor np. w produkcji stali metodą DRI (*Direct Reduced Iron*). W sektorach chemicznych wodór jest niezbędny do syntezy amoniaku, metanolu i wielu innych związków, a jego zielona wersja pozwala radykalnie zmniejszyć ślad węglowy.

Przykłady projektów przemysłowych:

- REFHYNE II (Kolonja, Niemcy) – projekt pełni również funkcję przemysłową, dostarczając zielony wodór do procesów rafineryjnych, co pozwala redukować emisje w sektorze petrochemicznym.
- Globalny pipeline 500 projektów przemysłowych Hydrogen Council – zgodnie z *Global Hydrogen Compass 2025*, na świecie realizowanych jest ponad 500 projektów w sektorach chemicznym, rafineryjnym, stalowym i energetycznym, obejmujących łączną wartość inwestycji ponad 110 mld USD. Zdecydowana większość z nich dotyczy zastosowań przemysłowych, takich jak produkcja amoniaku czy paliw syntetycznych.
- Projekty PCI/PMI UE (BarMar, Mosahyc, ErasmoPower2X) – Komisja Europejska zatwierdziła ponad 100 inwestycji infrastrukturalnych, z czego wiele dotyczy przemysłu, m.in. korytarz BarMar łączący Hiszpanię z Francją w celu przesyłu wodoru do przemysłu oraz Mosahyc, wspierający dostawy dla sektora chemicznego i hutniczego w Niemczech i Francji. https://energy.ec.europa.eu/document/download/f3358e26-6bec-444b-8024-05385c28d00c_en?filename=delegated-regulation-second-union-list-projects-common-and-mutual-interest_Annex_en.PDF

Transport — wodór jako paliwo dla pojazdów ciężkich, kolei, statków i lotnictwa

W transporcie wodór zyskuje przewagę szczególnie tam, gdzie baterie nie są w stanie zapewnić wystarczającej gęstości energii ani czasu pracy. Dotyczy to transportu ciężarowego, autobusowego, kolejowego oraz w coraz większym stopniu morskiego i lotniczego. Wodór umożliwia szybkie tankowanie oraz zapewnia zasięg porównywalny z paliwami konwencjonalnymi.

Przykłady projektów transportowych:

- Europe Gas Tracker 2025 – infrastruktura 44,6 GW pod wodór – według danych Global Energy Monitor Europa realizuje projekty obejmujące 44,6 GW mocy elektrowni przystosowanych do

spalania wodoru, które mają zasilać transport wodorowy, m.in. ciężarowy i kolejowy, poprzez dostarczanie paliwa i stabilizację systemu. <https://globalenergymonitor.org/report/europe-gas-tracker-2025-hydrogen-edition/>

- 100 europejskich projektów wodorowych z obszaru transportu – KE zatwierdziła ponad 100 projektów, z których część obejmuje budowę stacji tankowania, sieci przesyłowych i terminali wspierających logistykę wodoru dla transportu ciężkiego i morskiego.
- Transgraniczne korytarze transportowe (Belgia–UK, Hiszpania–Francja, Francja–Niemcy) – projekty PCI/PMI obejmują budowę nowych rurociągów i terminali zapewniających dostęp do wodoru dla flot ciężarowych, pojazdów kolejowych oraz żeglugi, tworząc pierwsze europejskie „autostrady wodorowe”.

3.5. Kryteria wyboru technologii wodorowej

Zakres warsztatu:

„Planowanie projektu wodorowego – technologie, rynek, ekonomia, CAPEX/OPEX”

Wybór odpowiedniej technologii wodorowej jest jednym z kluczowych etapów planowania projektu. Decyzja ta wpływa bezpośrednio na koszty inwestycji, efektywność operacyjną, bezpieczeństwo, a także możliwość skalowania instalacji w przyszłości. Dobór technologii powinien być oparty na analizie parametrów technicznych, ekonomicznych i środowiskowych, a także na ocenie dojrzałości rynkowej poszczególnych rozwiązań.

Poniżej przedstawiono najważniejsze kryteria, które należy uwzględnić:

1) Skalowalność i wydajność energetyczna

Technologie wodorowe różnią się poziomem sprawności oraz możliwościami zwiększania skali produkcji. W praktyce oznacza to konieczność odpowiedzi na pytania:

- czy technologia może być łatwo rozbudowywana wraz z rosnącym zapotrzebowaniem?
- jaki jest poziom strat energetycznych w procesie wytwarzania lub konwersji wodoru?
- czy sprawność pozostaje stabilna przy różnym obciążeniu instalacji?

Dla przykładu: elektrolizery alkaliczne dobrze sprawdzają się przy pracy ciągłej, natomiast PEM lepiej reagują na zmienne źródła energii (np. OZE). Technologie wysokotemperaturowe (SOEC) oferują najwyższą sprawność, lecz wymagają zapewnienia infrastruktury cieplnej.

2) Koszty inwestycyjne i eksploatacyjne (CAPEX/OPEX)

Ekonomia projektu powinna uwzględniać zarówno koszt zakupu technologii, jak i całkowity koszt użytkowania w perspektywie wieloletniej.

CAPEX obejmuje:

- koszt samego urządzenia (np. elektrolizera, reformera, magazynów),
- aparaturę pomocniczą (BoP),
- układy chłodzenia, zasilania, kompresji, bezpieczeństwa,
- instalacje towarzyszące (przylączy, fundamenty, systemy uzdatniania wody).

OPEX obejmuje:

- zużycie energii (najważniejszy element),
- serwis i wymianę elementów eksploatacyjnych,
- wodę, gaz, media techniczne,
- koszty certyfikacji, nadzoru i bezpieczeństwa.

Wybór technologii powinien być poprzedzony analizą LCOH (Levelized Cost of Hydrogen), która pozwala porównać realny koszt produkcji wodoru w różnych scenariuszach operacyjnych.

3) Dostępność surowców i energii

Każda technologia wymaga stabilnego dostępu do określonych mediów:

- elektroliza: energia elektryczna i woda o odpowiednich parametrach,
- reforming gazu: gaz ziemny, biogaz lub e-metan,
- procesy wysokotemperaturowe: źródła ciepła technologicznego,
- magazynowanie i sprężanie: energia elektryczna, infrastruktura ciśnieniowa.

Analiza dostępności i kosztów surowców powinna zostać przeprowadzona na etapie koncepcji, ponieważ nawet najlepsza technologia nie będzie efektywna w lokalizacji o ograniczonych zasobach lub niewystarczających mocach przyłączeniowych.

4) Bezpieczeństwo i certyfikacja

Technologie wodorowe muszą spełniać rygorystyczne wymagania dotyczące:

- kompatybilności materiałowej,
- odporności na ciśnienie i temperaturę,
- systemów detekcji i wentylacji,
- norm europejskich i krajowych (np. ISO, EN, PN).

Przy wyborze technologii należy upewnić się, że dostawca zapewnia zgodność z obowiązującymi przepisami, a także oferuje pełną dokumentację i możliwość audytów bezpieczeństwa.

5) Doświadczenie rynkowe i poziom dojrzałości technologii (TRL)

Ostatnim, lecz niezwykle ważnym aspektem jest ocena stopnia komercyjności:

- technologie dojrzałe (wysoki TRL) są bezpieczniejsze inwestycyjnie i pozwalają unikać kosztownych przestojów,
- technologie rozwijane mogą oferować wyższą sprawność lub niższe koszty w przyszłości, ale wymagają pilotażu, większego nadzoru oraz tolerancji na ryzyko technologiczne.

Kluczowe jest porównanie doświadczeń dostawców — liczby zrealizowanych wdrożeń, referencji instalacji w podobnej wielkości oraz zakresu wsparcia serwisowego.

Wybór technologii powinien być wynikiem kompleksowej analizy technicznej, ekonomicznej i operacyjnej. Optymalne rozwiązanie to takie, które nie tylko odpowiada obecnym potrzebom inwestora, ale także umożliwia rozwój instalacji w przyszłości, zapewnia bezpieczeństwo oraz minimalizuje koszty operacyjne w całym cyklu życia projektu.

Poniżej znajduje się szablon do przygotowania się do oceny, czy dana technologia spełnia Państwa oczekiwania.

Tabela 2 Szablon oceny technologii

Kryterium oceny	Znaczenie / opis	Pytania kontrolne	Ocena (1–5)
Skalowalność			
Sprawność energetyczna			
Dojrzałość technologii (TRL)			
CAPEX			
OPEX			
Dostępność surowców i energii			
Bezpieczeństwo			
Elastyczność pracy			
Wymagania infrastrukturalne			
Serwis i wsparcie techniczne			
Ślad środowiskowy			
Ryzyko technologiczne			
Dopasowanie do lokalizacji			
Dopasowanie do celów projektu			

IV. Metodyka realizacji projektów wodorowych – planowanie, wybór technologii i analizy rynkowe

Zakres warsztatu:

*Kluczowe technologie wodorowe – przegląd, porównanie, praktyczne zastosowania
Partnerstwa, modele biznesowe i rozwój krajowych podmiotów w łańcuchu wartości wodoru*

Metodyczne podejście do realizacji projektów wodorowych jest kluczowe zarówno dla przedsiębiorstw, jak i jednostek samorządu terytorialnego, instytucji badawczych oraz partnerstw międzynarodowych. Każdy projekt wodorowy charakteryzuje się wysokim poziomem złożoności, gdyż obejmuje aspekty energetyczne, środowiskowe, infrastrukturalne, prawne i rynkowe, które muszą być połączone w spójną całość, dlatego skuteczne planowanie jest fundamentem powodzenia inwestycji.

4.1. Fazy cyklu życia projektu wodorowego

Realizacja projektu wodorowego jest procesem wieloetapowym, wymagającym skoordynowanych działań technicznych, finansowych, organizacyjnych i regulacyjnych. Charakter i zakres poszczególnych etapów różni się w zależności od skali projektu oraz typu inwestora – od MŚP, przez duże przedsiębiorstwa, po jednostki samorządu terytorialnego. Dobre zaplanowanie działań już na etapie koncepcyjnym pozwala istotnie skrócić czas realizacji projektu, ograniczyć ryzyka inwestycyjne oraz zwiększyć szanse na pozyskanie finansowania.



Rysunek 8 Fazy cyklu życia projektu

1. Faza koncepcyjna

Cel etapu: Identyfikacja pomysłu projektowego oraz określenie jego zasadności biznesowej, społecznej i środowiskowej.

Zakres działań:

- identyfikacja potrzeb energetycznych, transportowych lub przemysłowych,
- określenie roli wodoru (produkcja, magazynowanie, dystrybucja, wykorzystanie),
- wstępne dopasowanie projektu do strategii organizacji lub polityk lokalnych,
- identyfikacja potencjalnych partnerów (technologicznych, finansowych, samorządowych),
- analiza dostępności OZE, infrastruktury i odbiorców wodoru.

Perspektywa interesariuszy

- MŚP: optymalizacja kosztów energii, innowacyjność, przewaga konkurencyjna.
- Duże przedsiębiorstwa: dekarbonizacja procesów, bezpieczeństwo energetyczne, ESG.
- JST: rozwój lokalny, transport zeroemisyjny, poprawa jakości powietrza.

Checklista – faza koncepcyjna

- ☐ Zdefiniowany problem lub potrzeba
- ☐ Wstępny pomysł technologiczny
- ☐ Identyfikacja interesariuszy
- ☐ Spójność z dokumentami strategicznymi (np. strategia firmy, polityka klimatyczna gminy)
- ☐ Wstępna analiza korzyści i ryzyk

2. Studium wykonalności

Cel etapu: Ocena realności i opłacalności projektu w różnych wymiarach.

Zakres analiz:

- techniczna – dobór technologii (elektrolizery, magazyny, ogniwa paliwowe),
- finansowa – CAPEX, OPEX, modele biznesowe, TCO,
- rynkowa – popyt na wodór, ceny, konkurencyjne nośniki energii,
- regulacyjna – zgodność z prawem krajowym i UE,
- środowiskowa – emisje, oddziaływanie na otoczenie, LCA.

Checklista – studium wykonalności

- ☐ Analiza techniczna wariantów
- ☐ Model finansowy (scenariusze)
- ☐ Analiza ryzyka
- ☐ Wstępne decyzje lokalizacyjne
- ☐ Ocena zgodności regulacyjnej

3. Projektowanie techniczne

Cel etapu: Przygotowanie kompletnej dokumentacji technicznej umożliwiającej realizację inwestycji.

Zakres działań:

- projekty budowlane i wykonawcze,
- integracja z istniejącą infrastrukturą,
- analizy bezpieczeństwa (ATEX, HAZOP),
- przygotowanie harmonogramu realizacji.

Checklista – projektowanie

- ☐ Projekty techniczne
- ☐ Analizy bezpieczeństwa
- ☐ Harmonogram
- ☐ Szacunek kosztów inwestycyjnych
- ☐ Gotowość do procedur administracyjnych

4. Faza aplikacyjna (finansowanie)

Cel etapu: Pozyskanie środków finansowych na realizację projektu.

Zakres działań:

- przygotowanie wniosków o dotacje (UE, krajowe),
- negocjacje z bankami i inwestorami,

- przygotowanie biznesplanu i dokumentów formalnych.

Checklista – finansowanie

- ☐ Wybrany model finansowania
- ☐ Kompletna dokumentacja aplikacyjna
- ☐ Zabezpieczenia finansowe
- ☐ Decyzje instytucji finansujących

5. Realizacja

Cel etapu: Fizyczne wdrożenie projektu.

Zakres działań:

- budowa i montaż instalacji,
- testy i rozruch technologiczny,
- odbiory techniczne i formalne.

Checklista – realizacja

- ☐ Umowy z wykonawcami
- ☐ Nadzór inwestorski
- ☐ Testy i certyfikacja
- ☐ Odbiory końcowe

6. Eksploatacja

Cel etapu: Efektywne i bezpieczne użytkowanie instalacji.

Zakres działań:

- bieżące zarządzanie operacyjne,
- monitoring wydajności i kosztów,
- utrzymanie i serwis,
- raportowanie (np. ESG).

Checklista – eksploatacja

- ☐ Procedury operacyjne
- ☐ System monitoringu
- ☐ Plan serwisowy
- ☐ Szkolenia personelu

7. Ewaluacja i rozwój

Cel etapu: Długoterminowa optymalizacja i rozwój projektu.

Zakres działań:

- analiza wyników technicznych i ekonomicznych,

- skalowanie mocy lub zakresu zastosowań,
- integracja nowych technologii.

Checklista – rozwój

- ☐ Analiza KPI
- ☐ Ocena możliwości rozbudowy
- ☐ Aktualizacja strategii
- ☐ Identyfikacja nowych źródeł finansowania

4.2. Analiza potencjału produkcji wodoru

Kluczowym elementem każdego projektu wodorowego jest rzetelna ocena możliwości produkcji wodoru w konkretnej lokalizacji. Decyzje podjęte na tym etapie mają bezpośredni wpływ na opłacalność projektu, jego skalowalność oraz zgodność z obowiązującymi regulacjami. Analiza powinna uwzględniać zarówno uwarunkowania lokalne, jak i planowany model biznesowy projektu.

Dostępność energii odnawialnej

Podstawowym czynnikiem determinującym potencjał produkcji wodoru jest dostęp do niskoemisyjnych źródeł energii elektrycznej, w szczególności odnawialnych źródeł energii (OZE).

Analiza powinna obejmować:

- lokalne warunki nasłonecznienia i wietrzności,
- dostępność terenów pod instalacje OZE,
- możliwość wykorzystania istniejących lub planowanych instalacji OZE,
- profil czasowy generacji energii (zmienność dobową i sezonową).

Możliwości przyłączenia do sieci energetycznej

Możliwość przyłączenia instalacji do sieci elektroenergetycznej jest istotna zarówno z punktu widzenia zasilania elektrolizerów, zarządzania nadwyżkami energii, czy zapewnieniu zasilania awaryjnego.

Analiza powinna uwzględniać:

- dostępność mocy przyłączeniowej,
- poziom napięcia sieci,
- koszty i czas realizacji przyłącza,
- ograniczenia wynikające z lokalnych warunków sieciowych.

Dla projektów większej skali brak odpowiedniej infrastruktury sieciowej może stanowić barierę realizacyjną, natomiast dla JST istotne jest także uwzględnienie wpływu inwestycji na lokalną stabilność sieci.

Dostępność wody i infrastruktury przemysłowej

Produkcja wodoru w procesie elektrolizy wymaga stałego dostępu do wody o odpowiedniej jakości oraz infrastruktury umożliwiającej jej uzdatnianie.

W ramach analizy należy ocenić:

- dostępność zasobów wodnych,
- konieczność uzdatniania wody (demineralizacja),
- możliwości odprowadzania lub zagospodarowania tlenu i ciepła odpadowego,
- dostępność terenów przemysłowych i istniejącej infrastruktury technicznej.

Integracja z lokalnym systemem energetycznym

Projekty wodorowe coraz częściej pełnią funkcję elementów integrujących różne sektory gospodarki (system coupling).

Analiza powinna obejmować:

- możliwość wykorzystania wodoru na potrzeby lokalnego przemysłu, transportu lub ciepłownictwa,
- potencjał magazynowania energii w postaci wodoru,
- integrację z systemami ciepłowniczymi (kogeneracja),
- elastyczność pracy elektrolizera w odpowiedzi na sygnały rynkowe.

Analiza kosztu energii elektrycznej

W przypadku projektów opartych na elektrolizerach koszt energii elektrycznej jest jednym z kluczowych czynników wpływających na ekonomikę produkcji wodoru i często odpowiada za większość kosztów operacyjnych.

Analiza powinna uwzględniać:

- ceny energii w różnych horyzontach czasowych,
- koszty energii z własnych źródeł OZE,
- opłaty sieciowe i systemowe,
- potencjalne mechanizmy wsparcia lub ulgi.

Modelowanie produkcji w ujęciu godzinowym

Projekty oparte na energii słonecznej lub wiatrowej wymagają szczegółowego modelowania produkcji energii w ujęciu godzinowym. Jest to niezbędne zarówno do oceny technicznej, jak i do spełnienia wymagań regulacyjnych dotyczących pochodzenia energii.

Modelowanie obejmuje:

- symulację generacji energii z OZE,
- dopasowanie profilu pracy elektrolizera,
- identyfikację okresów niedoboru i nadwyżek energii,
- ocenę potrzeby magazynowania energii lub wodoru.

Spełnienie definicji wodoru RFNBO (Renewable Fuels of Non-Biological Origin)

W przypadku projektów ukierunkowanych na produkcję wodoru odnawialnego, w szczególności w kontekście dostępu do mechanizmów wsparcia, certyfikacji oraz wykorzystania wodoru w sektorach objętych regulacjami unijnymi, kluczowe znaczenie ma spełnienie definicji wodoru typu RFNBO.

Wymogi te mają bezpośredni wpływ na sposób projektowania instalacji, dobór źródeł energii oraz model operacyjny elektrolizera. Definicja wodoru RFNBO (Renewable Fuels of Non-Biological Origin) wynika z unijnej Dyrektywy RED II, która zalicza wodór odnawialny do paliw niskoemisyjnych i ustanawia ogólne ramy dla jego produkcji. Szczegółowe kryteria spełnienia tej definicji zostały określone w aktach delegowanych Komisji Europejskiej i obejmują zasadę dodatkowości, korelacji czasowej oraz geograficznej. Dyrektywa RED III wprowadza z kolei obowiązek zwiększenia udziału wodoru odnawialnego w transporcie i sektorach przemysłowych oraz wymogi minimalnej redukcji emisji gazów cieplarnianych dla kwalifikowanych paliw. Spełnienie wymogów RFNBO jest niezbędne do uzyskania certyfikatów i wsparcia finansowego w UE. W praktyce oznacza to konieczność analizy źródeł OZE, harmonogramów pracy elektrolizera, lokalizacji instalacji oraz systemów monitoringu i raportowania.

Zasada odnawialnego pochodzenia energii

Produkcja wodoru kwalifikowanego jako RFNBO musi być oparta na energii elektrycznej pochodzącej z odnawialnych źródeł energii. W praktyce oznacza to konieczność wykazania, że energia zasilająca elektrolizer pochodzi z instalacji OZE spełniających określone kryteria formalne.

Analiza lokalizacji powinna uwzględniać:

- możliwość powiązania elektrolizera z dedykowanym źródłem OZE (instalacja bezpośrednia),
- dostępność umów PPA (Power Purchase Agreement - długoterminowy kontrakt) z wytwórcami energii odnawialnej,
- wiek i status instalacji OZE w kontekście wymogów regulacyjnych,
- możliwość zapewnienia pełnej identyfikowalności energii elektrycznej.

Zasada dodatkowości (additionality)

Jednym z kluczowych wymogów definicji RFNBO jest zasada dodatkowości, zgodnie z którą produkcja wodoru nie powinna prowadzić do zwiększenia zapotrzebowania na energię z istniejących źródeł konwencjonalnych.

W kontekście lokalizacji oznacza to konieczność:

- zapewnienia, że źródła OZE zasilające elektrolizer zostały uruchomione lub zakontraktowane specjalnie na potrzeby produkcji wodoru,
- analizy harmonogramów uruchomienia instalacji OZE i elektrolizera,
- uwzględnienia okresów przejściowych dopuszczonych regulacyjnie.

Zasada korelacji czasowej

Spełnienie definicji RFNBO wymaga wykazania korelacji czasowej pomiędzy produkcją energii odnawialnej a pracą elektrolizera. Oznacza to, że wodór powinien być produkowany w okresach, w których faktycznie dostępna jest energia z OZE.

W praktyce wymaga to:

- modelowania produkcji i zużycia energii w ujęciu godzinowym,
- dostosowania pracy elektrolizera do profilu generacji OZE,
- wdrożenia systemów monitoringu i raportowania danych.

Korelacja czasowa ma bezpośredni wpływ na dobór mocy elektrolizera oraz strategię magazynowania energii i wodoru.

Zasada korelacji geograficznej

Produkcja wodoru RFNBO musi być powiązana z energią odnawialną wytwarzaną w tym samym obszarze rynkowym lub strefie cenowej.

W analizie lokalizacji należy uwzględnić:

- przynależność do tej samej strefy rynkowej energii,
- ograniczenia wynikające z przepustowości sieci,
- możliwość fizycznej lub kontraktowej integracji źródeł OZE i elektrolizera.

Dla projektów transgranicznych kryterium to może istotnie ograniczać wybór lokalizacji.

Spełnienie definicji RFNBO ma istotne konsekwencje dla doboru lokalizacji elektrolizera, struktury kosztów energii elektrycznej, stopnia wykorzystania mocy elektrolizera czy możliwości uzyskania certyfikacji i wsparcia finansowego. Choć spełnienie wymogów RFNBO zwiększa złożoność projektu, jednocześnie podnosi jego wartość rynkową i umożliwia wykorzystanie wodoru w sektorach regulowanych, takich jak przemysł ciężki czy transport. Na etapie oceny lokalizacji konieczne jest uwzględnienie wymogów definicji RFNBO, nawet jeśli projekt początkowo nie zakłada certyfikacji. Wczesne dostosowanie założeń technicznych i operacyjnych pozwala uniknąć kosztownych zmian na późniejszych etapach realizacji oraz zwiększa elastyczność rozwoju projektu w przyszłości.

Badania dot. potencjału OZE oraz technologii wodorowych można znaleźć:

- <https://www.gaz-system.pl/pl/rynek-wodoru/aktualnosci/19-12-2024-gaz-system-publicuje-wyniki-badania-wodorowa-mapa-polski.html>
- <https://www.ure.gov.pl/pl/oze/potencjal-krajowy-oze>
- <https://www.orlen.pl/content/dam/internet/orlen/pl/pl/zrownowazony-rozwoj/projekty-transformacyjne/wodor/Rynek-wodoru-w-Polsce-i-krajach-ba%C5%82tyckich-prognoza-do-2040.pdf>
- <https://renewstart.eu/reports-downloads/>
- https://solarenergyexpo.com/wp-content/uploads/2026/01/Raport-branzowy-OZE-2025-%E2%80%93-Polska-Europa-Swiat_compressed.pdf

Tabela 3 Kryteria oceny lokalizacji projektu wodorowego

Kryterium	MŚP	Duże przedsiębiorstwa / przemysł	JST
Dostępność energii odnawialnej	Możliwość budowy własnej instalacji PV lub umowy PPA	Dostęp do dużych mocy OZE, projekty hybrydowe (PV + wiatr)	Potencjał OZE na terenie gminy/regionu, zgodność z planami rozwoju
Profil produkcji energii	Stabilność i przewidywalność produkcji	Optymalizacja profilu godzinowego, redukcja zmienności	Dopasowanie do lokalnego zapotrzebowania energetycznego
Koszt energii elektrycznej	Niski i przewidywalny koszt jednostkowy	Długoterminowa konkurencyjność kosztowa	Wpływ na koszty energii dla odbiorców lokalnych

Możliwości przyłączenia do sieci	Prosty i szybki dostęp do sieci nN/SN	Wysoka moc przyłączeniowa, elastyczność sieci	Wpływ na lokalną infrastrukturę elektroenergetyczną
Elastyczność pracy elektrolizera	Ograniczona, preferowana praca stabilna	Wysoka elastyczność, reagowanie na ceny energii	Stabilność systemu i bezpieczeństwo dostaw
Dostępność wody	Dostęp do sieci wodociągowej	Zabezpieczenie dużych wolumenów i systemy uzdatniania	Zrównoważone wykorzystanie zasobów wodnych
Infrastruktura przemysłowa	Możliwość wykorzystania istniejących obiektów	Rozbudowana infrastruktura techniczna i logistyczna	Dostępność terenów inwestycyjnych
Bliskość odbiorców wodoru	Własne zużycie lub lokalni odbiorcy	Integracja z procesami przemysłowymi	Transport publiczny, ciepłownictwo, usługi komunalne
Magazynowanie wodoru	Proste rozwiązania (krótkoterminowe)	Magazyny średnio- i długoterminowe	Element stabilizacji lokalnego systemu
Integracja sektorowa	Ograniczona (energia + produkcja)	Pełne system coupling (energia, ciepło, transport)	Integracja energetyki, transportu i usług publicznych
Uwarunkowania regulacyjne	Prostota procedur, niskie bariery administracyjne	Zgodność z regulacjami krajowymi i UE	Zgodność z planami zagospodarowania i politykami publicznymi
Akceptacja społeczna	Ograniczone znaczenie	Zarządzanie ryzykiem społecznym	Kluczowy element decyzji lokalizacyjnych
Dostęp finansowania	Dotacje, leasing, wsparcie publiczne	Finansowanie komercyjne i hybrydowe	Fundusze UE, środki krajowe, PPP
Skalowalność projektu	Możliwość stopniowej rozbudowy	Duży potencjał rozwoju i replikacji	Rozwój regionalny i długofalowe planowanie
Wpływ środowiskowy	Minimalizacja kosztów środowiskowych	Pełne analizy LCA i raportowanie ESG	Poprawa jakości środowiska lokalnego

4.3. Analiza „state-of-the-art” i SWOT wybranej technologii

Analiza state of the art jest procesem, który pozwala nie tylko wybrać właściwą technologię, ale też ocenić przyszłość projektu. Zrozumienie aktualnych trendów i kierunków rozwoju technologii pozwala uniknąć ryzyk inwestycyjnych, dobrać rozwiązania adekwatne do warunków lokalnych i zapewnić możliwość skalowania instalacji w przyszłości.

Pierwszym krokiem jest ocena czy opracowane przez nas rozwiązanie nie jest przedmiotem ochrony patentowej w kraju i na świecie. Weryfikujemy domenę publiczną i wypunktowujemy wartości dodane oraz innowacyjne elementy naszego przedsięwzięcia. Następnie w przypadku produkcji niskoemisyjnego wodoru weryfikujemy jakie źródła energii są dostępne i jakie będą ich parametry w przyszłości. Nie chodzi wyłącznie o moc przyłączeniową, lecz także o profil pracy energii, jej ceny, stabilność dostaw oraz możliwość nadążania technologii za zmianami obciążenia.

Technologie elektrolizerów różnią się elastycznością pracy:

- AWL zwykle wymaga pracy w dłuższych cyklach i stabilności,
- PEM lepiej adaptuje się do pracy falowej i szybkich zmian mocy,
- SOEC osiąga najwyższą sprawność, lecz jest najbardziej wymagający operacyjnie.

Ocena ta pozwala naturalnie ograniczyć wybór do technologii realnie dopasowanych do warunków energetycznych projektu.

Ciepło odpadowe może stać się kluczowym zasobem, szczególnie w projektach przemysłowych. Jego dostępność otwiera drogę do technologii wysokotemperaturowych (SOEC), które wykorzystują energię cieplną do zwiększenia sprawności procesu.

Jeśli ciepła brak lub jego ilość jest niewystarczająca, technologia SOEC bywa ekonomicznie i operacyjnie niezasadniona. W takich przypadkach bardziej odpowiednie są elektrolizery AWL lub PEM.

Nowoczesne projekty wodorowe coraz częściej są elementem zintegrowanego systemu energetycznego lub przemysłowego. Na etapie analizy należy ustalić:

- czy instalacja będzie zasilana energią z OZE czy sieci,
- czy wodór ma być surowcem procesowym (np. chemicznym), czy paliwem,
- czy możliwa jest integracja bilansowa z istniejącą infrastrukturą zakładu,
- czy dostępne są miejsca pod instalacje pomocnicze (uzdatnianie wody, chłodzenie, kompresja).

Integracja procesowa zwiększa efektywność projektu i zmniejsza koszty operacyjne.

Końcowe zastosowanie wpływa na normy dotyczące parametrów wodoru. Wodór dla transportu musi spełniać normę ISO 14687, natomiast wodór procesowy dla chemii lub hutnictwa może mieć odmienne wymagania dotyczące czystości, poziomu wilgoci, czy tolerancji na zanieczyszczenia.

Wybór technologii musi więc uwzględniać:

- jaki poziom czystości wodoru trzeba zapewnić,
- czy instalacja wymaga dodatkowych systemów oczyszczania,
- jakie są minimalne i maksymalne ciśnienia operacyjne.

Nie wszystkie technologie są odpowiednie dla każdego regionu. W niektórych miejscach priorytetem będzie transport ciężki, w innych przemysł chemiczny lub produkcja wodoru niskoemisyjnego na potrzeby energetyczne.

Dlatego analiza powinna obejmować:

- lokalnych odbiorców,
- rozwój regionalnych strategii energetycznych,
- plany samorządów i przedsiębiorstw,
- potencjał stworzenia lokalnego hubu wodorowego.

To pozwala dopasować technologię do realnych potrzeb rynku, a nie odwrotnie. Projekt wodorowy to nie tylko produkcja. Aby całość działała, konieczne jest zapewnienie:

- kompresji,
- magazynowania,
- dystrybucji,
- bezpieczeństwa i monitoringu,
- dostępności części zamiennych i serwisu.

Brak jednego z elementów potrafi zatrzymać cały projekt, dlatego wstępna analiza potencjału naszego projektu analizę:

- State of the Art,
- SWOT,
- dostępności i dojrzałości technologii wspomagających.

Tabela 4 Zalety i wady poszczególnych technologii produkcji wodoru

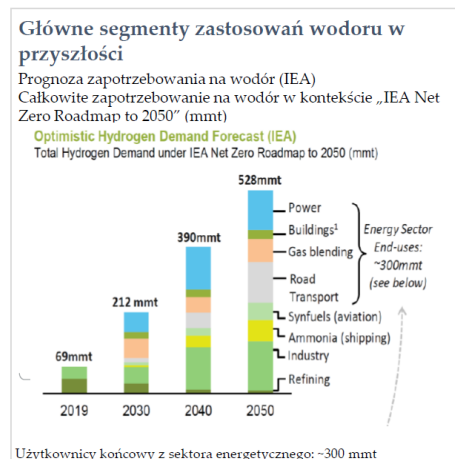
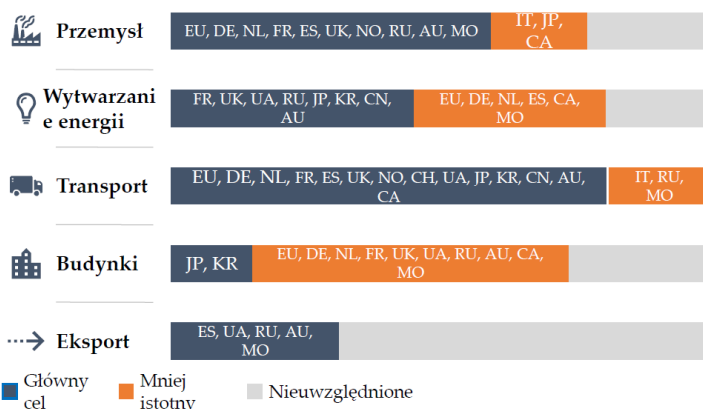
Technologia	Zalety	Wady
Elektroliza PEM	Szybka reakcja, wysoka czystość, elastyczność	Wysokie koszty, wymagane cenne materiały
Elektroliza AWE	Dojrzała, niższe koszty	Mniejsza elastyczność, wolniejsza reakcja
Elektroliza SOE	Wysoka efektywność, możliwość integracji z OZE	Technologia w fazie rozwoju, wysoki CAPEX
Reforming gazu (SMR)	Dojrzała technologia, duża skala produkcji	Emisje CO ₂ , wymaga CCS w przypadku niebieskiego wodoru
Piroliza	Redukcja emisji, wytwarzanie stałego węgla	Wciąż pilotażowa, wymaga wysokiej temperatury
Sprężony wodór	Łatwa dystrybucja i tankowanie	Wysokie ciśnienie, ograniczona gęstość energii
Ciekły wodór	Duża gęstość energii, magazynowanie długoterminowe	Energochłonny proces, trudna izolacja
LOHC / wodorki	Bezpieczne, gęstość magazynowania	Konieczność infrastruktury do odzysku wodoru

4.4. Analizy rynkowe i biznesowe

Istotnym elementem studium wykonalności jest zrozumienie otoczenia rynkowego oraz faktu, że **wodór i technologie wodorowe traktujemy jako kolejny system do integracji a nie jako nową branżę**. Analiza biznesowa musi uwzględniać jego, podstawowe wartości:

- Zeroemisyjne źródło energii,
- Narzędzie dekarbonizacji i spełnienia celów regulacyjnych,
- Magazynowanie energii i stabilizacja sieci,
- Bezpieczeństwo dostaw,
- Elastyczność zastosowań,
- Powszechne występowanie.

W analizie nie należy ograniczać się jedynie do lokalnego otoczenia. Wskazane jest uwzględnienie etapowości przedsięwzięcia i jego wartości w ujęciu globalnym tzn. wojewódzkim, krajowym czy też międzynarodowym. Przydatne w tym są krajowe lub międzynarodowe dokumenty ramowe, strategie rozwoju, które stanowią istotną informację na temat rozmiaru kreowanego rynku, jego struktury oraz priorytetów.



Źródło: International Hydrogen Strategies. A study commissioned by and in cooperation with the World Energy Council Germany, 2020

Rysunek 9 Zestawienie strategicznych celów i prognoz w obszarze technologii wodorowych

Analiza powinna obejmować:

1. Potencjalnych odbiorców wodoru (transport, przemysł, energetyka)

Studium przypadku dla segmentu przemysłowego - sektor nawozowy

Charakterystyka:

- Polska jest jednym z liderów w produkcji nawozów w UE (Grupa Azoty, Anwil).
- Obecnie wodór w tym sektorze pochodzi głównie z gazu ziemnego (szary wodór).
- Ogromne zużycie wodoru w procesie produkcji amoniaku (NH_3) – kluczowy komponent nawozów.

Potrzeby:

- Przejście na zielony wodór w celu redukcji emisji CO_2 .
- Stabilne dostawy wodoru w dużych ilościach (ciągły proces produkcji).
- Technologie integracji elektrolizerów z zakładami chemicznymi.

Potencjał:

- Największy obecnie odbiorca wodoru → szybki efekt skali.
- Możliwość tworzenia hubów wodorowych w rejonach zakładów nawozowych.
- Wysoka presja regulacyjna (ETS) → motywacja do inwestycji.

Studium przypadku dla segmentu transportowego - publiczny i prywatny

Charakterystyka:

- Autobusy miejskie, ciężarówki, kolej – segmenty trudne do elektryfikacji.
- Wymagają szybkiego tankowania i dużego zasięgu.

Potrzeby:

- Stacje tankowania wodoru (HRS – Hydrogen Refueling Stations).
- Dostępność wodoru w konkurencyjnej cenie.
- Modele usługowe (np. HaaS – Hydrogen as a Service).

Potencjał:

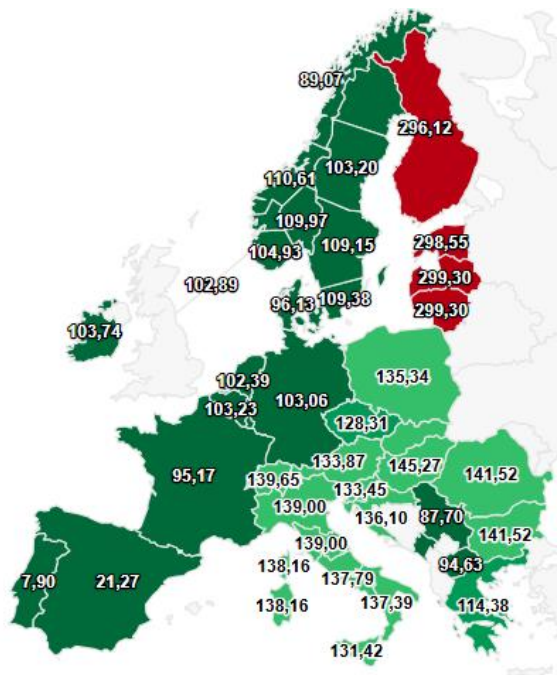
- Rozwój infrastruktury w miastach i na trasach tranzytowych.
- Możliwość integracji z flotami komunalnymi i prywatnymi.

2. Prognozy cen energii i wodoru

Na potrzeby analizy należy zebrać szereg prognoz cen energii i wodoru, celem wypracowania wariantu optymistycznego i pesymistycznego. Uwzględnienie wiarygodnych prognoz cenowych pozwala na ocenę ryzyk rynkowych i przygotowanie realistycznych scenariuszy finansowych. Dzięki temu możliwe jest podjęcie racjonalnej decyzji inwestycyjnej oraz właściwe zaplanowanie strategii długoterminowej. Należy **ZAWSZE** pamiętać, że nasze lokalne otoczenie stanowi integralną część większego ekosystemu, w którym regionalne czy krajowe uwarunkowania w postaci cen energii elektrycznej mogą stanowić wartość dodaną na opłacalność przedsięwzięcia w krótko- i długo-termowej perspektywie. Potwierdzeniem tego faktu jest poniższe, graficzne zestawienie cen energii w Europie (stan na 2025) wygenerowane w portalu: [Energy Charts Info](#). Analogiczne podejście stosuje się również dla prognoz cen sprzedaży wodoru, które powinny być przedmiotem umowy z odbiorcą naszego produktu. Uśredniony koszt produkcji wodoru w 20-letnim cyklu życia (LCOH - Levelized Cost of Hydrogen) należy powiązać z rodzajem wodoru jaki planujemy wytwarzać:

- Wodór RFNBO (poza siecią),
- Wodór RFNBO (z sieci),
- Wodór z energii jądrowej,
- Wodór BIO (elektroliza lub biometan),
- Wodór niskoemisyjny (gaz + CCS),
- Wodór szary.

Uśrednione koszty produkcji wodoru różnego pochodzenia w Europie można zweryfikować w portalu European Hydrogen Observatory: [Cost of hydrogen production | European Hydrogen Observatory](#).



Rysunek 10 Średnie ceny na rynku energii elektrycznej w tygodniu 6. 2026 r. (zima). Cena [EUR/MWh]. [Link](#)

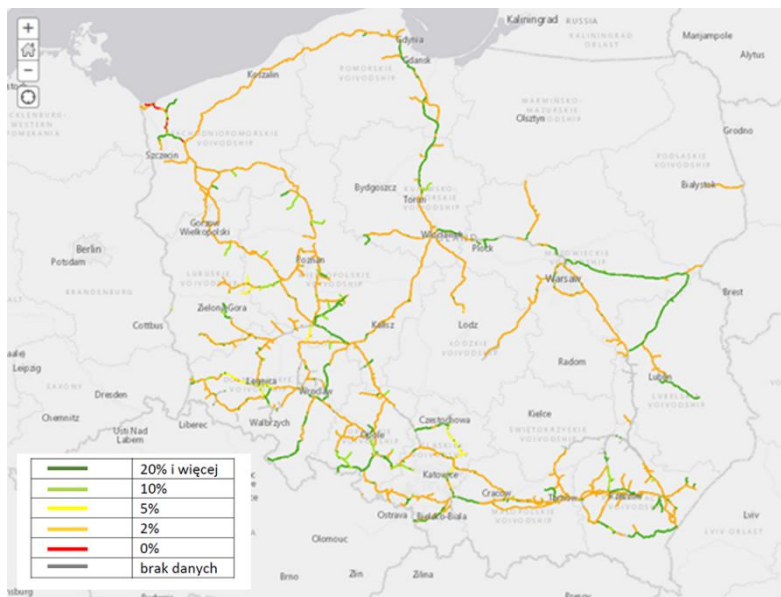
3. Ocenę istniejącej i planowanej infrastruktury

Ocena istniejącej i planowanej infrastruktury pod kątem produkcji i wykorzystania wodoru powinna obejmować zarówno aspekty techniczne samego procesu elektrolizy, jak i analizę możliwości jego skutecznego magazynowania i dystrybucji. Należy zweryfikować dostępność oraz moc podłączeń i sieci elektroenergetycznej, tak by instalacja H₂ mogła działać efektywnie przy zmiennym zapotrzebowaniu na energię. Istotne jest również sprawdzenie istniejących zasobów magazynowych oraz planów ich rozbudowy, uwzględniając technologie składowania (np. zbiorniki ciśnieniowe, ciekły wodór czy kawerny solne) dostosowane do lokalnych uwarunkowań. W kontekście geograficznym warto uwzględnić odległości do odbiorców końcowych, ukształtowanie terenu i dostęp do sieci drogowej lub kolejowej, co wpływa na koszty i logistykę transportu H₂. Ocena planowanej infrastruktury powinna także brać pod uwagę możliwości integracji z istniejącymi sieciami przesyłowymi gazu oraz potencjalne punkty dystrybucji paliwa wodorowego. Kompleksowa analiza tych elementów pozwala na realistyczne określenie wykonalności projektu i jego przyszłej opłacalności.

Rurociągi wodorowe są nieustannie praktykowane od wielu lat m.in. w przemyśle rafineryjnym. Instalację produkcyjną wodoru lokalizuje się zazwyczaj w niedużej odległości od odbiorcy lub włącza się go w istniejącą już sieć rurociągów, które obsługują innych klientów w regionie (TRL 9). W Niemczech do roku 2030 planowane jest oddanie kolejnych 1200 km sieci wodorowej (H₂ Startnetz).

Szacuje się, że dodatek wodoru do przesyłanego rurociągami gazu ziemnego w całej UE na poziomie 5% umożliwia zintegrowanie do 18,4 GW mocy elektrolizerów, co stanowi trzykrotność celu UE na rok 2024. Dodatek na poziomie 20%, pozwala zwiększyć moc elektrolizerów do 40–70,8 GW, gdzie 40 GW stanowi cel UE na rok 2030.

W Polsce powstał raport, który zawiera szczegółowe dane na temat dopuszczalnej zawartości wodoru w poszczególnych odcinkach krajowego systemu przesyłowego: *Raport Gospodarka Wodorowa* (Kupecki et al.), *Zespół ds. Rozwoju Przemysłu OZE i Korzyści dla Polskiej Gospodarki* (2020).



Rysunek 11 Dopuszczalny stopień mieszania wodoru z gazem ziemnym w poszczególnych odcinkach krajowego systemu przesyłowego: Raport Gospodarka Wodorowa (Kupecki et al.), Zespół ds. Rozwoju Przemysłu OZE i Korzyści dla Polskiej Gospodarki (2020).

Należy pamiętać, że technologia magazynowania wodoru jest wyraźnie podzielona na kilka części, spośród których wybieramy optymalne dla naszego przedsięwzięcia rozwiązania. Pierwsza grupa obejmuje duże magazyny, które służą jako magazyny sezonowe, które uwzględniają wyczerpane złoża

gazu; druga to mniejsze magazyny, które służą jako magazyny miesięczne, które obejmują kawerny solne i zbiorniki amoniaku; a trzecia to mniejsze magazyny, które służą jako magazyny dzienne i tygodniowe. Technologią pośrednią jest magazynowanie w kawernach skalnych, które mają średnią pojemność, ale mogą działać przez miesiące.

Warto zaznaczyć, że magazynowanie sprężonego wodoru w zbiornikach ciśnieniowych i kawernach solnych ma najniższe jednostkowe, uśrednione koszty magazynowania. Natomiast potencjał magazynowania formacji geologicznych zależy od wielkości formacji i długości cyklu magazynowania. Wyczerpane złoża gazu mają największy potencjał magazynowania, ale obecnie jest to najmniej rozwinięta z analizowanych technologii magazynowania wodoru w postaci gazu.

WAŻNE:

Należy mieć na uwadze fakt, że wykorzystanie przestrzeni na magazynowanie wodoru będzie konkurować z czasem z wykorzystaniem jej do składowania gazu ziemnego oraz dwutlenku węgla.

4. Selekcję kluczowych partnerów

Lista typowych partnerów w gospodarce wodorowej:

1. Partnerzy technologiczni i dostawcy sprzętu

- producenci elektrolizerów (PEM, AWE, alkaliczne, SOEC),
- dostawcy kompresorów, zbiorników, chłodzenia, systemów sterowania,
- producenci ogniw paliwowych i urządzeń towarzyszących.

Rola:

zapewniają dostęp do kluczowych technologii i umożliwiają integrację całych systemów.

2. Operatorzy infrastruktury i integratorzy systemów

- firmy inżynierskie EPC,
- integratorzy instalacji OZE–elektrolizer,
- operatorzy sieci gazowych, energetycznych i ciepłowniczych.

Rola:

umożliwiają realizację projektów i włączenie ich w istniejące systemy energetyczne.

3. Partnerzy logistyczni

- operatorzy transportu wodoru (trailery, rurociągi, LH₂),
- dostawcy usług magazynowania, stacje tankowania,
- firmy specjalistyczne od transportu materiałów niebezpiecznych.

Rola:

zapewniają bezpieczeństwo i ciągłość dostaw H₂.

4. Partnerzy finansowi i inwestycyjni

- banki finansujące projekty OZE i H₂,
- instytucje udzielające grantów i wsparcia (np. NCBR, BGK, UE),
- fundusze inwestycji infrastrukturalnych.

Rola:

umożliwiają finansowanie kapitałochłonnych instalacji.

5. Partnerzy regulacyjni i instytucjonalni

- ministerstwa i agencje odpowiedzialne za energetykę i transport, (Porozumienie wodorowe, MKiŚ, ME, MAP
- jednostki certyfikujące i nadzór techniczny,
- samorządy wdrażające strategie zeroemisyjne.

Rola:

tworzą otoczenie formalno-prawne projektów wodorowych.

6. Partnerzy naukow i badawczo-rozwojowi

- uczelnie techniczne,
- instytuty badawcze,
- laboratoria testujące komponenty i systemy H₂.

Rola:

wspierają rozwój technologii, testy, optymalizację procesów i innowacje.

7. Partnerzy rynkowi – odbiorcy i koalicje sektorowe

- klastry wodorowe,
- konsorcja H2 Valleys,
- przedsiębiorstwa odbierające wodór do produkcji, energetyki, transportu.

Rola:

budują lokalne i regionalne ekosystemy wodorowe.

5. Analizę konkurencyjnych projektów w regionie,

Przeprowadzenie analizy konkurencyjnych projektów wodorowych jest kluczowe, aby ocenić rynek, konieczną skalę naszej inwestycji i potencjalne luki technologiczne. Analizę można oprzeć na dostępnych bazach i zestawieniach projektów wodoru w Europie, takich jak Clean Hydrogen Partnership – Projects , gdzie publikowane są informacje o projektach finansowanych w ramach programu UE oraz lista inwestycji i innowacji wodoru dostępna online.

Dodatkowo warto korzystać z zasobów takich jak European Hydrogen Observatory – Hydrogen Production and Consumption Projects, które przedstawiają szczegółowe informacje o projektach produkcji i wykorzystania czystego wodoru w Europie oraz lokalnych inicjatywach w Polsce, a także z polskich portali branżowych jak Portal wodorowy H2Poland.

Linki:

- https://www.clean-hydrogen.europa.eu/projects-dashboard_en
- <https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/hydrogen-landscape/projects-and-valleys/hydrogen-production-and-consumption-projects>
- <https://h2poland.eu/pl>

6. Rynek i czynniki wpływające na popyt

Bez rzetelnej analizy rynkowej projekt może nie uzyskać finansowania lub nie osiągnąć założonych wyników operacyjnych. Prognozy, analiza ryzyk w tym także tych, na które nie mamy wpływu np. regulacyjne gwarantuje nam stabilność przychodów w długoterminowej perspektywie. Kompleksowe opracowanie wraz z listą alternatywnych ścieżek rozwoju, strumieni przychodów czyni nasz projekt odpornym na czynniki zewnętrzne.

W technologiach wodorowych strumień przychodów jest bezpośrednim rezultatem realizowanej propozycji wartości, czyli dostarczania klientom wodoru, technologii produkcji i magazynowania, infrastruktury, usług operacyjnych lub kompleksowych rozwiązań zeroemisyjnych. Celem zapewnienia stabilnego i przewidywalnego strumienia przychodów, przedsiębiorstwo działające w gospodarce wodorowej musi odpowiedzieć sobie na kluczowe pytania:

- za jaką wartość klienci są skłonni zapłacić?
- w jaki sposób chcą kupować wodór i technologie?
- czy oczekują produktów, usług, czy kompleksowego modelu „pod klucz”?
- jaki horyzont finansowania (krótki vs długoterminowy) jest dla nich akceptowalny?
- jaka jest krajowa polityka energetyczna, klimatyczna?

WAŻNE

Wodór jako sektor infrastrukturalny tworzy potencjalnie różnorodne modele przychodów — od sprzedaży urządzeń, przez długoterminowe kontrakty na dostawy wodoru, aż po usługi abonamentowe i serwisowe.

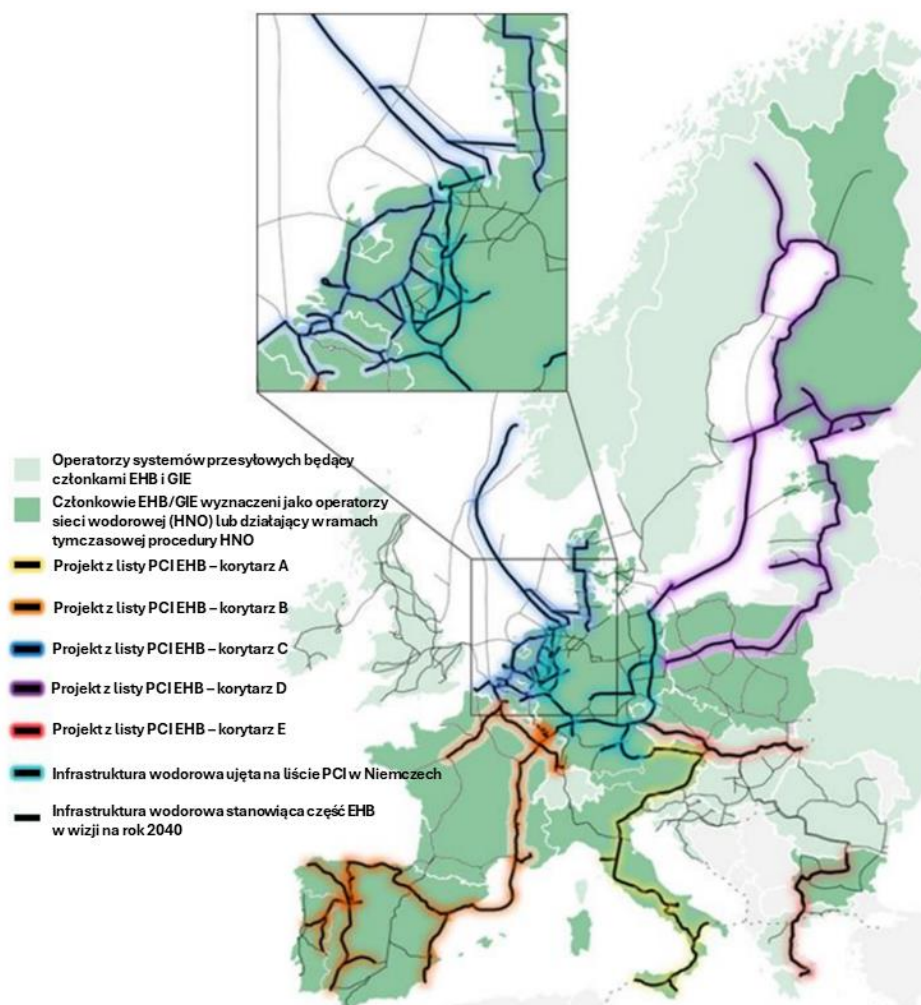
Działania strategiczne w zakresie rozwoju rynku wodoru

Jednym z kluczowych dokumentów badających rozmiar i strukturę nowopowstającego rynku wodoru jest Wodorowa Mapa Polski opracowana przez krajowego operatora sieci gazowej GAZ SYSTEM, która szacuje potencjał i strukturę tego rynku.

Link:

<https://www.gaz-system.pl/pl/rynek-wodoru/aktualnosci/19-12-2024-gaz-system-publikuje-wyniki-badania-wodorowa-mapa-polski.html>

Analogiczne opracowania można odszukać na całym kontynencie europejskiego. Poniżej zamieszczony rysunek przedstawia nowobudowane korytarze przesyłu wodoru w Europie: **Corridor A** – Północna Afryka i Europa Południowa, **Corridor B** – Południowy Zachód Europy i Północna Afryka, **Corridor C** – Morze Północne, **Corridor D** – regiony nordyckie i bałtyckie oraz **Corridor E** – Europa Wschodnia i Południowo-Wschodnia. Inicjatywa The European Hydrogen Backbone (EHB) skupiająca europejskich operatorów infrastruktury energetycznej ma na celu przyspieszyć dekarbonizację i rozwój konkurencyjnego rynku wodoru w Europie.



Rysunek 12 Nowobudowane korytarze przesyłu wodoru w Europie. Źródło: Inicjatywa The European Hydrogen Backbone (EHB), stan na kwiecień 2024 r..

4.5. Optimalizacja kosztów i procesów

Projekty wodorowe, w szczególności dot. niskoemisyjnego wodoru, obecnie cechują się stosunkowo wysokimi nakładami finansowymi, dlatego optymalizacja kosztów CAPEX a następnie OPEX jest kluczowa. Obejmuje ona dobór odpowiedniego modelu pracy elektrolizera. Należy **ZAWSZE pamiętać, że wodór NIE jest nośnikiem efektywnym energetycznie, ale jest nośnikiem strategicznym**, dlatego należy:

- minimalizować łańcuch produkcji docelowego produktu z wykorzystaniem wodoru, gdyż wydłużenie ciągu produkcyjnego o kolejny proces zwiększa poziom strat
- oraz zapewniać wysoką efektywność procesu.

Powyższe kryteria projektowe są weryfikowane przez banki, europejskie i krajowe programy finansujące rozwój technologii wodorowych. W myśl zasady „energy efficiency first” instalacje pilotażowe powinny cechować się:

- projektowaniem modułowym,
- optymalizacją kosztów infrastruktury i logistyki,
- łączeniem technologii w ramach „sector coupling”.

Uproszczona analiza efektywności energetycznej produkcji niskoemisyjnego wodoru z wykorzystaniem procesu elektrolizy:

1 etap: konwersja energii elektrycznej w energię chemiczną

Sprawność elektrolizy

Technologia	Sprawność	Zużycie energii
Alkaliczna	65–70%	50–55 kWh/kg
PEM	60–68%	52–58 kWh/kg
SOEC*	75–85%	40–45 kWh/kg

* przy wysokotemperaturowym źródle ciepła

Wnioski:

30–40% energii elektrycznej znika jako ciepło niskiej jakości, które najczęściej jest niewykorzystywane, rzadko integrowane z siecią. W przypadku technologii SOEC (zintegrowanej ze źródłem ciepła) mamy zagwarantowaną najwyższą sprawność wytwarzania wodoru, czyli najniższy OPEX.

2 etap: Oczyszczanie, sprężanie, magazynowanie

Typowe wartości

Etap	Sprawność
Oczyszczanie	98–99%
Sprężanie do 350 bar	90–93%
Magazynowanie	95–98%

Wnioski:

Sprężanie jest energochłonne, im wyższe ciśnienie: tym większe straty i tym samym większy OPEX. Łącznie: ~10–15% straty.

3 etap: Transport wodoru

Forma	Sprawność	Uwagi
Rurociąg	95–98%	tylko duże wolumeny
Ciężarówki (sprężony)	85–90%	krótki dystans
Ciekły H ₂	70–75%	ogromne straty skraplania

Wnioski:

Im dalej jest transportowany wodór, tym jest on droższy i mniej opłacalny z ekonomicznego i technicznego punktu widzenia.

4 etap: Konwersja wodoru – przykłady jego wykorzystania

Technologia	Sprawność
Ogniwo paliwowe	55–60%
Turbina / silnik	35–45%

Wnioski:

Każda konwersja wodoru to strata.

Podsumowanie:

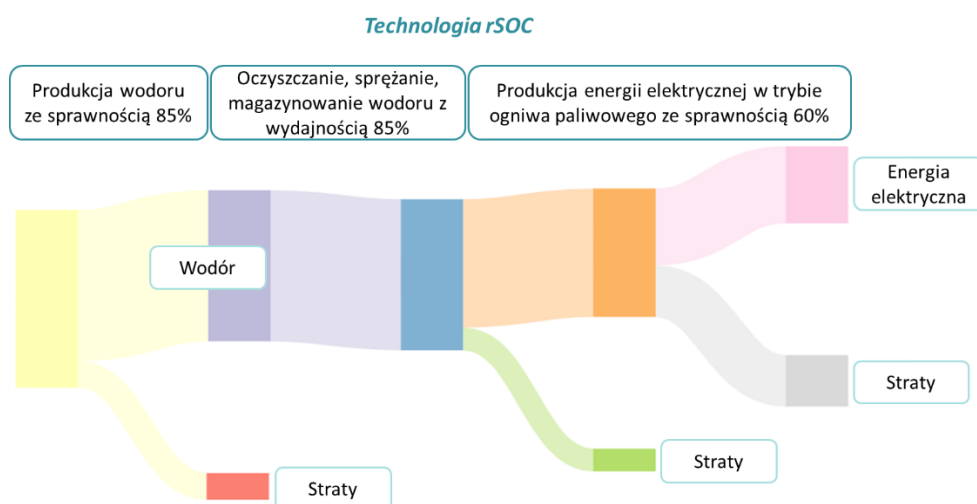
Projekt wodorowy ma sens energetyczny, jeśli:

- minimalizuje liczbę konwersji,
- wykorzystuje ciepło odpadowe,
- ogranicza transport,
- traktuje wodór jako surowiec lub element systemu.

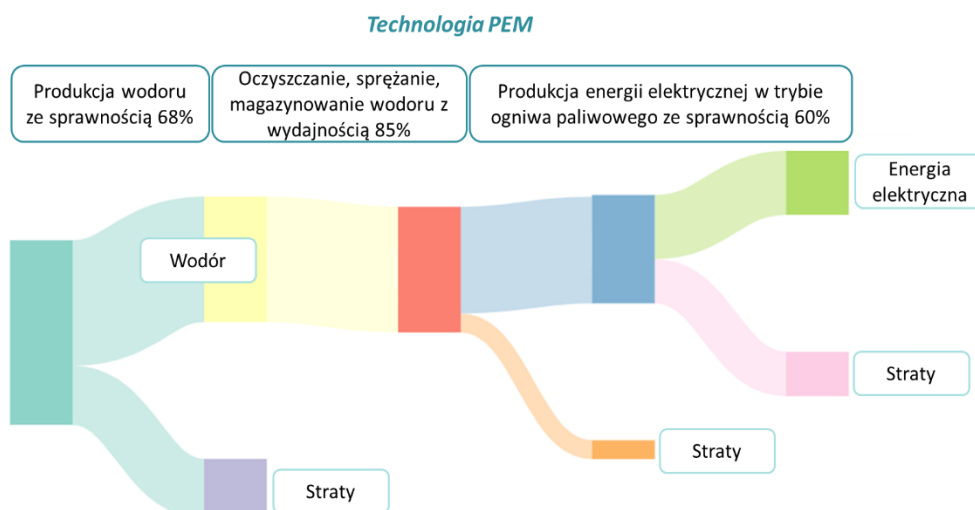
Ważne:

Zarówno inwestorzy, jak i instytucje finansujące oczekują, że projekt będzie wykazywał zdolność do redukcji kosztów w czasie poprzez skalowanie lub integrację z innymi systemami energetycznymi.

Graficzna wizualizacja strat procesowych w zależności od wybranej technologii



Rysunek 13 Straty procesu generacji energii elektrycznej z wodoru wytworzonego elektrochemicznie na przykładzie technologii SOC



Rysunek 14 Straty procesu generacji energii elektrycznej z wodoru wytworzonego elektrochemicznie na przykładzie technologii PEM

V. Krajowe źródła finansowania projektów wodorowych

Zakres warsztatu:

Finansowanie krajowe projektów wodorowych – od koncepcji do studium wykonalności

Rozwój gospodarki wodorowej w Polsce jest obecnie jednym z kluczowych priorytetów polityki energetycznej oraz przemysłowej. W najbliższych latach istotny wpływ na kształt rynku będzie mieć nie tylko dostępność technologii i kompetencji, lecz przede wszystkim możliwość pozyskania finansowania na projekty. Wodór pozostaje bowiem obszarem inwestycyjnym o podwyższonym ryzyku, w którym instytucje krajowe odgrywają fundamentalną rolę w stymulowaniu popytu i podaży poprzez instrumenty dotacyjne, pożyczkowe, gwarancyjne i systemowe.

Celem tego rozdziału jest przedstawienie aktualnego krajobrazu finansowania w Polsce, z uwzględnieniem najważniejszych programów, zasad aplikowania, typowych wymogów, a także praktycznych doświadczeń wynikających z realizacji projektów. Rozdział skierowany jest do przedsiębiorców, instytucji naukowych, jednostek samorządu terytorialnego oraz organizacji obywatelskich, które planują inwestycje w obszarze produkcji, magazynowania, transportu lub wykorzystania wodoru.

5.1. Krajowe instytucje i mechanizmy wspierające projekty wodorowe

W Polsce głównymi organizacjami udzielającymi wsparcia projektom wodorowym są Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR), Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW), Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości (PARP), Bank Gospodarstwa Krajowego (BGK), a także wybrane ministerstwa (głównie klimatu, gospodarki i funduszy EU). Każda z tych instytucji pełni inną funkcję - od wspierania innowacji, przez finansowanie inwestycji infrastrukturalnych, po stymulowanie rozwoju przedsiębiorczości w sektorze MŚP, JST, dużych

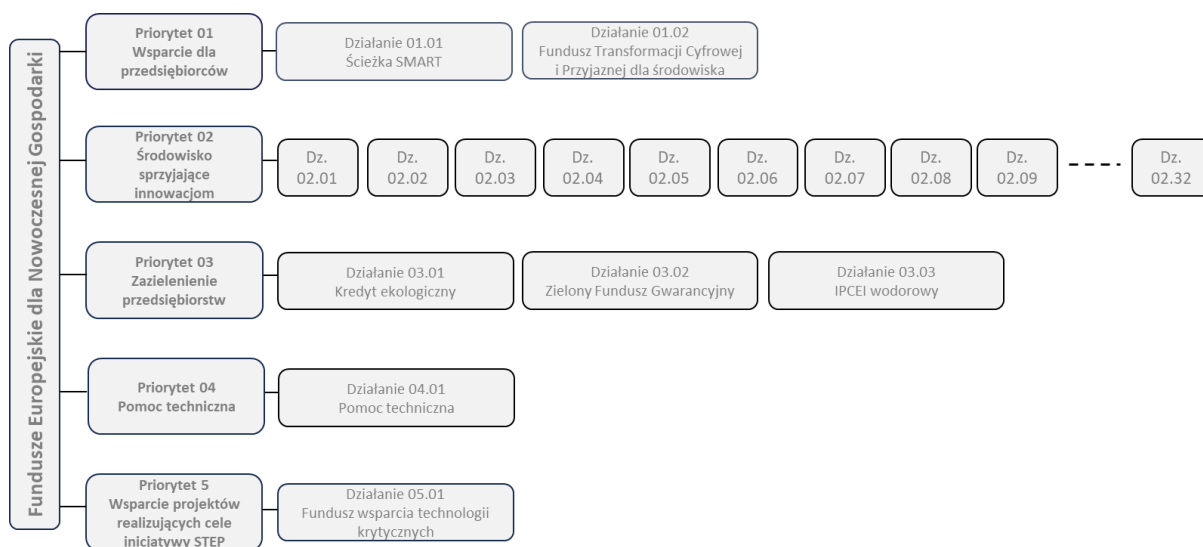
przedsiębiorstw czy jednostek naukowo-badawczych. Ponadto, Narodowe Centrum Nauki (NCN) oraz Fundacja na Rzecz Nauki Polskiej

Priorytety Funduszy Europejskich dla Nowoczesnej Gospodarki

Priorytety Funduszy Europejskich dla Nowoczesnej Gospodarki obejmują wsparcie przedsiębiorców, rozwój środowiska sprzyjającego innowacjom, zazielenienie przedsiębiorstw oraz pomoc techniczną, tworząc kompleksowy ekosystem finansowania innowacji. Program silnie akcentuje działalność badawczo-rozwojową oraz wdrażanie nowoczesnych technologii, co sprzyja rozwojowi rozwiązań wodorowych i dekarbonizacyjnych jako elementów zielonej transformacji gospodarki. Priorytet „Zazielenienie przedsiębiorstw” umożliwia finansowanie projektów ograniczających zużycie energii i emisje, wspierając tym samym technologie wodorowe, niskoemisyjne procesy przemysłowe oraz modernizację infrastruktury energetycznej. Jednocześnie priorytety związane z infrastrukturą B+R wzmacniają rozwój badań nad innowacyjnymi materiałami, systemami energetycznymi i technologiami wodorowymi, wspierając krajowe projekty dekarbonizacji na każdym etapie – od koncepcji po wdrożenie

Szczegółowy opis priorytetów Funduszy Europejskich dla Nowoczesnej Gospodarki:

<https://www.nowoczesnagospodarka.gov.pl/strony/dowiedz-sie-wiecej-o-programie/prawo-i-dokumenty/szczegolowy-opis-priorytetow-programu-fundusze-europejskie-dla-nowoczesnej-gospodarki/>



Rysunek 15 Fundusze Europejskie dla Nowoczesnej Gospodarki

Harmonogram naborów można znaleźć pod adresem:

<https://www.funduszeuropejskie.gov.pl/strony/skorzystaj/harmonogramy-naborow-wnioskow/harmonogramy-2021-2027/#/domyslne=1>

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

NCBR wspiera projekty związane z technologiami niskoemisyjnymi, w tym wodorowymi, poprzez finansowanie badań podstawowych, badań przemysłowych, prac rozwojowych oraz działań przedwdrożeniowych – od poziomu koncepcji aż po demonstratory technologii. Programy koncentrują się na rozwoju innowacji energetycznych, rozwiązań wodorowych, kluczowej infrastruktury B+R oraz

strategicznych technologii dla transformacji gospodarczej i klimatycznej kraju. Fundusz umożliwia również finansowanie projektów dużego ryzyka, inicjatyw realizowanych w konsorcjach naukowo-przemysłowych oraz przedsięwzięć o znaczeniu strategicznym dla polityki energetycznej państwa.

Czołowe programy NCBR wspierające projekty wodorowe i dekarbonizacyjne:

- GOSPOSTRATEG – konkurs XIII (wodór naturalny) i konkurs XIV (paliwa niskoemisyjne)
- Program Strategicznym „Nowe technologie w zakresie energii” – komponent wodorowy
- Ścieżka SMART – dla dużych przedsiębiorstw lub konsorcjów
- STEP (Strategic Technologies for Europe Platform)
- LIDER UP

Link do harmonogramu konkursów:

[link](#)

Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości

Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości (PARP) wspiera przedsiębiorstwa w transformacji technologicznej, cyfrowej i zielonej, finansując projekty zwiększające konkurencyjność oraz redukujące emisyjność gospodarki. Wsparcie obejmuje zarówno działania inwestycyjne, jak i doradcze oraz akceleracyjne – szczególnie istotne dla firm rozwijających technologie zeroemisyjne, GOZ (Gospodarka Obiegu Zamkniętego), energetyczne oraz powiązane z infrastrukturą dla wodoru. PARP odgrywa ważną rolę w realizacji FENG oraz inicjatywy STEP, wspierając inwestycje w technologie czyste, zasobooszczędne i wspierające zieloną transformację europejskiej gospodarki.

Czołowe programy PARP powiązane z dekarbonizacją i zielonymi technologiami:

- Inicjatywa STEP (Strategic Technologies for Europe Platform)
- Program Ścieżka SMART
- Platformy Startowe / Akceleratory – wsparcie technologii energetycznych i klimatycznych
- Usługi Rozwojowe 4.0

Więcej informacji: <https://www.parp.gov.pl/>

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

NFOŚiGW jest kluczowym krajowym instrumentem finansowania transformacji energetycznej — obejmującym OZE, efektywność energetyczną, niskoemisyjny transport, gospodarkę wodną i technologie wodorowe. Na 2026 rok Fundusz przewiduje rekordowy budżet 35,33 mld zł, z czego aż 80% środków ma trafić na inwestycje energetyczne: OZE, magazynowanie energii, modernizację systemów ciepłowniczych czy transformację transportu publicznego. Wsparcie obejmuje dotacje, pożyczki preferencyjne oraz instrumenty zwrotne, a znaczna część działań realizowana jest także poprzez środki z KPO, FEnIKS oraz Funduszu Modernizacyjnego.

Kluczowe filary programów na 2025-2028:

1. Transformacja energetyczna

- Kogeneracja dla ciepłownictwa
- Kogeneracja powiatowa
- Digitalizacja Sieci Ciepłowniczych

- Energia dla wsi

2. *Poprawa jakości powietrza*

- Wsparcie zakupu lub leasingu pojazdów zeroemisyjnych kategorii N2 i N3
- Czyste Powietrze
- Czyste Powietrze Część 5) Dla Beneficjentów, których dotyczy wznowienie naboru wstrzymanego 28.11.2024 r.
- NaszEauto
- Budowa/rozbudowa sieci elektroenergetycznych na potrzeby ogólnodostępnych stacji ładowania dużych mocy

3. *Gospodarka o obiegu zamkniętym, w tym gospodarowanie odpadami, ochrona wód i gospodarka wodna*

- Gospodarka wodno-ściekowa w aglomeracjach
- Wysokosprawna kogeneracja z biogazu wytwarzanego z biomasy, w tym z odpadów komunalnych
- Gospodarka wodno-ściekowa poza granicami aglomeracji
- Współfinansowanie przedsięwzięć realizowanych w ramach inwestycji B3.2.1 Krajowego Planu Odbudowy
- Usuwanie nielegalnie nagromadzonych odpadów

4. *Współfinansowanie Programu LIFE*

- Edukacja ekologiczna
- Ciepłownictwo powiatowe

Programy i projekty NFOŚiGW: <https://www.gov.pl/web/nfosigw/>

Bank Gospodarstwa Krajowego

Bank Gospodarstwa Krajowego pełni kluczową rolę operatora instrumentów bezzwrotnych i pożyczkowych finansujących zieloną transformację w Polsce, w tym inwestycje w wodór, OZE, magazyny energii oraz poprawę efektywności energetycznej. BGK odpowiada m.in. za wdrażanie środków z KPO (Krajowego Planu Odbudowy) w obszarze technologii wodorowych – obejmujących produkcję, magazynowanie i transport wodoru. Wsparcie jest kierowane zarówno do dużych przedsiębiorstw, jak i MŚP, a instrumenty BGK często łączą dotacje z mechanizmami zwrotnymi, wspierając inwestycje istotne dla dekarbonizacji sektorów przemysłu i transportu. Czołowe programy BGK dotyczące wodoru i dekarbonizacji:

- Inwestycje w technologie wodorowe – KPO (działanie B2.1.1)
- Kontraktacja środków KPO na rozwój polskiej produkcji wodoru
- Kredyt ekologiczny FENG

Programy i fundusze:

[link](#)

Narodowe Centrum Nauki

NCN finansuje podstawowe badania naukowe, w tym te związane z transformacją energetyczną, niskoemisyjnymi technologiami oraz innowacjami materiałowymi, które mogą stanowić fundament dla rozwoju technologii wodorowych i dekarbonizacyjnych. Wsparcie realizowane jest głównie poprzez

międzynarodowe konkursy, w których możliwe jest finansowanie polskich zespołów badawczych w partnerstwie z innymi krajami Europy (czasem także Afryki) – szczególnie w obszarach związanych z OZE, zielonym wodorem, materiałami dla energetyki i systemami niskoemisyjnymi. Czołowe konkursy NCN:

- SONATA / OPUS / PRELUDIUM / MAESTRO finansowanie badań podstawowych
- Weave-UNISONO – wspólne projekty międzynarodowe w dowolnej tematyce, także wodorowej;
- Konkurs M-ERA.NET 3 – materiały dla niskoemisyjnej energetyki
- LEAP-SE Cofund Call 2026 – Transformacja energetyczna i zielony wodór

NCN prowadzi stale aktualizowaną bazę i kalendarz konkursów:

- <https://projekty.ncn.gov.pl/> (baza finansowanych projektów)
- <https://www.ncn.gov.pl/ogloszenia/konkursy> (otwarte nabory)

Fundacja na Rzecz Nauki

FNP finansuje badania naukowe o charakterze aplikacyjnym, powstawanie zespołów badawczych, komercjalizację wyników oraz międzynarodowe agendy badawcze. Choć nie ma programów wyłącznie dla projektów wodorowych, to ich zakres tematyczny wprost obejmuje badania z obszarów Środowisko, Przemysł 4.0, materiały dla energetyki, innowacyjne technologie, co pozwala finansować projekty z obszaru dekarbonizacji i technologii wodorowych. Najważniejsze programy FNP istotne dla projektów energetycznych/wodorowych:

- FIRST TEAM FENG
- TEAM NET FENG
- Proof-of-Concept
- PRIME
- Międzynarodowe Agendy Badawcze – MAB FENG

Programy i nabory: <https://www.fnp.org.pl/>

5.2. Typy projektów kwalifikujących się do wsparcia

W zależności od instytucji i programu wsparcie może obejmować projekty innowacyjne, inwestycyjne, badawczo-rozwojowe lub demonstracyjne. W praktyce oznacza to, że niemal każdy etap cyklu życia projektu wodorowego może znaleźć odpowiedni instrument finansowania.

Dużą popularnością cieszą się projekty obejmujące:

- budowę instalacji produkcji zielonego wodoru, w tym elektrolizerów zasilanych energią odnawialną;
- tworzenie stacji tankowania wodoru, zarówno dla transportu drogowego, jak i kolejowego;
- inwestycje w magazynowanie wodoru, jego sprężanie, konwersję do stanu ciekłego lub chemiczne wiązanie;
- zastosowanie wodoru w przemyśle (np. w hutnictwie, chemii, rafineriach), szczególnie w procesach trudnych do dekarbonizacji;
- projekty demonstracyjne integrujące różne elementy łańcucha wartości, łączące produkcję, dystrybucję i końcowe wykorzystanie.

W przypadku jednostek samorządu terytorialnego szczególne znaczenie mają projekty transportowe (autobusy wodorowe, rozwiązania logistyczne), wsparte możliwościami finansowania z NFOŚiGW oraz mechanizmów unijnych dostępnych na poziomie regionalnym.

5.3. Kluczowe wymagania formalne i proces aplikacji

Proces aplikowania o środki krajowe wymaga starannego przygotowania dokumentacji, która różni się w zależności od typu instrumentu. Projekty badawczo-rozwojowe wymagają szczegółowego opisu innowacyjności i harmonogramu badań, natomiast projekty inwestycyjne - przedstawienia studium wykonalności wraz z oceną ekonomiczną i środowiskową.

Warto pamiętać, że nie wszystkie koszty kwalifikują się do dofinansowania, a w przypadku wielu programów obowiązuje limit intensywności wsparcia. Dla MŚP jest on często korzystniejszy, co ma zachęcać małe firmy do inwestowania w innowacje. Szczególnie istotne jest wykazanie gotowości technicznej i finansowej projektu, a także wykonalności administracyjnej, czyli posiadania lub planu uzyskania decyzji środowiskowych, warunków przyłączenia czy lokalizacji.

W praktyce jednym z najczęstszych wyzwań jest przygotowanie dobrego studium wykonalności, które musi łączyć analizę techniczną, rynkową i finansową. Instytucje finansujące coraz częściej oczekują także przewidywania wpływu projektu na lokalny rynek energii, emisje gazów cieplarnianych oraz gospodarkę regionalną.

Ważne:

Podpisanie wiążącej umowy z dostawcą danej technologii przed złożeniem wniosku o finansowanie skutkuje dyskwalifikacją projektu, pod warunkiem, że nie jest to kluczowy podwykonawca formalnie ujęty we wniosku projektowym zgodnie z formalnymi wymaganiami danego programu finansującego.

5.4. Studium przypadku - projekty krajowe

Rozwój gospodarki wodorowej w Polsce coraz wyraźniej opiera się na projektach finansowanych ze środków krajowych – zarówno w ramach programów badawczo-rozwojowych, jak i dużych inwestycji infrastrukturalnych. Krajowe instrumenty wsparcia (NFOŚiGW, NCBR, PARP, KPO, BGK) umożliwiają finansowanie niemal wszystkich etapów cyklu życia projektów: od badań laboratoryjnych, przez budowę instalacji demonstracyjnych, aż po wdrożenia przemysłowe i rozwój transportu wodorowego.

W Polsce realizowane są już instalacje demonstracyjne przy zakładach przemysłowych, rozwijane są stacje tankowania oraz pilotaże transportu publicznego opartego na wodorze. Z doświadczeń tych przedsięwzięć wynika, że kluczowe znaczenie mają:

- solidne analizy techniczne i biznesowe,
- rzetelna ocena dostępności energii odnawialnej,
- realistyczne prognozy popytu na wodór w danym regionie,
- wczesne zabezpieczenie partnerów technologicznych i przemysłowych.

Studia przypadków pokazują również, że finansowanie publiczne pełni kluczową rolę katalizatora, przyciągając kapitał prywatny i umożliwiając realizację projektów o dużej skali oraz wysokim poziomie innowacyjności.

Projekty krajowe – przykłady udanych realizacji

POIR – Projekt VETNI: demonstrator stałotlenkowej elektrolizy (SOE)

Projekt VETNI, realizowany przez konsorcjum ORLEN S.A., Instytut Energetyki – PIB oraz AGH, jest jednym z najważniejszych krajowych projektów w obszarze wodoru. Jego celem było opracowanie i budowa demonstracyjnego systemu produkcji wodoru w technologii stałotlenkowej elektrolizy (SOE). Instalacja osiągnęła wydajność ok. 18 kg H₂/dobę, stając się największym demonstratorem SOE w Polsce.

Projekt dowiódł możliwości opracowania krajowych materiałów elektrodowych o obniżonej zawartości kobaltu, a także osiągnął zmniejszone zużycie energii (ok. 42,5 kWh/kg H₂) wobec 55–70 kWh/kg w rozwiązaniach komercyjnych. Instalacja powstała w Jaśle i została zintegrowana z infrastrukturą przemysłową.

Link:

<https://www.orken.pl/pl/o-firmie/o-spolce/dotacje/projekty-BR/POIR/Projekt-VETNI/Projekt-VETNI-zakonczony>

NTE – Projekt MEGA-SOE: wielkoskalowy system SOC/SOE (NCBR)

Projekt MEGA-SOE, finansowany przez NCBR, to jedna z największych polskich inwestycji badawczo-rozwojowych w elektrolizery stałotlenkowe. Konsorcjum Orlen SA – Instytut Energetyki – Państwowy Instytut Badawczy rozwija:

- prototypowy układ SOC/SOE 150 kW / 400 kW,
- demonstrator elektrolizy SOE o mocy co najmniej 5 MW,
- integrację systemu z produkcją, sprężaniem i magazynowaniem wodoru z obiektem przemysłowym Orlen S.A.

Celem projektu jest osiągnięcie energochłonności 38–42 kWh/kg H₂, co stawiałoby krajową technologię w światowej czołówce. Projekt opiewa na ponad 107 mln zł, z czego 89,5 mln zł stanowi dofinansowanie z NCBR.

Bioagra – instalacja produkcji wodoru RFNBO (KPO)

Najlepiej oceniony w konkursie KPO projekt prywatny. Bioagra planuje budowę instalacji zielonego wodoru RFNBO w zakładzie w Nysie, wraz z kompletną infrastrukturą OZE. Projekt otrzymał ponad 128 mln zł bezzwrotnego wsparcia.

Promet-Plast – wodór RFNBO + OZE dla przedsiębiorstwa produkcyjnego (KPO)

Projekt zakłada produkcję odnawialnego wodoru w zakładzie w Gaju Oławskim oraz rozwój lokalnej infrastruktury energii odnawialnej i magazynowania. Wartość dofinansowania: 123,3 mln zł.

Konin – zajezdnia autobusowa ze stacją PRODUKCJI, MAGAZYNOWANIA i TANKOWANIA wodoru (transport + magazynowanie)

Jednym z najbardziej zaawansowanych projektów transportowych w Polsce jest inwestycja miasta Konin, obejmująca:

- budowę zajezdni autobusowej wyposażonej w:
 - stację produkcji wodoru,
 - stację tankowania wodoru,

- lokalne magazynowanie wodoru,
- zakup floty 10 autobusów wodorowych (dodatkowo 10 autobusów wodorowych i 3 elektryczne ze wsparciem NFOŚiGW),
- instalację fotowoltaiczną oraz pełną infrastrukturę energetyczno-techniczną.

Wartość projektu wynosi 115,3 mln zł, z czego aż 85% kosztów netto finansowane jest ze środków Funduszu na rzecz Sprawiedliwej Transformacji (FST) oraz budżetu państwa. To jedno z największych w Polsce przedsięwzięć łączących produkcję, magazynowanie i wykorzystanie wodoru w transporcie.

Konin był również pierwszym miastem w Polsce, które wdrożyło autobus wodorowy do komunikacji publicznej.

Analiza projektów finansowanych z POIR, NTE, NCBR, PARP oraz KPO pokazuje, że polski ekosystem wodorowy sukcesywnie się rozwija. Charakterystyczne cechy udanych przedsięwzięć to:

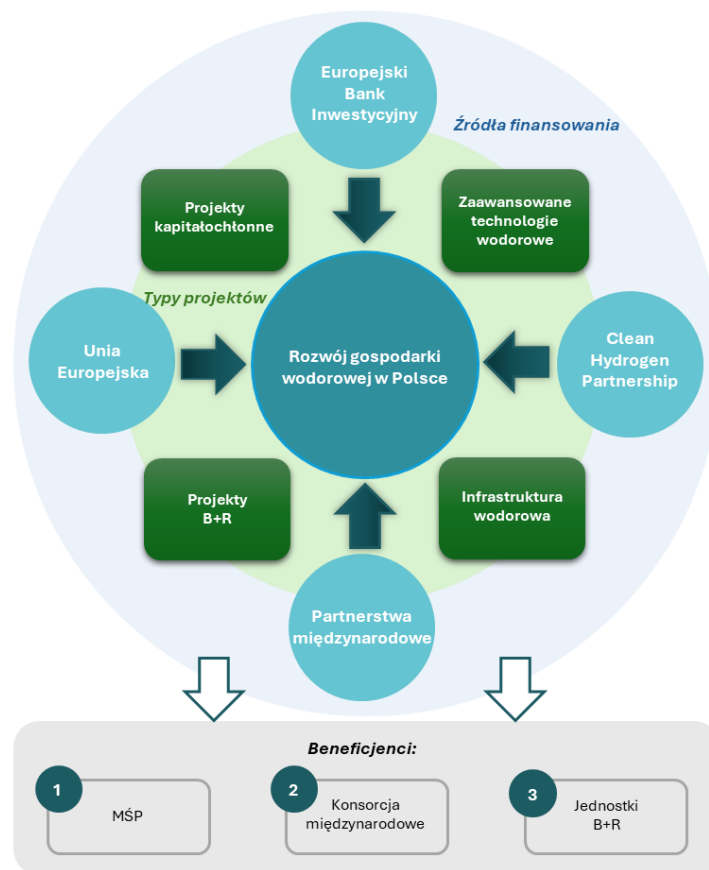
- synergia nauki i przemysłu – większość projektów prowadzą konsorcja łączące duże firmy, instytuty badawcze i uczelnie,
- silny komponent krajowej technologii – projekty rozwijają polskie materiały, stopy i systemy elektrolizerów,
- stopniowe skalowanie instalacji,
- rozwój infrastruktury OZE i magazynowania,
- katalityczna rola finansowania publicznego, które przyciąga podmioty prywatne i zmniejsza ryzyko inwestycji.

VI. Międzynarodowe inicjatywy finansowania projektów wodorowych

Zakres szkolenia:

„Finansowanie europejskie i międzynarodowe – od HORIZON do CCfD”.

Finansowanie wodorowych przedsięwzięć na poziomie europejskim i globalnym odgrywa fundamentalną rolę w rozwoju gospodarki wodorowej w Polsce. Wiele projektów, szczególnie tych najbardziej zaawansowanych technologicznie i kapitałochłonnych, nie mogłoby powstać bez instrumentów dostępnych w ramach Unii Europejskiej, Europejskiego Banku Inwestycyjnego czy międzynarodowych partnerstw takich jak Clean Hydrogen Partnership.

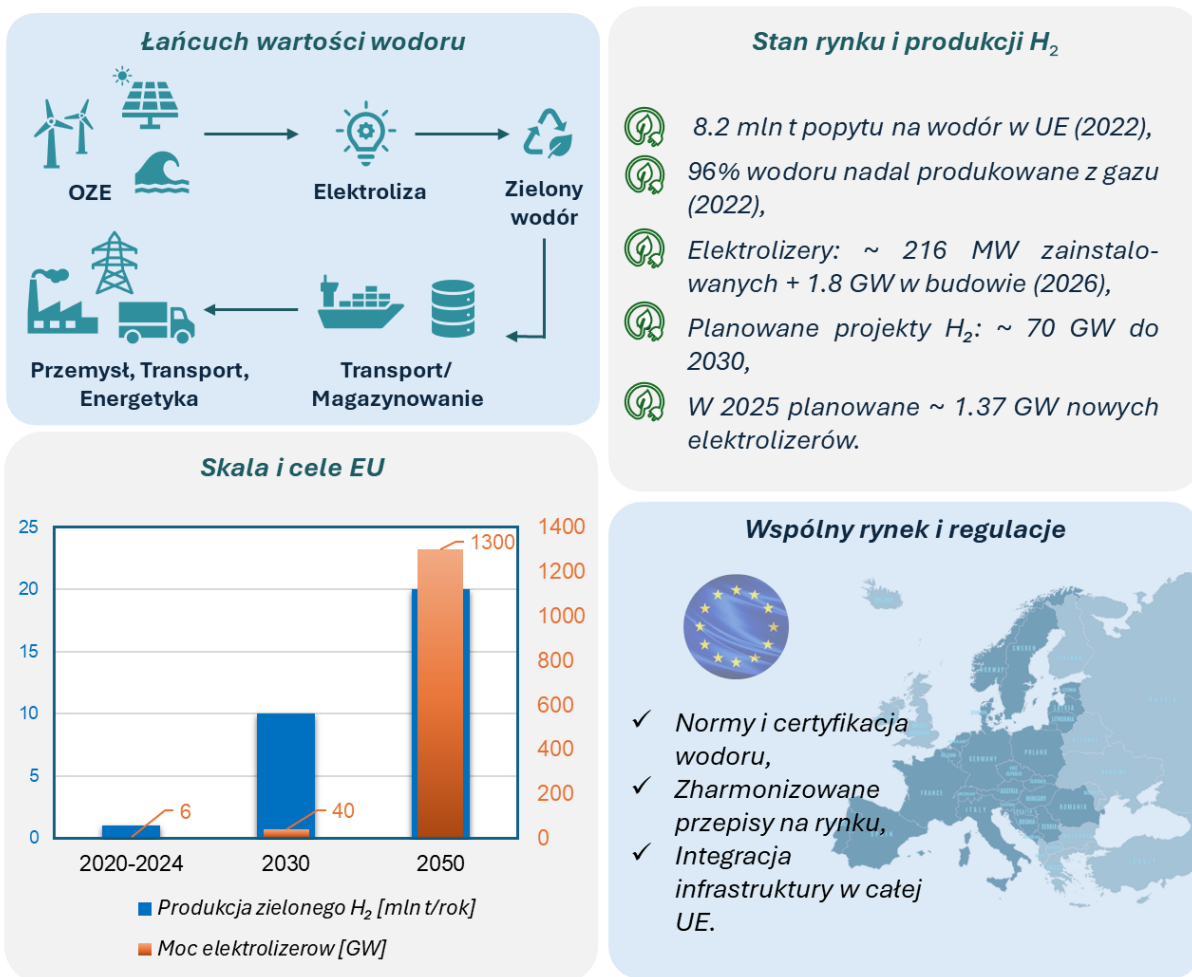


Rysunek 16 Ekosystem finansowania gospodarki wodorowej w Polsce

Ten rozdział przedstawia szerokie spektrum możliwości finansowania, ze szczególnym uwzględnieniem potrzeb MŚP oraz projektów realizowanych w formule partnerstw międzynarodowych.

6.1. Rola Unii Europejskiej w rozwoju gospodarki wodorowej

Unia Europejska od kilku lat traktuje wodór jako kluczowy element transformacji energetycznej i osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 roku. W szczególności duży nacisk kładzie na zielony wodór produkowany w elektrolizerach zasilanych OZE. UE dąży do stworzenia wspólnego rynku, obejmującego produkcję, przesył, dystrybucję i zastosowanie wodoru, przy jednoczesnym rozwoju norm, certyfikacji i infrastruktury.



Rysunek 17 Transformacja energetyczna i neutralność klimatyczna do 2025 r.

Kluczową rolę odgrywają tu programy finansowania, które wspierają projekty infrastrukturalne, badawczo-rozwojowe, demonstracyjne i przemysłowe. Wiele z nich wymaga tworzenia międzynarodowych konsorcjów oraz ma charakter silnie konkurencyjny, co podnosi poziom jakości i innowacyjności propozycji projektowych.

6.2. Najważniejsze europejskie programy wsparcia

1

Horizon Europe

Jedyny w swoim rodzaju program wspierający badania i innowacje w zakresie technologii wodorowych. Finansuje **projekty zarówno podstawowe, jak i demonstracyjne**, przy czym najwyżej oceniane są propozycje o istotnym potencjale transformacyjnym. Projekty muszą wykazać wpływ na rozwój rynku wodoru w UE oraz zdolność do skalowania rezultatów.

Horizon Europe szczególnie **promuje udział MŚP**, oferując im zarówno rolę partnerów technologicznych, jak i liderów wybranych zadań. Uczestnictwo wymaga jednak dobrze rozwiniętych partnerstw międzynarodowych.



[po więcej informacji kliknij tu](#)



2

Innovation Fund

Instrument **dedykowany dużym projektom demonstracyjnym** o potencjalnie wysokim wpływie na redukcję emisji. W kontekście wodoru są to instalacje przemysłowe lub kompleksowe systemy produkcji i dystrybucji. **Środki przeznaczone na fundusz są pozyskiwane z europejskiego Systemu Handlu Emisjami (EU-ETS)**, czyniąc go jednym z największym na świecie programów finansowania technologii niskoemisyjnych.

Innovation Fund **wymaga przedstawienia pełnego modelu biznesowego i prognozy emisji CO₂**, co czyni studium wykonalności kluczowym dokumentem.



[po więcej informacji kliknij tu](#)



3

CEF – Connecting Europe Facility

Program **wspierający rozwój infrastruktury energetycznej i transportowej** na obszarze UE, w tym elementów łańcucha wartości wodoru. Priorytetem są projekty transgraniczne oraz działania zwiększające bezpieczeństwo energetyczne.

Umożliwia ubieganie się o dofinansowanie projektów **nie tylko przez państwa członkowskie UE**, ale także przez międzynarodowe organizacje, przedsiębiorstwa publiczne i prywatne oraz władze regionalne i lokalne, pod warunkiem uzyskania zgody odpowiedniego państwa członkowskiego i spełnienia szczegółowych kryteriów określonych w naborach.



[po więcej informacji kliknij tu](#)



4

IPCEI Hydrogen

Flagowy instrument **promujący duże europejskie przedsięwzięcia o strategicznym znaczeniu**. Umożliwia finansowanie projektów wysokiego ryzyka, które istotnie przyczyniają się do rozwoju europejskiego rynku wodoru. Wspiera projekty B+R i wczesną fazę wdrożenia przemysłowego, które przekraczają obecny stan techniki.

IPCEI promuje łańcuchowe podejście - od produkcji po zastosowanie. Uczestnikami mogą być zarówno przedsiębiorstwa (duże, MŚP), jak i jednostki badawcze czy uczelnie jako partnerzy w projekcie, ale **wymaga bardzo szerokiego partnerstwa**.



[po więcej informacji kliknij tu](#)



Europejskie instrumenty finansowania to mechanizmy wspierające rozwój gospodarczy, innowacje oraz spójność społeczną w krajach UE. Obejmują one m.in. fundusze strukturalne, programy inwestycyjne i granty, które pomagają realizować projekty publiczne i prywatne.

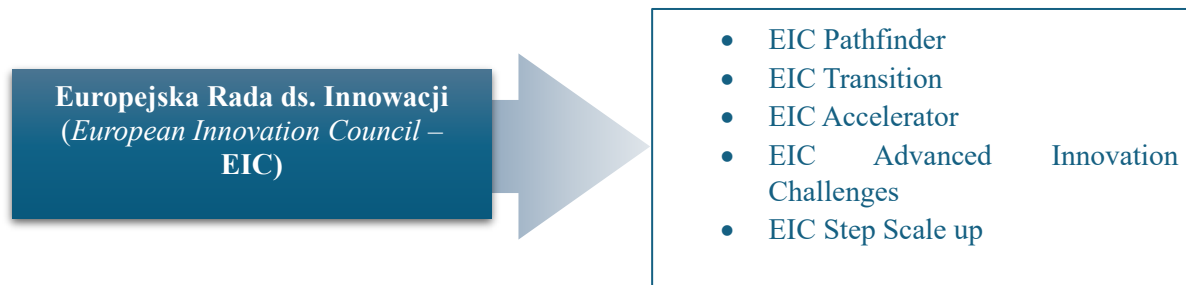
1. **Horyzont Europa** - w ramach programu dostępne są następujące instrumenty finansowania:

Europejska Rada ds. Badań
Naukowych (European Research
Council – ERC)

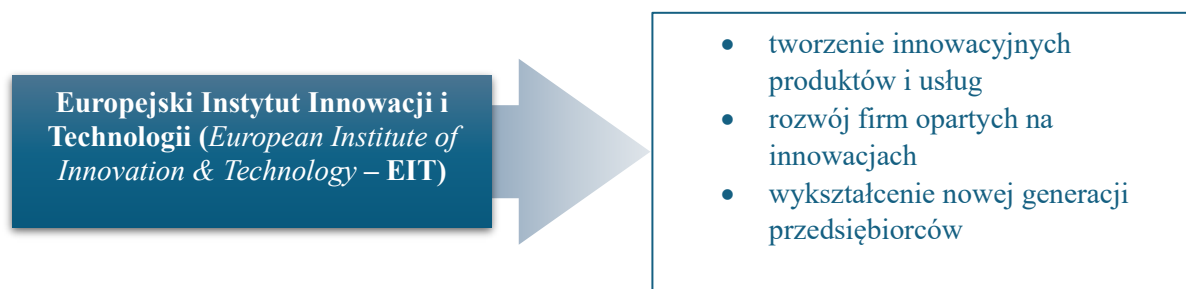


- ERC Starting Grant
- ERC Consolidator Grant
- ERC Advanced Grant
- ERC Plus Grant

i [kliknij tu, by dowiedzieć się więcej o ERC](#)



i [kliknij tu, by dowiedzieć się więcej o EIC](#)



i [kliknij tu, by dowiedzieć się więcej o EIT](#)

2. **Mechanizm kontraktu różnicowego (Carbon Contracts for Difference, CCfD)** to instrument wsparcia publicznego redukujący ryzyko inwestycyjne projektów nisko- i zeroemisyjnych w przemyśle. Opiera się na długoterminowych kontraktach różnicowych dla kosztu emisji CO₂

i [kliknij tu, by dowiedzieć się więcej o CCfD](#)

3. **Fundusze Europejskie na Infrastrukturę, Klimat i Środowisko (FEnIKS)** to krajowy program finansowany ze środków UE na lata 2021–2027, który wspiera duże, strategiczne inwestycje publiczne w Polsce. Instrument ten finansuje m.in. projekty dotyczące transportu niskoemisyjnego, energetyki i efektywności energetycznej, ochrony klimatu, gospodarki wodno-ściekowej, ochrony przyrody, a także ochrony zdrowia i bezpieczeństwa publicznego. FEnIKS jest kontynuacją POIiŚ i koncentruje się na inwestycjach o dużej skali i wysokim znaczeniu społecznym oraz środowiskowym.

i [kliknij tu, by dowiedzieć się więcej o FEnIKS](#)

4. **H2Global** – instrument wsparcia rynkowego projektów wodorowych. Finansuje projekty pośrednio, poprzez zapewnienie długoterminowego popytu na zielony wodór i jego pochodne, pokrywanie różnicy cenowej między wysokim kosztem produkcji a niższą ceną rynkową (mechanizm kontraktu różnicowego / podwójnej aukcji) oraz zmniejszenie ryzyka inwestycyjnego dla producentów wodoru. Dzięki temu projekty wodorowe (produkcja, przetwarzanie, eksport) stają się bankowalne, czyli możliwe do sfinansowania przez banki i inwestorów prywatnych. H2Global nie jest klasycznym instrumentem finansowania, ponieważ nie realizuje dotacji czy pożyczek na cele projektowe, ale tworzy stabilne warunki finansowe, które umożliwiają jego realizację.

i [kliknij tu, by dowiedzieć się więcej o H2Global](#)

Ważne:

Podpisanie wiążącej umowy z dostawcą danej technologii przed złożeniem wniosku o finansowanie skutkuje dyskwalifikacją projektu, pod warunkiem, że nie jest to kluczowy podwykonawca formalnie ujęty we wniosku projektowym zgodnie z formalnymi wymaganiami danego programu finansującego.

6.4. Budowanie budżetu w projektach międzynarodowych

W projektach europejskich szczególne znaczenie ma realistyczny i dobrze zaplanowany budżet. Musi on uwzględniać nie tylko koszty inwestycyjne, ale również wydatki operacyjne, koszty zarządzania, komunikacji, raportowania i rozpowszechniania rezultatów. Błędy w tej części dokumentacji są jedną z najczęstszych przyczyn odrzucania wniosków. W projektach międzynarodowych budżet coraz częściej dzieli się na koszty rzeczywiste (*real costs*) oraz koszty ryczałtowe (*lump sum*). Taki podział upraszcza zarządzanie finansami, a jednocześnie zapewnia kontrolę nad wydatkowaniem środków.

Koszty rzeczywiste (*real costs*) - wydatki, które są rozliczane na podstawie faktycznie poniesionych kosztów i wymagają szczegółowej dokumentacji finansowej. Beneficjent musi udowodnić, że wydatek był niezbędny do realizacji projektu, zgodny z budżetem oraz poniesiony w okresie kwalifikowalności.

koszty osobowe (wynagrodzenia, umowy cywilnoprawne, składki)

zakup sprzętu i wyposażenia

koszty podróży i zakwaterowania rozliczane na podstawie faktur

usługi zewnętrzne (np. badania, ekspertyzy, tłumaczenia)

inne koszty bezpośrednie wymagające udokumentowania

Koszty ryczałtowe (*lump sum*) - to z góry określone kwoty, przypisane do realizacji konkretnych działań, pakietów roboczych lub rezultatów projektu. W tym modelu nie rozlicza się faktycznych wydatków, lecz osiągnięcie zaplanowanych efektów.

zarządzanie projektem i koordynacja

działania upowszechniające i promocyjne

organizacja spotkań i wydarzeń

koszty pośrednie

działania administracyjne i komunikacyjne

Kluczowe znaczenie ma osiągnięcie zaplanowanych efektów, a nie faktyczna wysokość wydatków. Zastosowanie obu mechanizmów ma na celu z jednej strony zapewnienie kontroli finansowej, a z drugiej – uproszczenie zarządzania i rozliczania projektów międzynarodowych. Poniżej przedstawiono mechanizm kosztów rzeczywistych zestawionych z kosztami ryczałtowymi (*lump sum*).

Koszty rzeczywiste	Lump sum
Budżet: struktura na etapie wniosku obejmuje podział na partnera i na kategorie kosztowe	Budżet: struktura na etapie wniosku obejmuje podział na partnera, kategorie kosztowe oraz na WP
Budżet jest częścią wzoru wniosku	Budżet jest załącznikiem do wniosku , tworzonym w specjalnie skonstruowanym narzędziu na bazie xls
Budżet: struktura wchodząca do umowy = struktura z wniosku	Budżet: struktura wchodząca do umowy: kategorie kosztowe przestają być widoczne, teoretycznie mogą być dowolnie skalowane bez konieczności uzyskiwania zgód; pozostaje tylko podział na partnera i WP
Elastyczność budżetu: TAK i NIE	Elastyczność budżetu: TAK i NIE
Kwota grantu jako punkt odniesienia i limit: docelowo dofinansowanie wypłacone zostanie tylko do wysokości kosztów rzeczywiście poniesionych i udowodnionych, nie więcej niż łączny budżet	Kwota grantu docelowa: dofinansowanie będzie wypłacone w umówionej wysokości niezależnie od tego, czy koszt rzeczywisty poniesiony przez wykonawcę był niższy/wyższy
Weryfikacja zasadności i kwalifikowalności kosztów na etapie wniosku oraz przy każdym okresie raportowym	Weryfikacja zasadności i kwalifikowalności kosztów na etapie wniosku, potem wykonane/niewykonane
Zasada proporcjonalności	Zasada „Wszystko albo nic”
Płatność okresowa za łączne koszty poniesione niezależnie od % realizacji poszczególnych zadań w danym momencie	Płatność okresowa tylko za WP w 100% ukończone w danym okresie raportowym.
Pełna dokumentacja finansowa , wyodrębniona księgowość	Brak obowiązku gromadzenia dokumentacji finansowej i wyodrębnionej księgowości; ciężar na dokumentację techniczną/merytoryczną
Raportowanie merytorczne pełne	Raportowanie merytoryczne pełne z jeszcze większą wagą
Raportowanie finansowe pełne	Brak raportów finansowych
Audyty finansowe, w tym CSF (Certyfikat sprawozdania finansowego)	Brak audytów finansowych i CSF , audyty tylko techniczne

6.5. Studium wykonalności - wymogi europejskie

Studium wykonalności (*Feasibility Study*) w ujęciu europejskim to dość sformalizowany dokument, który ma udowodnić, że projekt ma sens techniczny, finansowy, ekonomiczny i prawny oraz że wpisuje się w cele UE. Zakres bywa doprecyzowany w danym programie (np. Fundusze Europejskie, CEF, LIFE), ale trzon jest bardzo podobny. Studium wykonalności przygotowane pod instrumenty europejskie jest więc bardziej złożone niż analogiczne dokumenty na poziomie krajowym.

Przykładowy klasyczny układ zgodny z wymogami europejskimi składa się z poniższych zagadnień:

1. Opis projektu:

- cel główny i cele szczegółowe
- lokalizacja i zakres rzeczowy
- grupa docelowa / użytkownicy końcowi
- zgodność z dokumentami strategicznymi krajowymi i regionalnymi oraz na poziomie UE (np. RED III, Zielony Ład, itp.)

2. Analiza popytu i potrzeb

- identyfikacja problemu, który projekt rozwiązuje
- obecny i prognozowany popyt
- uzasadnienie, że projekt jest potrzebny i racjonalny
- wariant „bez projektu” (co się stanie, jeśli nic nie zrobimy)

3. Analiza wariantów

- plan minimum (wariant zerowy i co najmniej jeden wariant alternatywny)
- porównanie wariantów (koszt, efekt, ryzyka)
- uzasadnienie wyboru najlepszego wariantu

4. Analiza techniczna

- opis zastosowanych technologii
- wykonalność techniczna
- trwałość projektu
- zgodność z normami UE (np. środowiskowymi, energetycznymi)

5. Analiza prawna i instytucjonalna

- status prawny inwestycji
- własność gruntów / infrastruktury
- pozwolenia, decyzje administracyjne
- zdolność beneficjenta do realizacji projektu

6. Analiza finansowa

- koszty inwestycyjne i operacyjne
- źródła finansowania
- prognozy przepływów pieniężnych
- wskaźniki np. NPV (*Net Present Value*), IRR (*Internal Rate of Return*) – zależnie od programu
- trwałość finansowa projektu po zakończeniu dofinansowania

7. Analiza ekonomiczna – CBA (*Cost-Benefit Analysis*)

- koszty i korzyści społeczne
- efekty zewnętrzne (np. środowisko, zdrowie, czas)
- wskaźniki ekonomiczne: ENPV (*Economic Net Present Value*), ERR (*Economic Rate of Return*), B/C (*Benefit / Cost ratio*)

8. Analiza oddziaływania na środowisko

- zgodność z zasadą DNSH (*Do No Significant Harm*)
- wpływ na klimat, bioróżnorodność, zasoby
- ewentualna OOS (Ocena Oddziaływania na Środowisko) lub screening

9. Analiza ryzyk

- identyfikacja ryzyk (techniczne, finansowe, prawne, organizacyjne)
- prawdopodobieństwo i skutki
- działania zapobiegawcze

10. Spójność z politykami UE

- równość szans
- dostępność
- zrównoważony rozwój
- transformacja cyfrowa / zielona

Warto zauważyć, że projekty unijne wymagają przedstawienia scenariuszy rozwoju technologii oraz możliwości skalowania projektu po zakończeniu finansowania.

6.6. Przykłady projektów europejskich ze szczególnym uwzględnieniem tych realizowanych w Polsce

W ostatnich latach Europa zainwestowała miliardy euro w projekty wodorowe, tworząc kompleksowe ekosystemy - od produkcji wodoru z morskich farm wiatrowych, po duże floty transportu publicznego. Przykłady pokazują, że kluczowe czynniki sukcesu to:

- szerokie i stabilne partnerstwa,
- realistyczne scenariusze rynkowe,
- podejście modułowe i skalowalne,
- duży nacisk na aspekty środowiskowe,
- integracja różnych elementów łańcucha wartości.

Tabela 5 Przykładowe projekty finansowane z programów wsparcia UE

PROJEKTY Z DOLINAMI WODOROWYMI		
Nazwa projektu	Logo	Krótki opis
HySPARK	 HySPARK	Projekt HySPARK (Hydrogen Solutions for euroPean Airports & Regional Kinetics) finansowany z programu Clean Hydrogen Partnership Komisji Europejskiej z budżetem ok. 9 mln euro jest pierwszym w Polsce projektem dedykowanym dolinom wodorowym, finansowanym z tego programu.
Baltic Sea Hydrogen Valley (BalticSeaH2)	 BalticSeaH2	Transgraniczny projekt doliny wodorowej w regionie Morza Bałtyckiego (Finlandia, Estonia, Polska, Niemcy itd.) – ma umożliwić ok. 25 demonstracji projektów H ₂ , w tym instalacje pilotażowe i demonstracyjne.
PROJEKTY BADAWCZE		
Nazwa projektu	Logo	Krótki opis
HY-SPIRE	 Hy-SPIRE	Europejski projekt badawczy współfinansowany w programie Horyzont Europa dotyczący optymalizacji konstrukcji i materiałów stosów stałotlenkowych ogni (SOE) o elastycznej pracy w średnich temperaturach do produkcji wodoru. Koordynatorem projektu jest IEN-PIB w Polsce.
AMMORE	 AMMORE	Europejski projekt mający na celu opracowanie modułowej, wysokowydajnej jednostki do wytwarzania energii, zasilanej bezpośrednio amoniakiem z wykorzystaniem technologii stałotlenkowych ogni paliwowych (SOFC). Koordynatorem projektu jest IEN-PIB w Polsce.
RenewStart for Hydrogen Technologies	 RENEWSTART	Europejski projekt mający na celu zwiększanie świadomości społecznej na temat technologii związanych z OZE oraz wodoru w regionach Polski, Litwy, Bułgarii i Albanii. Koordynatorem projektu jest IEN-PIB w Polsce.

NOAH2		Celem projektu jest zapewnienie zrównoważonej, konkurencyjnej cenowo, elastycznej i trwałej technologii stosów SOC do produkcji wodoru w temperaturach poniżej 700°C poprzez opracowanie innowacyjnych projektów elektrod, ogniów i stosów. Projekt realizowany przez Duński Uniwersytet Techniczny (DTU).
AEMELIA		Projekt ma na celu zaprojektowanie i stworzenie prototypu nowych, cienkich i wysoko przewodzących membran AEM. Projekt zakłada osiągnięcie wysokiej gęstości prądu (1,5 A/cm ²), niskiego napięcia (1,75 V) i efektywności energetycznej równej 46,9 kWh/kg, czyli 85% maksymalnej teoretycznej wydajności, dzięki czemu można wytworzyć 3 razy więcej H ₂ przy mniejszym zużyciu energii. Koordynatorem projektu jest francuska organizacja badawcza CEA.

PROJEKTY WDROŻENIOWE – PILOTAŻOWE INSTALACJE

<i>Nazwa projektu</i>	<i>Logo</i>	<i>Krótki opis</i>
HYDROGIN	-	Unikatowa instalacja produkcji wodoru na bazie technologii stałotlenkowych ogniów (SOC) zintegrowana z elektrociepłownią w Elblągu. Instalacja pracująca w trybie odwracalnym (rSOC) o mocy 10 kW w trybie elektrolizy i 5 kW w trybie ogniwa paliwowego. Projekt realizowany przez Centrum Badawczo-Rozwojowe im. Faradaya z Grupy Energa oraz Instytut Maszyn Przepływowych we współpracy z IEN-PIB.
VETNI	-	Instalacja wytwarzania wodoru w oparciu o stałotlenkowe elektrolizery o zdolności produkcyjnej 18 kg wodoru na dobę, w całości skonstruowana w Polsce. Projekt zrealizowany przez konsorcjum Grupy LOTOS (obecnie ORLEN), IEN-PIB oraz Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.
MEGA SOE	-	Projekt mający na celu opracowanie i konstrukcję prototypowego układu kogeneracyjnego bazującego na docelowych rozwiązaniach materiałowych i konstrukcyjnych, o mocy 150 kW w trybie ogniwa paliwowego (SOFC), który może pracować też w trybie elektrolizera (SOE) o mocy 400 kW. W kolejnej fazie projekt zakłada opracowanie i stworzenie demonstratora - układu elektrolizy o mocy co najmniej 5 MW, bazującego na rozwiązaniach opracowanych w ramach fazy 2. Konsorcjantami są: ORLEN S.A. i IEN-PIB.
ORLEN H₂ Hub Trzebinia	-	Projekt instalacji do produkcji ekologicznego glikolu propylenowego w biorafinerii w Trzebinie. Jej zdolności wytwórcze wynoszą 30 tys. ton rocznie, co ma zapewnić 75%-owe zapotrzebowanie krajowe na ten produkt. Wykonawcą jest Orlen S.A.

Elektrolizer zielonego wodoru ZE PAK i stacje NES	-	Produkcja zeroemisyjnego wodoru w Koninie z wykorzystaniem elektrolizera o mocy 2,5 MW w technologii PEM, który umożliwia wytworzenie ok. 1000 kg wodoru na dobę. Taka ilość wodoru pozwala na zatankowanie ok. 40 miejskich autobusów wodorowych dziennie. Projekt jest realizowany przez firmę ZE PAK S.A. we współpracy z grupą Polsat Plus.
First H₂ Station Sofia	-	Projekt pierwszej stacji tankowania wodoru w Bułgarii i w całym regionie Bałkanów. Produkcja wodoru odbywa się na miejscu z użyciem elektrolizera (ok. 8–8,5 kg H ₂ dziennie) zasilanego energią z OZE. Stacja może zatankować ok. 10–15 samochodów lub 2 autobusy dziennie. Projekt został zrealizowany we współpracy Bułgarskiej Akademii Nauk (BAS) z ośrodkami badawczymi (HITMOBIL) i branżowymi partnerami (m.in. firmy Monbat, Delektra, Akvahim).
Port of Klaipėda Authority – Green H₂	-	Inwestycja realizowana przez władze Portu Klaipėda, mająca na celu uruchomienie pierwszej w regionie Bałtyku instalacji produkcji i tankowania zielonego wodoru. Projekt obejmuje budowę elektrolizera PEM o mocy ok. 2,5 MW oraz stacji tankowania H ₂ , dzięki którym port będzie mógł produkować i dostarczać wodór do statków, pojazdów drogowych, kolejowych i transportu portowe-go. Kluczowymi partnerami przemysłowymi są MT Group (stacje EPC i wyposażenie), IMI (systemy elektrolizerów), Nord Steel (zbiorniki magazynowe) oraz partnerzy transportowi /terminalowi, tacy jak Bega i LTG Group, zajmujący się wczesnym wykorzystaniem wodoru w operacjach portowych i kolejowych.

PROJEKTY FINANSOWANE PRZEZ INNOVATION FUND

<i>Nazwa projektu</i>	<i>Logo</i>	<i>Krótki opis</i>
H2EAT		Projekt przemysłowy we Włoszech, którego celem jest stworzenie i wdrożenie kotłów na wodór o wysokiej sprawności i niskiej emisji dla rynku budynków mieszkalnych.
H2-BE		Projekt zakłada budowę dużej instalacji (docelowo ok. 1 GW) do produkcji nisko-emisyjnego wodoru w rejonie portu North Sea Port w Gandawie (Belgia) z wykorzystaniem technologii <i>Autothermal Reforming</i> (ATR) i użyciem metanu (gazu ziemnego), połączonej z systemem <i>Carbon Capture and Storage</i> (CCS).
Green H2	-	Instalacja elektrolizera (ok. 1,5 MW) do produkcji wodoru odnawialnego o niskiej emisji (140 ton/rok), który będzie wykorzystywany m.in. w procesach przemysłowych rafinerii w Gdańsku.
GO4ECOPLANET	-	Projekt zakłada budowę instalacji, która wychwyci 100% emisji CO ₂ powstającej podczas produkcji klinkieru (głównego składnika cementu). Dzięki temu Cementownia Kujawy stanie się pierwszym w Polsce zeroemisyjnym zakładem produkcji cementu i jednym z pierwszych tego typu w Europie.

ENHANCE	-	Przemysłowa inicjatywa firmy Air Liquide realizowana w porcie Antwerpia-Brugia w Belgii. Projekt zakłada budowę i eksploatację wielkoskalowej instalacji do krakingu amoniaku w celu uzyskania wodoru, przy jednoczesnym obniżeniu emisji CO ₂ w porównaniu z tradycyjnymi metodami.
-------------------------	---	---

VII. Aspekty prawne, regulacyjne, administracyjne i zarządzanie ryzykiem w projektach wodorowych

Zakres warsztatu:

Prawo, regulacje i bezpieczeństwo – przygotowanie do działań administracyjnych

Rozwój projektów wodorowych wymaga nie tylko wiedzy technologicznej i finansowej, lecz także zrozumienia ram prawnych i administracyjnych, które regulują cały cykl życia inwestycji. Wodór jest traktowany jako substancja o szczególnych właściwościach fizykochemicznych, co przekłada się na restrykcyjne normy bezpieczeństwa, certyfikację oraz wymogi środowiskowe. Każdy projekt - niezależnie od skali - wymaga przejścia złożonej ścieżki administracyjnej, a jednocześnie musi funkcjonować w dynamicznie zmieniającym się środowisku regulacyjnym na poziomie krajowym i unijnym.

Celem niniejszego rozdziału jest przedstawienie kluczowych elementów systemu prawnego dotyczącego wodoru oraz wskazanie strategii minimalizowania ryzyk związanych z realizacją inwestycji.

7.1. Aspekty bezpieczeństwa w projektach wodorowych

Bezpieczeństwo jest jednym z najważniejszych tematów związanych z gospodarką wodorową. Z jednej strony wodór jest substancją łatwopalną, o wyjątkowo niskiej energii inicjacji zapłonu, co wymaga opracowania specjalnych procedur montażu, eksploatacji i nadzoru (Rysunek 7). Z drugiej - doświadczenia przemysłu chemicznego pokazują, że odpowiednio zaprojektowane instalacje mogą być w pełni bezpieczne przez dziesięciolecia.



Rysunek 18 Właściwości wodoru

W praktyce oznacza to, że każdy projekt wodorowy musi uwzględniać:

- klasyfikację zagrożeń wybuchowych,
- odpowiednią wentylację pomieszczeń i przestrzeni,
- odpowiednie strefy ATEX,
- monitoring ciśnienia, wycieków i temperatur,
- konstrukcję zgodną z normami PN-EN dotyczącymi produkcji, magazynowania i tankowania,
- procedury eksploatacyjne i regularne kontrole.

W przypadku instalacji o znaczącej skali (np. stacje tankowania, duże magazyny czy elektrolizery) ważne jest również opracowanie planów reagowania kryzysowego oraz zapewnienie odpowiedniego przeszkolenia służb lokalnych.

Kluczowe oznakowania dla pojemników z wodorem przedstawiono poniżej.



Etykiety ostrzegawcze:

- numer UN: UN 1049 (sprężony wodór), UN 1966 (schłodzony, ciekły wodór) lub UN 1971,
- symbol palności: czerwona etykieta z czarnym płomieniem (klasa 2.1),
- symbol gazów pod ciśnieniem: etykieta pokazująca butlę gazową (klasa 2).

Piktogramy GHS (Globally Harmonized System):

- GHS02: symbol płomienia, wskazujący na łatwopalność,
- GHS04: symbol butli gazowej, wskazujący na gazy pod ciśnieniem.

Etykiety wskazujące właściwości fizyczne i chemiczne:

- informacje o zagrożeniu wybuchem,
- informacje o konieczności odpowiedniej wentylacji i środkach bezpieczeństwa.

7.2. Kluczowe regulacje krajowe i unijne

Wodór funkcjonuje na styku wielu sektorów gospodarki: energetyki, transportu, przemysłu, chemii, gospodarki odpadami oraz ochrony środowiska. Regulacje dotyczące wodoru nie są jeszcze w pełni zharmonizowane i stale ewoluują, ale można wskazać kilka kluczowych obszarów:

1. **Normy bezpieczeństwa technologii wodorowych** - obejmujące projektowanie i użytkowanie instalacji.
2. **Przepisy budowlane i instalacyjne** - m.in. dotyczące stref zagrożenia wybuchem.
3. **Prawo energetyczne i ustawy sektorowe** - w tym planowane regulacje rynku wodoru (H2 Act w UE).
4. **Prawo ochrony środowiska** - decyzje środowiskowe, emisje, gospodarka wodna.
5. **Przepisy transportowe** - homologacje, zasady tankowania, infrastruktura transportowa.
6. **Prawo chemiczne** - klasyfikacja, rejestracja i zakres stosowania materiałów.

Duży wpływ na rozwój sektora wodorowego ma również unijny „pakiet wodorowy”, m.in. *Renewable Energy Directive*, *Delegated Acts on Hydrogen*, oraz regulacje dotyczące certyfikacji wodoru odnawialnego i niskoemisyjnego.

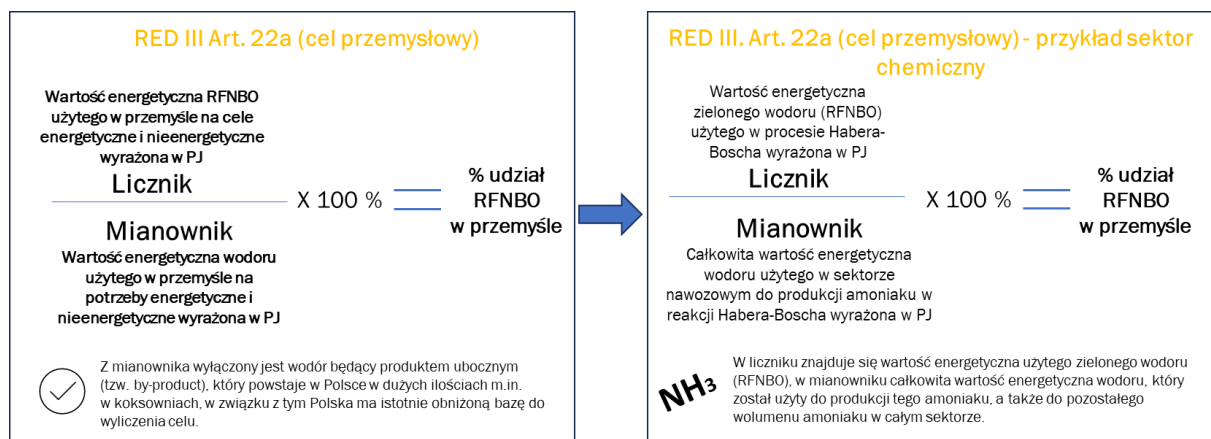
Jedną z najważniejszych dyrektyw dotyczących wodoru jest RED III. Stanowi ona o odnawialnych źródłach energii i zakłada cele wykorzystania paliw odnawialnych pochodzenia niebiologicznego (RFNBO) w sektorze przemysłu oraz transportu. Jej przyjęcie wiąże się z powstaniem cząstkowych celów na poziomie państw członkowskich w zakresie wykorzystania RFNBO (w Polsce po implementacji do prawa krajowego). Cele RFNBO są podstawowym mechanizmem dekarbonizacji sektorów trudnych do elektryfikacji w całej UE.

Jakie cele % wprowadza dyrektywa RED III i rozporządzenie REFuelEU Aviation?	Jakie są wymogi dla paliw RFNBO?	Jak cele RFNBO wpłyną na przemysł i transport?
Art. 22a RED III (cel przemysłowy)	Wymogi aktów delegowanych do dyrektywy RED II	Dekarbonizacja obecnych procesów wykorzystujących wodór - przejście z użycia wodoru szarego na paliwa RFNBO głównie w sektorze chemicznym, rafineryjnym i petrochemicznym
Art. 25 RED III (cel transportowy)	Rozporządzenie delegowane KE 2023/1184 do RED II	Wodór w nowych zastosowaniach - wykorzystanie RFNBO w sektorach, w których nie występował wodór m.in. hutnictwo metali żelaznych i nieżelaznych, cementownie
Art. 25 RED III (transport morski)	Rozporządzenie delegowane KE 2023/1185 do RED II	Dekarbonizacja transportu - dostarczanie paliw RFNBO do różnych sektorów transportu jako paliwa docelowego, oczyszczanie paliw ropopochodnych z użyciem wodoru RFNBO
REFuelEU Aviation (transport lotniczy)	Ścisłe wymogi w zakresie zasilania instalacji produkcji RFNBO (m.in. dodatkowość OZE, korelacja czasowa, korelacja geograficzna)	
	Ścisłe wymogi w zakresie opomiarowania śladu węglowego paliw RFNBO w cyklu życia (obejmuje cały łańcuch wartości wodoru i pochodnych)	

* RED III zakłada dobrowolny cel 1,2% RFNBO w całkowitym zużyciu energii w transporcie morskim do 2030 r. w państwach z dostępem do portów. Rozporządzenie FuelEU Maritime zakłada obowiązkowy 2% cel RFNBO na 2034 r. jeżeli w latach 2030-2031 r. udział RFNBO w miksie paliwowym w transporcie morskim będzie wynosił mniej niż 1%, niniejsza analiza zakłada realizację dobrowolnego 1,2% celu RFNBO do 2030 r. z RED III w ramach sektora morskiego w Polsce.

** REFuelEU Aviation zakłada średni udział lotniczych paliw syntetycznych na poziomie 1,2% w miksie paliwowym w latach 2030-32 r. z czego w poszczególnych latach z tego okresu udział ten nie może być niższy niż 0,7%. Niniejsza analiza zakłada realizację 0,7% celu na 2030 r. Ze względu na miks energetyczny (brak, mały udział energetyki jądrowej) Polska będzie mogła realizować ten cel prawdopodobnie tylko syntetycznymi paliwami RFNBO lub wodorem RFNBO.

Zgodnie z treścią art. 22a RED III, procentowy cel przemysłowy RFNBO będzie wyliczany w formule dzielenia licznika przez mianownik z odpowiednio przyporządkowanymi wartościami. Za realizację celu przemysłowego będą odpowiedzialne podmioty przemysłowe wskazane w klasyfikacji statystycznej NACE Rev. 2 w sekcjach B, C, F, J, niemniej ustanowienie podmiotów zobowiązanych będzie wynikać w dużej mierze od polityki państw członkowskich.



Więcej szczegółów dotyczących dyrektywy RED III: [link](#).

Ważne:

Aktualnie (rok 2026) pojawiają się głosy nawiązujące do rewizji programu i celów RFNBO. Bez względu na ich finalny kształt należy pamiętać, że po 2034 r., wraz z brakiem dostępu w Polsce do darmowych uprawnień do emisji w systemie ETS, wodór odnawialny stanie się dla dużych zakładów przemysłowych w Polsce kluczowym narzędziem do utrzymania rentowności.

7.3. Proces uzyskiwania kluczowych decyzji administracyjnych

Proces przygotowania i realizacji inwestycji wodorowych w Polsce oraz w innych krajach Unii Europejskiej jest złożony i wieloetapowy. Wynika to zarówno z innowacyjnego charakteru technologii wodorowych, jak i z faktu, że wodór klasyfikowany jest jako substancja palna oraz potencjalnie niebezpieczna. W praktyce oznacza to konieczność spełnienia wymagań wynikających z przepisów środowiskowych, budowlanych, energetycznych, transportowych oraz chemicznych. Dla inwestora proces administracyjny często stanowi najbardziej czasochłonny i ryzykowny etap całego cyklu inwestycyjnego.

Analiza lokalizacji i warunków zabudowy

Pierwszym krokiem jest analiza lokalizacji planowanego przedsięwzięcia. Obejmuje ona weryfikację zgodności inwestycji z miejscowym planem zagospodarowania przestrzennego (MPZP), a w przypadku jego braku - uzyskanie decyzji o warunkach zabudowy. W projektach wodorowych szczególne znaczenie mają zapisy dotyczące:

- przeznaczenia terenu (przemysłowe, usługowe, infrastrukturalne),
- dopuszczalnej intensywności zabudowy,
- stref ochronnych, w tym odległości od zabudowy mieszkaniowej,
- ograniczeń wynikających z ochrony środowiska i krajobrazu.

Już na tym etapie wskazane jest przeprowadzenie wstępnej analizy ryzyk, zwłaszcza związanych z bezpieczeństwem procesowym i potencjalnym oddziaływaniem instalacji na otoczenie.

Decyzja środowiskowa i Karta Informacyjna Przedsięwzięcia (KIP)

Jednym z kluczowych dokumentów w procesie administracyjnym jest **Karta Informacyjna Przedsięwzięcia (KIP)**. W projektach wodorowych jest ona bardzo często wymagana, nawet w przypadku instalacji o relatywnie niewielkiej mocy, ze względu na charakter stosowanego paliwa.

KIP powinna zawierać m.in.:

- szczegółowy opis technologii, w tym elektrolizera, systemów sprężania, magazynowania oraz dystrybucji wodoru,
- określenie rodzaju wodoru (techniczny, energetyczny, transportowy) oraz jego ilości,
- identyfikację źródeł emisji, takich jak hałas, emisja ciepła, zużycie mediów (woda, energia elektryczna),
- analizę potencjalnych zagrożeń awaryjnych, w tym ryzyka wybuchu, wycieku lub pożaru,
- wskazanie obszarów chronionych znajdujących się w zasięgu oddziaływania inwestycji.

Częstym błędem popełnianym przez inwestorów jest przygotowanie KIP o charakterze wyłącznie technicznym, bez pogłębionej analizy ryzyk środowiskowych, scenariuszy awaryjnych oraz oddziaływań pośrednich. Takie podejście prowadzi często do żądania uzupełnień przez organy administracji, co znacząco wydłuża proces decyzyjny.

Pozwolenia budowlane i zgłoszenia instalacyjne

Po uzyskaniu decyzji środowiskowej inwestor przystępuje do procedury uzyskania pozwolenia na budowę lub dokonania zgłoszenia robót budowlanych. Projekty wodorowe wymagają zwykle szczegółowej dokumentacji technicznej, obejmującej:

- projekty budowlane i wykonawcze instalacji,
- analizy bezpieczeństwa procesowego,
- opinie rzeczoznawców ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych,
- uzgodnienia z organami nadzoru budowlanego i straży pożarnej.

Równolegle konieczne jest zgłaszanie instalacji w odpowiednich rejestrach, w tym w systemie BDO oraz w systemach dotyczących substancji chemicznych.

Konsultacje społeczne i uzgodnienia branżowe

W przypadku większych inwestycji wodorowych lub lokalizacji w pobliżu zabudowy mieszkaniowej, często wymagane są konsultacje społeczne. Brak odpowiedniej komunikacji z lokalną społecznością może skutkować sprzeciwami, odwołaniami oraz opóźnieniami w realizacji projektu.

Transport i homologacje

Jeżeli projekt obejmuje transport wodoru, konieczne jest spełnienie wymagań wynikających z międzynarodowych regulacji:

- **ADR** - dla transportu drogowego,
- **RID** - dla transportu kolejowego,
- **IMDG Code** - dla transportu morskiego,
- **ICAO Technical Instructions** - dla transportu lotniczego.

Każda z tych regulacji określa wymagania dotyczące opakowań, oznakowania, dokumentacji oraz procedur bezpieczeństwa.

Pozwolenia energetyczne

W przypadku przyłączenia instalacji do sieci elektroenergetycznej lub wykorzystania energii na potrzeby elektrolizy, niezbędne jest uzyskanie odpowiednich warunków przyłączenia oraz pozwoleń energetycznych. Dobrze przygotowana dokumentacja techniczna oraz wczesne konsultacje z operatorami sieci mogą znacząco skrócić ten etap.

Narzędzia zakupowe dla JST – Dialog Konkurencyjny

Dialog konkurencyjny jest jednym z trybów udzielania zamówień publicznych przewidzianych w Prawie zamówień publicznych (Pzp). Zgodnie z art. 169 Pzp, jest to procedura, w której po publicznym ogłoszeniu o zamówieniu zamawiający prowadzi rozmowy z wykonawcami, którzy zgłosili się do udziału w postępowaniu, a następnie zaprasza ich do składania ofert na podstawie rezultatów tych rozmów. W odróżnieniu od klasycznego przetargu otwartego, dialog konkurencyjny zakłada etap negocjacji z rynkiem, którego celem jest ustalenie możliwie najlepszego rozwiązania technicznego, funkcjonalnego i finansowego zamówienia, zanim zamawiający szczegółowo opíše przedmiot zamówienia w SIWZ (Specyfikacja Istotnych Warunków Zamówienia).

Zastosowanie tego trybu jest możliwe tylko w określonych sytuacjach - Pzp odsyła do warunków przewidzianych dla trybu negocjacji z ogłoszeniem, co oznacza, że dialog konkurencyjny może być wykorzystany, gdy zamawiający nie jest w stanie precyzyjnie określić potrzeb albo dostępne rozwiązania rynkowe muszą być dostosowane do specyficznych wymagań, gdy zamówienie obejmuje elementy innowacyjne, ma szczególny stopień złożoności albo gdy nie można opisać przedmiotu zamówienia w wystarczająco precyzyjny sposób.

Dla jednostek samorządu terytorialnego dialog konkurencyjny ma szczególne znaczenie praktyczne. Pozwala on na włączenie ekspertów z rynku, uczelni i środowisk naukowych do procesu tworzenia wymagań technicznych i funkcjonalnych, co jest korzystne zwłaszcza przy dużych inwestycjach infrastrukturalnych, skomplikowanych rozwiązaniach ICT czy innowacyjnych projektach, których zakres i sposób realizacji nie są znane zamawiającemu na etapie przygotowania postępowania. Dzięki temu gmina lub inna JST mogą doprecyzować swoje oczekiwania poprzez dialog, zanim sformułują ostateczne warunki zamówienia i ogłoszą je wykonawcom, co może zwiększyć konkurencyjność ofert i doprowadzić do lepszego dopasowania rozwiązań do specyficznych potrzeb.

W praktyce dialog ten obejmuje szeroki zakres tematów - od warunków technicznych, przez organizację realizacji i kryteria oceny ofert, aż po projektowane postanowienia umowy. Zamawiający prowadzi dialog tak długo, aż jest w stanie wypracować rozwiązania najbardziej odpowiadające jego potrzebom, po czym zaprasza uczestników do składania ofert na tych warunkach.

Taka struktura procedury czyni ją szczególnie przydatną w przypadkach, gdy JST nie dysponuje pełną wiedzą techniczną lub organizacyjną na etapie planowania inwestycji, a jednocześnie chce skorzystać z doświadczenia wykonawców i środowiska naukowego, aby lepiej zdefiniować przedmiot i warunki zamówienia.

Uproszczony schemat postępowania w trybie dialogu konkurencyjnego można znaleźć na stronie: [link](#).

7.4. Certyfikacja zielonego wodoru

Certyfikacja zielonego wodoru staje się jednym z kluczowych elementów rozwoju rynku wodorowego w Europie. Wraz z postępującą transformacją energetyczną rośnie znaczenie transparentności emisji w całym cyklu życia paliwa - od produkcji energii, przez wytwarzanie wodoru, aż po jego dystrybucję i końcowe wykorzystanie.

Zielony wodór to wodór wytwarzany w procesie elektrolizy wody z wykorzystaniem energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych. Aby mógł zostać uznany za zielony, musi spełniać określone kryteria emisyjne zgodne z regulacjami Unii Europejskiej.

Wymogi certyfikacyjne

Proces certyfikacji obejmuje:

- dokumentowanie pochodzenia energii, np. poprzez gwarancje pochodzenia,
- wykazanie rozdzielności pomiędzy źródłem energii odnawialnej a instalacją elektrolizy,
- obliczenie emisji gazów cieplarnianych w całym cyklu życia zgodnie z metodykami UE,
- zapewnienie pełnej transparentności danych oraz ich audytowalności.

Certyfikacja ma szczególne znaczenie dla przemysłu energochłonnego, transportu ciężkiego oraz sektora chemicznego, które w coraz większym stopniu uzależniają dostęp do finansowania i rynków zbytu od śladu węglowego produktów.

W przyszłości certyfikacja zielonego wodoru będzie kluczowa również w kontekście importu i eksportu paliwa. Mechanizmy takie jak [CBAM](#) (Carbon Border Adjustment Mechanism) sprawiają, że brak wiarygodnej certyfikacji może skutkować dodatkowymi kosztami lub ograniczeniami handlowymi.

CertifHy to europejska inicjatywa, która koncentruje się na tworzeniu wiarygodnych standardów i systemu certyfikacji wodoru, w tym wodoru odnawialnego i niskoemisyjnego. Dzięki temu możliwe jest potwierdzenie pochodzenia wodoru oraz spełnienia wymogów klimatycznych, co ma coraz większe znaczenie dla firm działających na rynku energii. Strona opisuje m.in. zasady certyfikacji, proces weryfikacji oraz rozwiązania wspierające rozwój przejrzystego rynku wodoru w Europie.

Więcej informacji na stronie: www.certifhy.eu.

7.5. Standardy techniczne i dobre praktyki

Rozwój technologii wodorowych wymaga stosowania rygorystycznych standardów technicznych oraz sprawdzonych dobrych praktyk przemysłowych. Normy te obejmują zarówno projektowanie, budowę, jak i eksploatację instalacji wodorowych.

Do kluczowych norm międzynarodowych i europejskich należą:

- **ISO 22734-1** - wymagania bezpieczeństwa dla urządzeń do elektrolizy wody,
- **ISO 14687** - jakość wodoru do zastosowań w ogniach paliwowych,
- **ISO 19880-1** - wymagania dla stacji tankowania wodoru,
- **PN-EN 17127:2021-04** - dystrybucja wodoru i procedury tankowania,
- **ISO 17268** - urządzenia do tankowania wodoru,
- **SAE J2579** - wymagania dla zbiorników magazynujących wodór,
- **ISO 17840-4** - oznakowanie pojazdów z napędami alternatywnymi.

Certyfikacja urządzeń oraz systemów wodorowych pełni kluczową rolę w zapobieganiu awariom i wypadkom. Wymagany jest m.in. certyfikat fabryczny producenta urządzenia potwierdzający zgodność z zamówieniem oraz obowiązującymi normami.

Wielu producentów technologii wodorowych opracowuje własne wytyczne oparte na doświadczeniach przemysłu chemicznego i petrochemicznego. Stosowanie takich wytycznych:

- zwiększa bezpieczeństwo eksploatacji,
- ułatwia proces certyfikacji,
- skraca procedury administracyjne,

buduje zaufanie organów nadzoru oraz społeczności lokalnych.

7.6. Zarządzanie ryzykiem w projektach wodorowych

Każdy projekt realizowany jest w warunkach niepewności. Nawet najlepiej zaplanowane działania mogą napotkać przeszkody, które wpłyną na termin, budżet lub jakość efektów, dlatego jednym z kluczowych elementów zarządzania projektem jest identyfikacja i analiza ryzyk.

Ryzyko w projekcie to potencjalne zdarzenie lub okoliczność, które może wystąpić w przyszłości i wpłynąć na realizację projektu. Najczęściej ryzyko kojarzone jest z zagrożeniem, jednak może również oznaczać szansę na osiągnięcie dodatkowych korzyści. Ryzyka dotyczą m.in. harmonogramu, kosztów, zakresu prac, jakości rezultatów oraz zasobów.

Celem określania ryzyk jest zwiększenie szans na powodzenie projektu poprzez wcześniejsze rozpoznanie potencjalnych problemów. Dzięki temu możliwe jest przygotowanie odpowiednich działań zapobiegawczych lub planów awaryjnych. Identyfikacja ryzyk pozwala również podejmować bardziej świadome decyzje oraz lepiej kontrolować przebieg projektu.

Ryzyka powinny być identyfikowane już na etapie planowania projektu, kiedy podejmowane są kluczowe decyzje dotyczące zakresu, budżetu i harmonogramu. Proces ten nie kończy się jednak wraz z rozpoczęciem realizacji projektu. Ryzyka należy regularnie przeglądać i aktualizować, ponieważ w trakcie trwania projektu mogą pojawiać się nowe zagrożenia lub zmieniać się znaczenie tych już zidentyfikowanych.

Za proces identyfikacji ryzyk odpowiada przede wszystkim kierownik projektu, jednak ważne jest zaangażowanie całego zespołu projektowego. Cenne informacje mogą pochodzić również od interesariuszy, ekspertów oraz dostawców, którzy często posiadają doświadczenie z podobnych przedsięwzięć.

Rezultatem procesu określania ryzyk jest lista potencjalnych zagrożeń i szans wraz z oceną ich prawdopodobieństwa oraz wpływu na projekt. Na tej podstawie przygotowywane są strategie postępowania z ryzykiem, co zwiększa przejrzystość, kontrolę i przewidywalność realizacji projektu.

Każdy projekt wodorowy narażony jest na kilka kategorii ryzyka, które należy odpowiednio identyfikować i minimalizować już na etapie koncepcji. Najczęściej występujące ryzyka:

- Technologiczne
- Finansowe i ekonomiczne
- Regulacyjne i prawne
- Rynkowe i popytowe
- Infrastrukturalne
- Bezpieczeństwa i operacyjne

- Środowiskowe i społeczne
- Projektowe i organizacyjne

Zarządzanie ryzykiem wymaga systematycznego podejścia, w tym opracowania matrycy ryzyka, planów awaryjnych oraz struktury odpowiedzialności. Projekty, które wykazują, że potrafią zarządzać ryzykami, są lepiej oceniane przez instytucje finansujące.

Ważne:

Warto podkreślić kwestię realizmu regulacyjnego, czyli ryzyk wynikających z luk w certyfikacji i standardach. W polskich warunkach wciąż kształtuje się krajowy system potwierdzania pochodzenia energii, w tym system gwarancji pochodzenia, który ma być w pełni zintegrowany z rejestrami prowadzonymi przez URE. Oznacza to, że certyfikacja, mimo iż formalnie przewidziana, nie zawsze jest jeszcze procesem w pełni stabilnym, jednolitym i przewidywalnym w praktyce. Z perspektywy inwestora należy więc jasno wskazać, że uzyskanie odpowiednich potwierdzeń, rejestracji i dokumentów może stanowić ryzyko operacyjne, np. w zakresie terminów, wymagań proceduralnych, interpretacji przepisów lub dostępności wymaganych danych. W konsekwencji przedsiębiorca powinien traktować certyfikację nie jako element „automatyczny”, lecz jako obszar potencjalnych trudności, które mogą wpływać na harmonogram realizacji projektu, koszty oraz zakres odpowiedzialności wykonawcy.

Tabela 6 przedstawia przykładowe ryzyka i sposoby ich zapobiegania.

Tabela 6 Przykłady ryzyk w projekcie wodorowym oraz sposoby ich zapobiegania

MAPA RYZYK W PROJEKCIE WODOROWYM								
Grupa ryzyk	Technologiczne	Finansowe i ekonomiczne	Regulacyjne i prawne	Rynkowe i popytowe	Infrastrukturalne	Bezpieczeństwa i operacyjne	Środowiskowe i społeczne	Projektowe i organizacyjne
Opis, przykłady	- Niedojrzałość technologii (niski TRL) - Problemy z integracją technologii z istniejącą infrastrukturą - Niska sprawność lub awaryjność instalacji (elektrolizery, magazyny, ogniwa paliwowe) - Ograniczona dostępność materiałów, komponentów i serwisu	- Wysokie koszty CAPEX technologii wodorowych - Wahania cen energii elektrycznej (kluczowe dla produkcji H₂) - Ryzyko niedoszacowania kosztów operacyjnych (OPEX) - Brak stabilnego modelu biznesowego	- Zmiany przepisów dotyczących wodoru (bezpieczeństwo, certyfikacja, normy) - Brak jednoznacznych regulacji dla wodoru (np. w zakresie magazynowania) - Ryzyko niespełnienia wymogów programów wsparcia lub pomocy publicznej	- Brak lub opóźnienie popytu na wodór - Niepewność co do ceny sprzedaży wodoru - Konkurencja ze strony alternatywnych technologii	- Brak infrastruktury do transportu i dystrybucji wodoru - Ograniczone możliwości magazynowania wodoru - Ograniczenia sieci elektroenergetycznej	- Wysokie wymagania bezpieczeństwa (wybuchowość wodoru) - Brak doświadczenia personelu operacyjnego - Ryzyko przestojów i awarii	- Brak akceptacji społecznej dla instalacji wodorowych - Ryzyko środowiskowe związane z produkcją energii do elektrolizy - Negatywny odbiór projektu jako „greenwashing”	- Opóźnienia w realizacji projektu - Brak kompetencji w zespole projektowym - Odbiór kluczowej kadry - Problemy z koordynacją interesariuszy
Mitygacja, minimalizowanie	- Wybór technologii o potwierdzonym poziomie dojrzałości - Pilotażowe instalacje - Testy rozruchowe - Umowy serwisowe i gwarancyjne z dostawcami technologii i materiałów	- Zabezpieczenie finansowania z dotacji i instrumentów zwrotnych - Długoterminowe kontrakty na energię elektryczną - Szczegółowe założenia finansowe i analizy wrażliwości - Dywersyfikacja źródeł przychodów (np. ciepło, usługi systemowe)	- Stały monitoring zmian legislacyjnych (krajowych i UE) - Konsultacje z instytucjami regulującymi i instytucjami finansującymi - Zaangażowanie doradców prawnych i regulacyjnych - Projektowanie instalacji zgodnie z zasadą „future-proof”	- Zawarcie długoterminowych umów - Współpraca z odbiorcami końcowymi już na etapie projektowania - Elastyczność technologiczna (możliwość zmiany profilu produkcji) - Integracja z lokalnymi klastrami energii lub przemysłem	- Produkcja wodoru blisko miejsca zużycia (on-site) - Wykorzystanie istniejącej infrastruktury - Etapowy rozwój infrastruktury - Wczesne uzgodnienia z operatorami sieci	- Projektowanie zgodne z normami ATEX i ISO - Szkolenia personelu i procedury awaryjne - Systemy bieżącego monitoringu i detekcji wycieków - Regularne audyty bezpieczeństwa	- Transparentna komunikacja z interesariuszami - Wykorzystanie OZE do produkcji wodoru - Analiza śladu węglowego i LCA - Konsultacje społeczne na wczesnym etapie	- Jasna struktura zarządzania projektem - Harmonogram z buforem czasowym - Zapewnienie konkurencyjnych stawek wynagrodzenia, „przenikanie” kompetencji kadry - Regularne raportowanie postępów i spotkania projektowe

VIII. Partnerstwa i konsorcja projektowe

Zakres warsztatu:

Planowanie projektu wodorowego – technologie, rynek, ekonomia, CAPEX/OPEX” oraz „Finansowanie europejskie i międzynarodowe – od HORIZON do CCfD

W projektach wodorowych sukces często zależy od odpowiedniego doboru partnerów oraz efektywnej współpracy w ramach konsorcjów. Partnerstwa umożliwiają dzielenie się wiedzą, technologią i ryzykiem finansowym, a także zwiększają szanse na pozyskanie dofinansowania krajowego i europejskiego. Ten rozdział przedstawia praktyczne wskazówki dotyczące identyfikacji partnerów, tworzenia konsorcjum, kluczowych elementów umowy konsorcjalnej, a także zarządzania relacjami w projekcie.

8.1. Jak identyfikować partnerów?

Pierwszym krokiem w budowaniu konsorcjum jest precyzyjna identyfikacja partnerów oraz ustalenie profili kompetencyjnych, które powinny się uzupełniać. Warto zwrócić uwagę na kilka kryteriów:

- **Komplementarność kompetencji** – partnerzy powinni wносить wiedzę technologiczną, doświadczenie w zarządzaniu projektami, dostęp do rynku lub możliwości finansowe, które uzupełniają zasoby głównego wnioskodawcy.
- **Doświadczenie w realizacji projektów wodorowych lub pokrewnych** – projekty pilotażowe i demonstracyjne wymagają sprawdzonych procedur i umiejętności technicznych – stanowi to ocenę potencjału Konsorcjum do realizacji celów projektu.
- **Wiarygodność finansowa i instytucjonalna** – ważna przy aplikowaniu o wsparcie publiczne i przy współpracy z międzynarodowymi instytucjami finansującymi.
- **Potencjał sieciowy** – partnerzy powinni posiadać kontakty w środowisku naukowym, przemysłowym i instytucjach publicznych, co ułatwia dostęp do ekspertów i źródeł finansowania.
-

Do identyfikacji partnerów mogą posłużyć platformy takie jak **Enterprise Europe Network – (EEN)**, **Funding&Tender Portal (F&T Portal)**. Dodatkowo regionalne klastry technologiczne, targi branżowe oraz bazy danych projektów wodorowych mogą być źródłem pozwalającym na dobór odpowiednich partnerów. Analiza wcześniejszych projektów i publikacji naukowych również pozwala zidentyfikować kompetentnych partnerów. Jedną z takich baz projektów jest **CORDIS**, który gromadzi informacje na temat projektów badawczo-rozwojowych UE. W bazie tej można znaleźć informacje o projektach, składach konsorcjum, publikacjach, raportach i wynikach badań.

8.2. Zasady tworzenia konsorcjum

Tworzenie konsorcjum powinno opierać się na wspólnym celu realizacji projektu oraz jasnych zasadach, które minimalizują konflikty i zapewniają efektywną współpracę. Kluczowe wytyczne obejmują:

- **Wyraźny podział ról i odpowiedzialności** – każdy partner powinien mieć jasno określone zadania i zakres odpowiedzialności w projekcie.
- **Określenie struktury zarządzania** – wskazanie lidera projektu, zespołów roboczych i procedur decyzyjnych.
- **Transparentność finansowa** – wspólne ustalenia dotyczące budżetu, rozliczeń i podziału kosztów oraz przychodów w przypadku komercjalizacji projektu.
- **Zgodność z wymaganiami instytucji finansujących** – niektóre programy wymagają minimalnej liczby partnerów lub obecności podmiotów z określonych krajów/branż.

- **Regularne monitorowanie postępów** – system raportowania i kontrola realizacji kamieni milowych umożliwiają szybkie reagowanie na opóźnienia lub ryzyka.

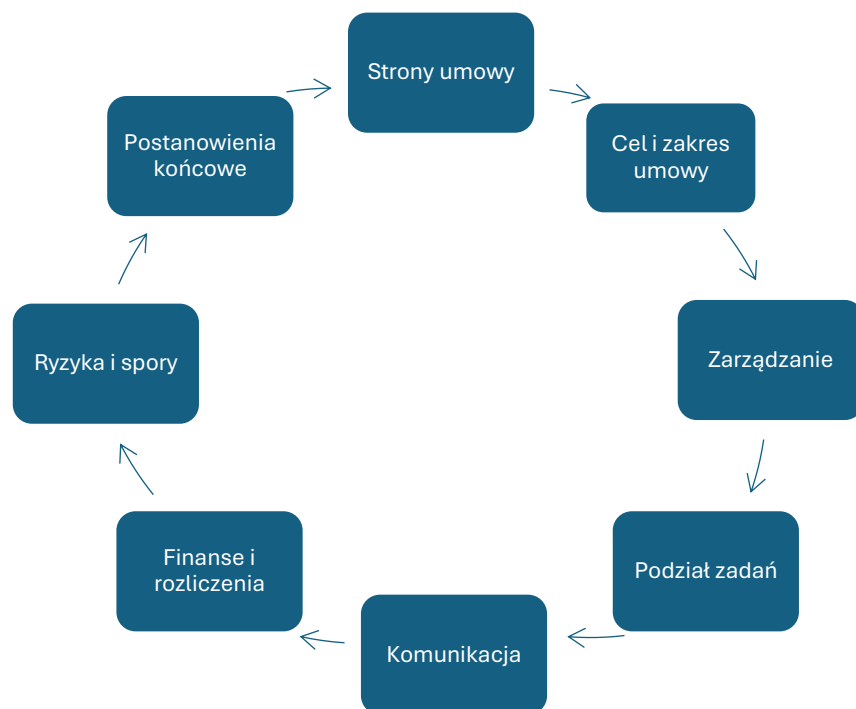
Przestrzeganie tych zasad zwiększa szanse na powodzenie projektu i utrzymanie harmonii w konsorcjum.

8.3. Umowa konsorcjalna – najważniejsze elementy

Umowa konsorcjalna jest formalnym dokumentem regulującym współpracę partnerów. Powinna obejmować m.in.:

- **Cele i zakres projektu** – dokładne określenie, co jest przedmiotem współpracy.
- **Podział obowiązków i odpowiedzialności** – kto odpowiada za poszczególne moduły projektu, w tym kwestie techniczne, administracyjne i finansowe.
- **Zasady finansowania i rozliczeń** – sposób dzielenia kosztów, przychodów oraz procedury raportowania i kontroli.
- **Własność intelektualna** – ustalenia dotyczące praw do wyników badań, patentów i know-how, w tym określenie know-how wnoszonego do projektu.
- **Mechanizmy rozwiązywania sporów** – procedury mediacji, arbitrażu lub inne ustalenia w przypadku konfliktów.
- **Okres obowiązywania i warunki zakończenia współpracy** – wskazanie momentu wygaśnięcia umowy oraz procedur w przypadku rezygnacji partnera.
- **Zasady podziału praw własności intelektualnej** do opracowanych rozwiązań.

Dobrze skonstruowana umowa konsorcjalna minimalizuje ryzyka i stanowi fundament efektywnej współpracy.



Rysunek 19 Funkcje i cele umowy konsorcjalnej

8.4. Relacje i komunikacja w projekcie

Skuteczna współpraca w konsorcjum wymaga regularnej, transparentnej komunikacji:

- **Spotkania cykliczne** – comiesięczne lub kwartalne, w zależności od etapu projektu, pozwalają monitorować postęp i rozwiązywać bieżące problemy.
- **Platformy współpracy online** – ułatwiają dzielenie się dokumentami, harmonogramami i raportami.
- **Procedury rozwiązywania sporów i problemów** – określają, kto i w jakiej kolejności podejmuje decyzje w przypadku opóźnień lub ryzyk.
- **Budowanie kultury zaufania** – otwarta wymiana informacji, dzielenie się doświadczeniami i wspólne rozwiązywanie problemów zwiększa spójność konsorcjum.

8.5. Rola instytucji wspierających

Instytucje wspierające rozwój gospodarki wodorowej odgrywają kluczową rolę w procesie tworzenia konsorcjów i realizacji projektów:

- **Mechanizm Wodorowy (Polska)** – platforma wspierająca finansowanie projektów, doradztwo w aplikowaniu oraz identyfikację partnerów krajowych i zagranicznych.
- **Hydrogen Europe (HE)** – stowarzyszenie branżowe w UE, które umożliwia nawiązywanie kontaktów, wymianę wiedzy oraz współpracę przy międzynarodowych projektach.
- **Hydrogen Europe Research (HER)** – stowarzyszenie branżowe w UE, które umożliwia nawiązywanie kontaktów, wymianę wiedzy oraz współpracę przy międzynarodowych projektach.
- **Enterprise Europe Network (EEN)** – sieć wspierająca współpracę MŚP, dostęp do partnerów technologicznych i biznesowych oraz wsparcie w transgranicznych projektach badawczo-rozwojowych.
- **European Energy Research Alliance (EERA)** – sieć europejskich instytutów badawczych współpracujących nad rozwojem niskoemisyjnych technologii energetycznych. Jej celem jest wspieranie transformacji energetycznej poprzez koordynację badań i innowacji w całej Europie.
- **Krajowe Punkty Kontaktowe** – pomoc merytoryczna, szkolenia, ocena gotowości konsorcjum.

Współpraca z tymi instytucjami zwiększa szanse na znalezienie odpowiednich partnerów, dostęp do finansowania i poprawne wdrożenie projektów wodorowych zgodnie z najlepszymi praktykami.

IX. Obliczanie i znaczenie śladu węglowego w projektach wodorowych

Zakres warsztatu:

Ślad węglowy i zrównoważony rozwój –narzędzia, obowiązki, praktyczne metody obliczeń

Ślad węglowy jest jednym z kluczowych wskaźników oceny wpływu projektów wodorowych na środowisko. Jego obliczanie pozwala nie tylko na spełnienie wymogów regulacyjnych, ale również na zwiększenie wiarygodności projektu w oczach inwestorów, partnerów międzynarodowych i instytucji finansujących.

9.1. Po co liczyć ślad węglowy?

Obliczanie śladu węglowego w projektach wodorowych ma kilka podstawowych celów:

- **Ocena wpływu środowiskowego** – umożliwia identyfikację emisji gazów cieplarnianych w całym cyklu życia projektu, od pozyskania i produkcji surowców, poprzez produkcję i transport wodoru, aż po jego końcowe wykorzystanie. Informacje dotyczące śladu węglowego są często niezbędne do określenia całkowitego śladu węglowego produktów lub usług, z których korzystają również inne podmioty w łańcuchu wartości.
- **Spełnienie wymogów regulacyjnych i finansowych** – wiele programów wsparcia na poziomie Unii Europejskiej oraz w Polsce wymaga raportowania śladu węglowego jako jednego z kryteriów kwalifikowalności projektów. Dane dotyczące emisji są również niezbędne do określania kosztów związanych z systemem handlu uprawnieniami do emisji (EU ETS). Dodatkowo informacje o emisjach są gromadzone i raportowane m.in. za pośrednictwem inicjatyw takich jak Carbon Disclosure Project (CDP), wspierających transparentność i zarządzanie emisjami gazów cieplarnianych.
- **Wsparcie decyzji inwestycyjnych** – uwzględnienie obliczeń śladu węglowego na etapie studium wykonalności oraz projektowania umożliwia porównywanie technologii i wariantów produkcji wodoru pod kątem ich efektywności środowiskowej. Zwiększa to wiarygodność analiz ekonomicznych, ułatwia identyfikację dostępnych mechanizmów dofinansowania oraz pozwala na wczesną weryfikację zgodności projektu z obowiązującymi regulacjami prawnymi
- **Budowanie wizerunku i przewagi konkurencyjnej** – projekty realizowane z uwzględnieniem aspektów środowiskowych mogą łatwiej pozyskiwać partnerów biznesowych, instytucje finansujące oraz klientów wrażliwych na kwestie zrównoważonego rozwoju. Informacja o śladzie węglowym produktu lub usługi bywa warunkiem zawarcia porozumień handlowych, a współczesny rynek coraz częściej preferuje dostawców o możliwie niskim poziomie emisji, w związku z powszechnym dążeniem do dekarbonizacji.

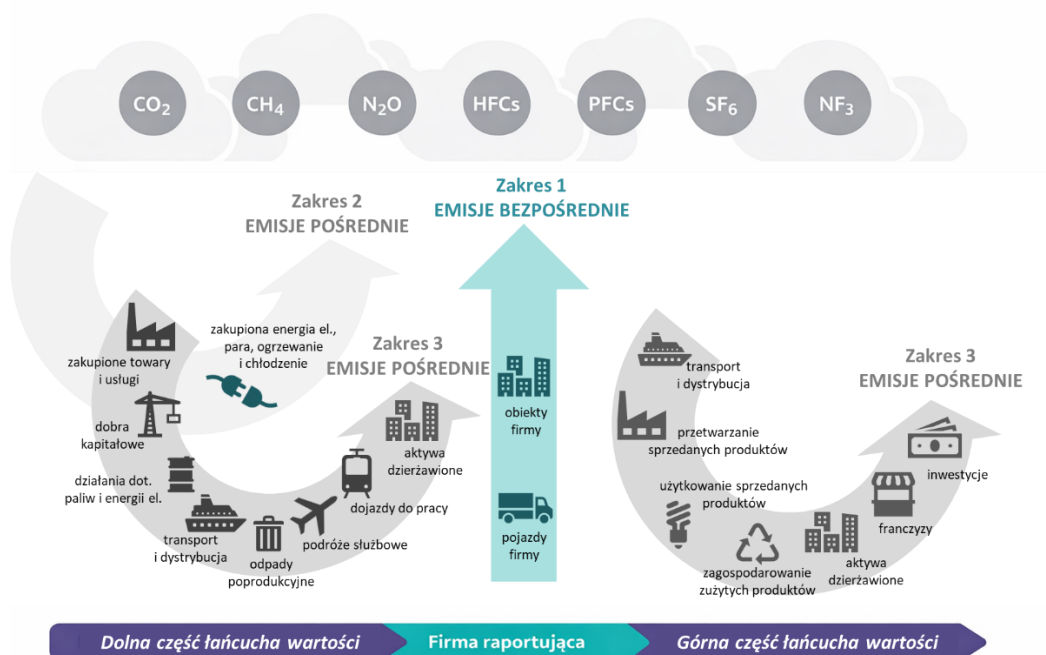
9.2. Podstawy metodologii

Do obliczania śladu węglowego stosuje się kilka powszechnie uznawanych standardów:

- **GHG Protocol**

GHG Protocol to międzynarodowy standard ustanawiający kompleksowe i ujednolicone ramy pomiaru oraz zarządzania emisjami gazów cieplarnianych (GHG), pochodzącymi zarówno z działalności sektora prywatnego, jak i publicznego. Jest on obecnie najbardziej rozpowszechnionym i powszechnie uznawanym na świecie narzędziem do obliczania i raportowania śladu węglowego organizacji, produktów oraz usług.

Standard GHG Protocol został opracowany pod koniec lat 90. XX wieku przez World Resources Institute (WRI) oraz World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) w odpowiedzi na rosnącą potrzebę stworzenia spójnego, międzynarodowego systemu rachunkowości i raportowania emisji gazów cieplarnianych w przedsiębiorstwach i instytucjach.



Rysunek 20 Schemat przedstawiający podział emisji na 3 zakresy oraz ich poszczególne kategorie. (Schemat został zaczerpnięty z oficjalnych materiałów <https://ghgprotocol.org/>)

Metodyka GHG Protocol opiera się na przeliczeniu zużycia energii, paliw oraz materiałów w określonym przedziale czasowym na odpowiadające im wielkości emisji gazów cieplarnianych. Następnie emisje te wyrażane są w ekwiwalencie dwutlenku węgla (CO₂e), co umożliwia ich jednoznaczne, porównywalne i przejrzyste raportowanie.

Zgodnie z GHG Protocol emisje gazów cieplarnianych klasyfikowane są w trzech zakresach (tzw. *scopes*), odzwierciedlających źródło ich powstawania:

Zakres 1 (Scope 1) – emisje bezpośrednie, wynikające ze źródeł będących własnością lub pod bezpośrednią kontrolą organizacji,

Zakres 2 (Scope 2) – pośrednie emisje energetyczne, związane z produkcją zakupionej energii elektrycznej, ciepła, pary technologicznej lub chłodu,

Zakres 3 (Scope 3) – pozostałe emisje pośrednie, powstające w całym łańcuchu wartości, zarówno po stronie dostawców, jak i użytkowników produktów lub usług.

- **Life Cycle Assessment (LCA)**

LCA (Life Cycle Assessment), czyli ocena cyklu życia, to znormalizowana metodologia służąca do kompleksowej oceny oddziaływania produktu, procesu lub usługi na środowisko w całym cyklu życia – „od kołyski do grobu” (*from cradle to grave*). Metodyka LCA obejmuje wszystkie etapy, począwszy od wydobycia i pozyskania surowców, poprzez produkcję i dystrybucję, aż po użytkowanie oraz końcową utylizację lub recykling. Zasady prowadzenia analiz LCA zostały określone w normach ISO 14040 i ISO 14044.

Początki analiz cyklu życia sięgają przełomu lat 60. i 70. XX wieku, kiedy zaczęły powstawać pierwsze badania oceniające wpływ produktów na środowisko w ujęciu całościowym. Kluczowym etapem rozwoju tej metodyki było opublikowanie w 2006 roku ustandaryzowanych norm ISO 14040/44, które ustanowiły jednolite ramy prowadzenia analiz LCA.

Metodyka LCA polega na identyfikacji oraz ilościowym określeniu strumieni materiałowych i energetycznych w poszczególnych etapach cyklu życia, a następnie na przeliczeniu ich na potencjalne oddziaływania środowiskowe, w tym emisje substancji szkodliwych. Emisje gazów cieplarnianych wyrażane są zazwyczaj jako ekwiwalent dwutlenku węgla (CO₂e) w odniesieniu do jednostki funkcjonalnej, np. jednostki wytworzonego produktu lub świadczonej usługi.

Zgodnie z metodyką LCA analiza cyklu życia może być prowadzona w różnych zakresach, w zależności od celu opracowania, np.:

- a) od kołyski do grobu (cradle to grave) – obejmująca pełny cykl życia produktu,
- b) od kołyski do bramy (cradle to gate) – kończąca się na etapie opuszczenia zakładu produkcyjnego,
- c) od kołyski do kołyski (cradle to cradle) – uwzględniająca zamknięty obieg materiałów i recykling,
- d) od bramy do bramy (gate to gate) – obejmująca wyłącznie wybrany etap procesu produkcyjnego.

- **PEF (Product Environmental Footprint)**

PEF (Product Environmental Footprint), czyli środowiskowy ślad produktu, to metodologia opracowana przez Komisję Europejską, służąca do oceny wpływu produktów i usług na środowisko w całym ich cyklu życia. PEF stanowi ujednolicony sposób ilościowej oceny oddziaływań środowiskowych, oparty na zasadach analizy cyklu życia (LCA), którego celem jest zapewnienie porównywalności, wiarygodności oraz spójności wyników w obrębie rynku Unii Europejskiej.

Koncepcja PEF została zapoczątkowana na początku drugiej dekady XXI wieku w odpowiedzi na rosnącą liczbę zróżnicowanych metod oceny oddziaływań środowiskowych produktów oraz potrzebę ich ujednolicenia. W 2013 roku Komisja Europejska opublikowała Zalecenie 2013/179/UE, wprowadzające metodologie Product Environmental Footprint (PEF) oraz Organisation Environmental Footprint (OEF). W kolejnych latach prowadzono pilotażowe prace nad rozwojem szczegółowych zasad dla poszczególnych grup produktów, tzw. PEF Category Rules (PEFCR), które miały na celu dalsze zwiększenie porównywalności wyników.

Metodyka PEF opiera się na analizie cyklu życia produktu i obejmuje wszystkie istotne etapy jego istnienia, od pozyskania surowców, przez produkcję i dystrybucję, aż po użytkowanie oraz koniec życia produktu. W ramach analizy identyfikowane są strumienie materiałowe i energetyczne, a następnie przeliczane na zestaw wskaźników oddziaływania środowiskowego, obejmujących m.in. zmiany klimatu, zużycie zasobów, wpływ na ekosystemy oraz zdrowie człowieka.

Istotnym elementem PEF jest stosowanie jednoznacznie zdefiniowanej jednostki funkcjonalnej, precyzyjnych granic systemu oraz ujednoliconych baz danych i metod oceny oddziaływań. Dzięki temu metodologia ta umożliwia porównywanie produktów o podobnej funkcji w sposób bardziej obiektywny i transparentny. W kontekście polityki klimatycznej i środowiskowej UE, PEF stanowi istotne narzędzie wspierające zrównoważone projektowanie produktów, raportowanie środowiskowe oraz podejmowanie decyzji regulacyjnych i rynkowych.

Zastosowanie tych metodologii zapewnia spójność, wiarygodność i możliwość porównania wyników z innymi projektami.

9.3. Jak policzyć ślad węglowy dla poszczególnych etapów

Wybór metodologii

Ślad węglowy poszczególnych etapów produkcji wodoru w ramach łańcucha wartości powinien być wyznaczany z wykorzystaniem metodologii LCA lub PEF, przy czym dopuszcza się również zastosowanie standardu GHG Protocol. Metodyki LCA oraz PEF są szczególnie dobrze przystosowane do obliczania emisji gazów cieplarnianych w odniesieniu do jednostki produktu, co ma kluczowe znaczenie w analizie procesów produkcji wodoru.

W zależności od celu analizy oraz dostępności danych emisje mogą być wyznaczane w pełnym zakresie cyklu życia, obejmującym wszystkie etapy „od kołyski do grobu”, lub w zakresie uproszczonym, poprzez analizę poszczególnych procesów produkcyjnych, zgodnie z podejściem „od bramy do bramy”.

Produkcja wodoru

Ślad węglowy zależy od technologii produkcji:

- Elektroliza wody – emisje zależą od źródła energii elektrycznej. Niskoemisyjny wodór z OZE ma minimalny ślad węglowy, podczas gdy wodór z energii z paliw kopalnych (szary wodór) generuje znaczące emisje.
- Reforming gazu – emisje obejmują zarówno spalanie paliwa, jak i proces chemiczny wytwarzający CO₂. Wariant z wychwytem i składowaniem CO₂ (niebieski wodór) znacząco redukuje ślad węglowy.

Na podstawie wybranej technologii produkcji, zidentyfikowanych procesów, przepływów materiałowych i energetycznych oraz dostępnych danych pomiarowych należy określić wielkość emisji gazów cieplarnianych, wyrażoną jako ekwiwalent dwutlenku węgla (CO₂e), przypadającą na produkcję jednostki wodoru (np. kg, tony lub Nm³).

Dla przykładu, produkcja 10 ton wodoru metodą elektrolizy wymaga zużycia około 500 MWh energii elektrycznej, co odpowiada 50 MWh na tonę wodoru. Przy emisji energii na poziomie 700 kg CO₂e/MWh, całkowita emisja związana z wytworzeniem tony wodoru z energii z miksu sieci elektroenergetycznej wynosi około 35 000 kg CO₂e.

Transport wodoru

Obliczenia obejmują:

- zużycie energii w rurociągach, przy sprężaniu lub schładzaniu wodoru,
- transport drogowy lub morski, uwzględniając paliwo pojazdów i efektywność logistyczną,
- mieszanie z gazem w sieci (H₂ blends), gdzie uwzględnia się udział procentowy wodoru w gazie.

Zużycie energii w transporcie wodoru, zarówno w rurociągach, jak i w transporcie drogowym czy morskim, należy przeliczyć z wykorzystaniem odpowiednich wskaźników emisji dla danego rodzaju nośnika energii, a następnie odnieść do jednostki transportowanego wodoru.

Dla przykładu, przewóz 30 ton wodoru na odległość 100 km cysterną samochodową wymaga zużycia około 8 litrów oleju napędowego, co odpowiada około 0,25 litra oleju napędowego na transport 1 tony wodoru. Przy emisji na poziomie 2,4 kg CO₂e na litr paliwa, emisja związana z transportem wodoru wynosi około 0,6 kg CO₂e na tonę przetransportowanego wodoru.

Wykorzystanie wodoru

Ślad węglowy zależy od sektora i technologii zastosowania:

- w przemyśle – uwzględnia emisje związane z procesami chemicznymi lub cieplnymi,
- w energetyce – emisje z ogniw paliwowych lub turbin gazowych, jeśli wykorzystywany jest wodór nie całkowicie zeroemisyjny,
- w transporcie – emisje wynikające z wytworzenia wodoru dla floty pojazdów oraz logistyki tankowania.

Zużycie wodoru w procesach energetycznych oraz przemysłowych może powodować powstanie produktu lub energii, która charakteryzuje się pewnym śladem węglowym. Przy wykorzystaniu odpowiednich wskaźników oraz danych z tego procesu należy przeliczyć zużycie wodoru w tym procesie na powstały ślad węglowy.

Dla przykładu, ogniwo paliwowe wytwarza energię elektryczną wykorzystując wodór powstały z reformingu parowego. Wartość opałowa wodoru wynosi 33,3 kWh/kg, a wyprodukowanie 1 kg wodoru wiąże się z emisją 10 kg CO₂e. Jeśli sprawność ogniwa paliwowego to 60%, to ilość produkowanej energii na godzinę to 20 kWh. Energia wyprodukowana w ten sposób wiąże się z emisją 0,5 kg CO₂e/kWh.

9.4. Przykładowe narzędzia do obliczeń

Do obliczania śladu węglowego dostępne są różnorodne narzędzia, zarówno krajowe, jak i międzynarodowe:

- **GHG Protocol Calculation Tools** – oficjalne narzędzia obliczeniowe oraz zestawy arkuszy z danymi i współczynnikami wykorzystywanymi w metodologii GHG, zawiera takie arkusze jak np. wskaźniki emisji, arkusz obliczeniowy emisji ze spalania stacjonarnego, spalania mobilnego, urządzeń chłodniczych oraz dane na temat GWP (Global Warming Potential): <https://ghgprotocol.org/calculation-tools>
- **Hydrogen Analysis Resource** – jest to międzynarodowy portal poświęcony rozwojowi wodorowych systemów energetycznych. Znajdują się tam zestawy narzędzi, dokumentów, przewodników i standardów, które pozwalają projektantom i inżynierom bezpiecznie stosować i obliczać ślad węglowy technologii wodorowych i ogniw paliwowych: <https://h2tools.org/>
- **EU Product Environmental Footprint (PEF) Calculator** – narzędzie do oceny wpływu środowiskowego produktów i procesów: <https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pef.htm>
- **Life Cycle Assessment (LCA) software** – narzędzia oraz symulatory, które umożliwiają szczegółowe modelowanie cyklu życia wodoru i innych produktów. Są to takie programy jak np. OpenLCA, SimaPro.

Wybór narzędzia zależy od szczegółowości danych, dostępnych informacji oraz wymogów instytucji finansujących.

9.5. Jak wpływ środowiskowy podnosi atrakcyjność projektu

Świadomość ekologiczna i niski ślad węglowy zwiększają atrakcyjność projektu w kilku obszarach:

- **Finansowanie** – obniżone ryzyka regulacyjne oraz reputacyjne poprawia przewidywalność długoterminowych kosztów. Programy krajowe i unijne premiuje projekty niskoemisyjne, więc projekty spełniające cele klimatyczne łatwiej uzyskują dofinansowania oraz dotacje.
- **Partnerstwa** – projekty związane z niskim śladem węglowym charakteryzują się mniejszym ryzykiem, a firmy, które realizują własne cele klimatyczne i raportowe chętniej współpracują z partnerami, którzy ograniczają lub już posiadają niską emisję.
- **Spoleczna akceptacja** – inwestycje o niskich emisjach i jasno komunikowanych korzyściach klimatycznych są lepiej postrzegane przez społeczności lokalne, co zmniejsza ryzyko protestów, opóźnień i konfliktów. Przejrzystość środowiskowa buduje zaufanie do inwestora i ułatwia dialog z samorządami, mieszkańcami oraz konsumentami.
- **Długoterminowa konkurencyjność** – ograniczenie emisji i zużycia zasobów chroni przedsiębiorców czy przyszłe projekty przed przyszłymi kosztami regulacyjnymi (np. wzrost cen emisji) i zmniejsza ryzyko zablokowanych aktywów. Projekty niskoemisyjne są bardziej elastyczne strategicznie, tzn. łatwiej je skalować, integrować z nowymi technologiami i włączać w zielone łańcuchy dostaw.

Podsumowując, obliczanie śladu węglowego nie jest jedynie obowiązkiem formalnym – stanowi kluczowe narzędzie planowania projektów, pozwala minimalizować ryzyka środowiskowe i zwiększa szanse na sukces finansowy i technologiczny.

X. Narzędzia wspierające rozwój rynku wodorowego

Zakres warsztatu:

Partnerstwa, modele biznesowe i rozwój krajowych podmiotów w łańcuchu wartości wodoru

Rozwój gospodarki wodorowej wymaga nie tylko odpowiednich technologii, ale także wsparcia instytucjonalnego, finansowego i informacyjnego. Na rynku dostępne są różne narzędzia, mechanizmy i bazy danych, które pomagają w planowaniu, finansowaniu i realizacji projektów wodorowych.

10.1. Mechanizm Wodorowy

Mechanizm Wodorowy jest krajową inicjatywą wspierającą rozwój rynku wodoru w Polsce. Został uruchomiony jako część platformy EU Energy & Raw Materials Platform, zgodnie z Rozporządzeniem UE/2024/1789—ma działać do końca 2029 r. Jego głównym celem jest ułatwienie finansowania projektów wodorowych, zarówno dla MŚP, jak i dużych przedsiębiorstw, a także dla jednostek naukowych i samorządów. Mechanizm umożliwia:

- doradztwo w zakresie przygotowania wniosków o dofinansowanie,
- identyfikację potencjalnych partnerów krajowych i zagranicznych,
- dostęp do informacji o aktualnych programach wsparcia i instrumentach finansowych,
- wsparcie w zakresie zgodności projektów z regulacjami środowiskowymi i certyfikacją zielonego wodoru,
- zwiększa przejrzystość rynku,

- daje dostęp do danych o potencjalnych kontrahentach,
- łączenie oferentów i kupujących wodoru i jego pochodne (np. eSAF, amoniak, metanol),
- przepływ informacji o popycie i podaży.

Pierwsze zaproszenie do składania zgłoszeń (call for interest) odbyło się 12 listopada 2025. W okresie do 2 stycznia 2026 r. zgłoszono ponad 260 ofert dostaw wodoru i pochodnych, co wskazuje na wysokie zainteresowanie rynku.

Więcej informacji: https://poland.representation.ec.europa.eu/news/komisja-europejska-wprowadza-mechanizm-pilotazowy-dla-ryнку-wodoru-2024-06-03_pl

PODSUMOWANIE:

Mechanizm Wodorowy

- pomaga znaleźć klientów i wolumen
- buduje rynek i kontrakty

10.2. Bank Wodorowy UE

Bank Wodorowy UE (European Hydrogen Bank) został utworzony w celu wsparcia komercjalizacji produkcji zielonego wodoru na dużą skalę w Unii Europejskiej. Jego główne zadania obejmują:

- zapewnienie stabilnych kontraktów sprzedaży wodoru dla producentów i odbiorców,
- finansowanie projektów pilotażowych i demonstracyjnych,
- promowanie standaryzacji technologii i procesów wodorowych w UE,
- organizowanie aukcji wsparcia finansowego,
- dopasowywanie popytu i podaży wodoru,
- tworzenie rynku z przejrzystą ceną i wolumenami.

Bank Wodorowy UE to system wsparcia, który ma:

- zmniejszyć różnicę między kosztami produkcji wodoru a ceną, jaką rynek jest skłonny zapłacić,
- zbudować skalę rynku wodoru w UE,
- przyspieszyć inwestycje i dekarbonizację.

Link:

https://energy.ec.europa.eu/topics/eus-energy-system/hydrogen/european-hydrogen-bank_en

Bank Wodorowy wspiera produkcję wodoru poprzez **organizowanie aukcji (fixed-premium)**, w których producenci wodoru mogą zgłaszać oferty, wskazując ile premii (€/kg H₂) potrzebują, aby projekt stał się opłacalny. Wygrywają ci, którzy oferują najniższy poziom wsparcia.

Dotychczasowe wyniki aukcji:

- pierwsza pilotażowa aukcja przyciągnęła 132 oferty z 17 krajów, planujące ok. 8,5 GW mocy elektrolizera i ~8,8 mln ton H₂ w 10 lat.
- druga aukcja zgromadziła 61 ofert z 11 krajów, w tym 8 projektów w segmencie morskim granty z drugiej aukcji podpisano dla 6 projektów o łącznym wsparciu ~€270 mln.

Projekty te muszą osiągnąć zasadnicze kamienie milowe:

- finał inwestycyjny w 2,5 roku od podpisania,
- rozpoczęcie produkcji w ciągu 5 lat od umowy,
- stała premia przez 10 lat po weryfikowanej produkcji.

Dlaczego to jest ważne dla firm?

- Redukcja ryzyka cenowego -wsparcie w postaci stałej premii sprawia, że projekty mogą być bardziej bankowalne i mniej zależne od zmiennych cen rynkowych.
- Lepszy dostęp do rynku-premiowany wodór i jasne dane z aukcji i mechanizmu ułatwiają negocjowanie kontraktów off-take i długoterminowych umów.
- Firmy mogą lepiej planować sprzedaż i inwestycje, bo platforma dostarcza przegląd popytu/podaży.
- Projekty zwycięskie w aukcjach otrzymują premię na 10 lat, która zmniejsza ryzyko finansowania i poprawia IRR inwestycji.

PODSUMOWANIE:

European Hydrogen Bank

- obniża koszt produkcji
- pozwala projektom wystartować

10.4. Bazy danych, raporty i narzędzia analityczne

Do efektywnego planowania i realizacji projektów wodorowych warto korzystać z międzynarodowych i krajowych baz danych oraz raportów branżowych:

- **Hydrogen Europe Reports** – raporty branżowe, przeglądy technologiczne i analizy rynkowe: <https://www.hydrogeneurope.eu>
- **IEA Hydrogen** – baza danych projektów wodorowych, analiza kosztów i prognozy popytu: <https://www.iea.org/topics/hydrogen>
- **Portal Funduszy Europejskich** – rejestr projektów realizowanych w Polsce: <https://www.funduszeuropejskie.gov.pl/strony/o-funduszach/projekty/lista-projektow/#!/domyslne=1>
- **OpenLCA / SimaPro** – narzędzia do analizy cyklu życia (LCA) wodoru i oceny śladu węglowego: <https://www.openlca.org>, <https://simapro.com>
- **European Commission, Energy, Climate change, Environment** – dane energetyczne i informacje o potencjale OZE w Europie:
- https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis_en?prefLang

Korzystanie z tych zasobów pozwala projektodawcom na podejmowanie decyzji opartych na aktualnych danych, identyfikację najlepszych praktyk oraz szybkie reagowanie na zmieniające się warunki rynkowe i regulacyjne.

XI. Przykłady projektów i najlepsze praktyki

Analiza rzeczywistych projektów wodorowych pozwala zrozumieć, jakie podejścia technologiczne, organizacyjne i finansowe przynoszą sukces, a jakie prowadzą do problemów. W tym rozdziale przedstawiono przegląd wybranych projektów w Polsce i Europie, czynniki sukcesu oraz typowe błędy, których warto unikać przy planowaniu nowych inwestycji.

11.1. Przegląd projektów krajowych

W Polsce sektor wodorowy rozwija się dynamicznie, a wiele projektów w fazie pilotażowej lub demonstracyjnej daje wartościowe doświadczenia dla przyszłych inwestycji. Wśród najważniejszych inicjatyw znajdują się:

- **Stacje tankowania autobusów wodorowych w dużych miastach** – projekty w Warszawie, Poznaniu czy Krakowie umożliwiają wprowadzanie transportu publicznego zasilanego wodorem. Dzięki nim przetestowano logistykę tankowania, planowanie tras oraz integrację z miejskimi systemami transportu publicznego.
- **Elektrolizery demonstracyjne w zakładach przemysłowych** – instalacje wytwarzające zielony wodór z energii odnawialnej dla potrzeb procesów przemysłowych. Projekty te pozwalają weryfikować wydajność technologii, efektywność energetyczną oraz koszty produkcji w warunkach polskiego rynku energii.
- **Projekty wodorowe w transporcie drogowym i kolejowym** – wprowadzenie pojazdów ciężarowych i kolejowych zasilanych wodorem. Dzięki nim możliwe jest testowanie systemów tankowania, magazynowania wodoru i integracji z lokalnymi źródłami OZE.

Grupa ORLEN konsekwentnie rozwija swoją działalność we wszystkich ww. obszarach technologii wodorowych. Działanie to stanowi kluczowy element strategii transformacji energetycznej i dekarbonizacji działalności przemysłowej i transportowej. Jej **Strategia Wodorowa 2030** zakłada inwestycje o łącznej wartości **około 7,4 mld zł**, ukierunkowane na rozwój nisko- i zeroemisyjnych technologii produkcji wodoru z odnawialnych źródeł energii oraz poprzez przetwarzanie odpadów, a także na wdrożenia w sektorach mobilności, przemysłu i energetyki. Dzięki temu ORLEN planuje do końca dekady zbudować sieć **10 hubów wodorowych oraz ponad 100 ogólnodostępnych stacji tankowania wodoru w Polsce, Czechach i na Słowacji**, co ma wspierać wzrost wykorzystania tej czystej energii w transporcie drogowym i miejskim.

W portfolio projektów kluczowe miejsce zajmują programy takie jak **Hydrogen Eagle i Green H2**, które mają zwiększyć moce produkcyjne wodoru poprzez elektrolizę zasilaną energią odnawialną oraz technologie „waste-to-hydrogen”. ORLEN pozyskał na nie **ponad 1,7 mld zł dofinansowania z Krajowego Planu Odbudowy**, a ich realizacja ma przyczynić się do osiągnięcia docelowej mocy produkcyjnej wodoru na poziomie **około 0,9 GW do 2035 r.** z przewagą instalacji zlokalizowanych w Polsce.

W praktyce Grupa ORLEN realizuje także projekty użytkowe i infrastrukturalne, jak program **Clean Cities – Hydrogen mobility in Poland**, w ramach którego uruchomiono pierwsze publiczne stacje tankowania i dostarczono dziesiątki ton wodoru do floty miejskich autobusów w kilku polskich miastach. Projekty te zostały wyróżnione nagrodami i wyróżnieniami przez polskie władze oraz wspierane dużymi grantami UE, m.in. z Connecting Europe Facility. Ponadto ORLEN inwestuje w edukację i rozwój kadr poprzez **H2 Academy**, a także uruchomił w Trzebini nowoczesne laboratorium do analizy jakości wodoru, jedno z nielicznych tego typu w świecie, co wzmacnia krajową infrastrukturę badań i certyfikacji.

Grupa Orlen poza komercyjną działalnością rozwija także nowe kompetencje wspólnie z Instytutem Energetyki – Państwowy, Instytutem Badawczym w ramach projektów demonstracyjnych.

Zespół Elektrowni Pątnów-Adamów-Konin (ZEPAK) również rozwija działalność wodorową jako część swojej strategii transformacji energetycznej z paliw kopalnych na nisko- i zeroemisyjne rozwiązania, wykorzystując energię odnawialną do produkcji „zielonego” wodoru. W Elektrowni Konin zainstalowano **pierwszy elektrolizer PEM o mocy 2,5 MW**, który umożliwia produkcję zielonego wodoru na bazie energii elektrycznej wytwarzanej z biomasy, co stanowi praktyczne wdrożenie technologii elektrolizy i wykorzystania OZE w produkcji czystych paliw.

Firma podpisała kontrakt z Hydrogenics Europe N.V. na dostawę zaawansowanego elektrolizera wraz z urządzeniami towarzyszącymi, a produkowany wodór magazynowany jest i dostarczany do mobilnych stacji tankowania, co wspiera rozwój infrastruktury dla pojazdów ciężarowych i autobusów.

ZEPAK uzyskał także pozytywną decyzję środowiskową dla budowy większej wytwórni wodoru o docelowej mocy nawet do 50 MW, co wskazuje na ambitne plany rozbudowy produkcji i potencjalne zwiększenie skali działalności wodorowej w Polsce.

Poza produkcją samego wodoru, grupa realizuje projekty związane z rozwojem infrastruktury tankowania wodoru w miastach takich jak Wrocław, Rybnik, Gdańsk, Gdynia i Lublin, co ma przyspieszyć wdrożenie gospodarki wodorowej i poprawić dostęp do zielonego paliwa dla transportu publicznego i prywatnego.

Lista udanych projektów i dobrych praktyk znajduje się w dokumencie pt. *„Best Practices Demonstrating the Potential of Hydrogen Technologies for Poland, Bulgaria, Lithuania, and Albania”* dostępny pod linkiem:

<https://renewstart.eu/reports-downloads/>

Wnioski płynące z polskich projektów pokazują, że sukces wymaga ścisłej współpracy z samorządami, przygotowania studium wykonalności uwzględniającego regulacje środowiskowe oraz dostosowania rozwiązań technologicznych do lokalnych warunków energetycznych.

11.2. Przegląd projektów europejskich i światowych

Projekty realizowane w Europie i na świecie charakteryzują się większą skalą i bardziej złożoną strukturą konsorcjów. Poniżej załączone zostały narzędzia online, które można wykorzystać do wizualizacji projektów wodorowych w Europie z podziałem na moce produkcji, lokalizacje i przewidywane lata uruchomienia na kontynencie europejskim:

Hydrogen Infrastructure Map Europe – to główna, interaktywna mapa projektów wodoru w UE i krajach sąsiednich, pokazująca projekty na osi czasowej (2030, 2040 i 2050), w tym produkcyjne instalacje H₂, rurociągi, magazyny, terminale i inne elementy infrastruktury.

Link: <https://www.h2inframap.eu/>

Dostępne funkcje mapy:

- Możliwość filtrowania projektów wg kategorii (produkcja, przesył, magazynowanie, terminale).
- Dane pokazane są w formie wizualnej na mapie oraz jako lista projektów z krótkimi opisami.
- Projekty obejmują te, które mają status PCI/PMI (Project of Common Interest / Project of Mutual Interest — projekty strategiczne UE).

Pokazane są dokładne lokalizacje dużych elektrolizerów, hubów wodorowych, elektrowni wodoru oraz planowanych inwestycji produkcyjnych. Można przybliżać regiony Europy i włączać/wyłączać warstwy projektów.

H2 Valley map – Hydrogen Valleys przedstawia zintegrowane regiony produkcji i wykorzystania wodoru (produkcyjne huby „hydrogen valleys”), z danymi o planowanych inwestycjach, wielkości produkcji oraz inwestorach.

Link: <https://h2v.eu/hydrogen-valleys>

Clean Hydrogen Partnership – All our projects — mapa projektów wspieranych przez program UE, zawierających projekty demonstracyjne i produkcyjne.

Link: https://www.clean-hydrogen.europa.eu/projects-dashboard/projects-repository_en

Wśród najbardziej znaczących inicjatyw można wymienić:

Holandia

Port Rotterdam, który stanowi dziś kluczowy filar europejskiej transformacji energetycznej, szczególnie w obszarze rozwoju gospodarki wodorowej. W ramach szeroko zakrojonych inwestycji przewiduje się m.in. wdrożenie dużych instalacji elektrolizy zasilanych energią z morskich farm wiatrowych oraz rozbudowę sieci rurociągów wodorowych, które mają połączyć Rotterdam z centrami przemysłowymi w Holandii i Niemczech. Dzięki temu port ma pełnić funkcję głównego europejskiego hubu wodorowego, integrując produkcję lokalną z importem wodoru i jego nośników, takich jak amoniak czy LOHC.

Szczególnym elementem wartości dodanej portu Rotterdam jest zdolność do testowania innowacyjnych technologii w środowisku przemysłowym. Jednym z kluczowych projektów tego typu jest **MULTIPLHY** – przedsięwzięcie realizowane w rafinerii Neste w Rotterdamie. Projekt ten obejmuje demonstrację największego na świecie wysokotemperaturowego elektrolizera SOEC o mocy 2,6 MW, który pracuje w warunkach przemysłowych i produkuje ponad 60 kg wodoru odnawialnego na godzinę. Instalacja wykorzystuje ciepło procesowe, co znacząco obniża zużycie energii elektrycznej i pozwala osiągnąć sprawność rzędu nawet 84% – wynik trudny do uzyskania w klasycznych elektrolizerach niskotemperaturowych. MULTIPLHY pokazuje, że wysokotemperaturowa elektroliza może odegrać kluczową rolę w dekarbonizacji przemysłu rafineryjnego, zastępując wodór produkowany z paliw kopalnych bardziej zrównoważonym odpowiednikiem. Znaczenie projektu wykracza jednak poza samą rafinerię Neste. MULTIPLHY stanowi dowód, że port Rotterdam może pełnić funkcję poligonu doświadczalnego dla technologii wodorowych o znaczeniu strategicznym dla całej Europy.

Niemcy

Wśród najważniejszych przedsięwzięć na pierwszym miejscu należy wymienić budowę **narodowej sieci wodorowej (Wasserstoff-Kernnetz)**, której celem jest połączenie kluczowych regionów produkcji, magazynowania i konsumpcji wodoru. Zatwierdzona w **październiku 2024 r. sieć obejmuje 9 040 km rurociągów**, z czego ok. 60% stanowią przekształcone gazociągi, przy planowanych nakładach inwestycyjnych rzędu 18,9 mld euro. To podstawowy element infrastrukturalny, który ma umożliwić pełnoskalowe wykorzystanie wodoru w przemyśle oraz w energetyce do 2032 r.

Drugim kluczowym obszarem są duże projekty produkcyjne oparte na elektrolizie, których lista dynamicznie rośnie. Wśród nich znajdują się m.in. kompleks Green Wilhelmshaven (1000 MW),

HydrOxy Hub Walsum (520 MW), a także projekty firm BP, STEAG i Deutsche ReGas. Niemcy zakładają osiągnięcie ponad 100 GW mocy elektrolizerów w perspektywie 2030+, co ma umożliwić wytwarzanie wodoru na potrzeby przemysłu stalowego, chemicznego czy rafineryjnego. Projekty te stanowią fundament krajowego przejścia na technologie niskoemisyjne.

Istotną rolę odgrywają również projekty IPCEI (Important Projects of Common European Interest). Komisja Europejska zatwierdziła 24 niemieckie przedsięwzięcia obejmujące cały łańcuch wartości wodoru — od produkcji po zastosowanie końcowe. Łączna wartość finansowania ze strony niemieckich władz wynosi 4,6 mld euro, co czyni ten pakiet jednym z największych programów wsparcia gospodarki wodorowej w Europie. IPCEI stanowią filar europejskiej współpracy technologicznej oraz zabezpieczania przyszłych dostaw wodoru odnawialnego dla niemieckiego przemysłu. [gtai.de]

Hiszpania/Portugalia

Hiszpania i Portugalia dzięki znacznym zasobom energii odnawialnej dążą do tego, aby stać się jednymi z najważniejszych producentów zielonego wodoru w Europie. Ich ambicje materializują się w szeregu projektów strategicznych, spośród których zdecydowanie najważniejszym jest H2Med, ponieważ tworzy transgraniczny system infrastruktury przesyłowej wodoru, który połączy Portugalię, Hiszpanię, Francję oraz Niemcy. W ramach H2Med powstają dwie kluczowe magistrale: CelZa – rurociąg łączący Portugalię i Hiszpanię na trasie Celorico da Beira – Zamora oraz BarMar – podmorski gazociąg między Barceloną a Marsylią. CelZa ma umożliwić przesył do 0,75 mln ton wodoru rocznie, natomiast BarMar – nawet do 2 mln ton rocznie, co stanowi około 10% docelowego europejskiego zużycia wodoru w latach 30. XXI wieku. H2Med został oficjalnie uznany za Projekt Wspólnego Zainteresowania (PCI) i uzyskał pełne wsparcie finansowe UE dla etapu studialnego, natomiast jego uruchomienie planowane jest na 2032 rok.

Przeprowadzono już szeroko zakrojone badania geotechniczne i środowiskowe na potrzeby BarMar, potwierdzając techniczną wykonalność podmorskiej trasy. Projekt uzyskał również silne wsparcie polityczne – przywódcy Francji, Hiszpanii i Portugalii ogłosili jego realizację jeszcze w 2022 r., a w 2023 r. formalnie dołączyły do niego Niemcy, co otworzy drogę do transportu wodoru z Półwyspu Iberyjskiego do największych odbiorców przemysłowych Europy. Kolejne etapy – konsultacje publiczne, porozumienia komercyjne, decyzje inwestycyjne oraz alokacja przepustowości – rozplanowano na lata 2026–2029.

Projekt odgrywa rolę integratora europejskiej infrastruktury i umożliwia budowę tzw. „południowo-zachodniej autostrady energetycznej”, spinającej ośrodki produkcji zielonego wodoru w Hiszpanii i Portugalii z odbiorcami w Niemczech i Francji. System o długości około 6000 km (łącznie planowanych i istniejących odcinków) ma połączyć obszary o wysokim potencjale OZE z największymi rynkami przemysłowymi. Dzięki temu Półwysep Iberyjski może stać się kluczowym „wejściem do Europy” dla zielonego wodoru – zarówno własnej produkcji, jak i ewentualnego importu z Afryki Północnej.

Oprócz H2Med oba kraje realizują także inne strategiczne inicjatywy na rynku wodoru. Hiszpania rozwija tzw. hydrogen valleys, koncentrując się m.in. na Kastylia-La Manchy, Andaluzji oraz regionie Walencji, natomiast Portugalia rozwija swoje kompetencje w obszarze produkcji wodoru na bazie energii słonecznej, planując budowę dużych elektrolizerów w Sines – jednym z największych portów energetycznych w Europie.

Analiza projektów zagranicznych pokazuje, że kluczowe znaczenie ma integracja sektorów, elastyczność technologiczna oraz szerokie konsorcja łączące przemysł, naukę i władze lokalne.

11.3. Kluczowe czynniki sukcesu

Analiza polskich i zagranicznych projektów pozwala zidentyfikować kilka uniwersalnych czynników, które decydują o powodzeniu inwestycji wodorowych:

1. **Starannie przygotowane studium wykonalności** – analiza technologii, kosztów, rynku, regulacji i śladu węglowego.
2. **Dobrze dobrane partnerstwa i konsorcja** – udział podmiotów komplementarnych kompetencyjnie: przemysł, nauka, administracja publiczna, MŚP.
3. **Zrozumienie i uwzględnienie regulacji** – zgodność z normami technicznymi, prawem energetycznym, ochrony środowiska i bezpieczeństwa.
4. **Elastyczność technologiczna** – możliwość dostosowania projektów do zmieniających się warunków rynkowych i technologicznych.
5. **Wczesne planowanie finansowania i wykorzystanie instrumentów wsparcia** – połączenie dotacji, instrumentów zwrotnych i kapitału własnego.
6. **Transparentność i monitorowanie wyników** – raportowanie śladu węglowego i wskaźników ekonomicznych zwiększa wiarygodność w oczach inwestorów i partnerów.

11.4. Powtarzające się błędy i jak ich unikać

Pomimo sukcesów wiele projektów wodorowych napotyka na powtarzające się problemy. Do najczęściej występujących błędów należą:

- **Niedoszacowanie kosztów i czasu realizacji** – często związane z niedostateczną analizą lokalnych uwarunkowań energetycznych i infrastrukturalnych. Rozwiązaniem jest rzetelne studium wykonalności i scenariusze alternatywne.
- **Brak odpowiednich partnerstw** – projekty realizowane samodzielnie przez jeden podmiot rzadko osiągają skalę i rentowność. Należy wcześniej budować konsorcja i zabezpieczać wsparcie eksperckie.
- **Nieprzestrzeganie norm bezpieczeństwa i regulacji** – może prowadzić do opóźnień lub zatrzymania inwestycji. Kluczowa jest wczesna analiza wymogów prawnych i certyfikacyjnych.
- **Zaniedbanie analizy rynku i odbiorców** – brak realnego zapotrzebowania na wodór w danym regionie powoduje trudności w sprzedaży i rentowności.
- **Pomijanie śladu węglowego** – w projektach finansowanych publicznie lub w UE brak raportowania wpływu środowiskowego może skutkować odrzuceniem wniosku o wsparcie.

Unikanie tych błędów wymaga systematycznego podejścia do planowania, regularnego monitorowania postępów projektu oraz aktywnego zarządzania ryzykiem.

XII. Podsumowanie i check-listy

Budowa Local Content rynku wodorowego - dlaczego lokalne wdrożenia są kluczowe

Rynek wodorowy w Europie i na świecie przechodzi obecnie jedną z najszybszych transformacji wśród sektorów energetycznych. Jeszcze kilka lat temu dyskusje koncentrowały się głównie na koncepcjach teoretycznych i planach. Dziś kierunek określają realne wdrożenia, nacisk na konkurencyjność przemysłu, a także nowe odkrycia naukowe, które mogą w przyszłości zmienić architekturę rynku.

Coraz więcej państw i sektorów przemysłowych sygnalizuje konieczność odejścia od nadmiernie skomplikowanych regulacji, które blokują tempo inwestycji. Europa musi przejść na podejście pragmatyczne, które będzie wspierało szybkie wdrożenia i konkurencyjność przemysłu, a nie dusiło go nadmiarem kryteriów i formalnych wymogów. Aktualnie panuje trend wśród europejskich liderów przemysłu, którzy wskazują, że wodór jest dziś przede wszystkim narzędziem reindustrializacji oraz wzmacniania suwerenności gospodarczej Europy. Silnym sygnałem była wystąpienie prezydenta Francji Emmanuela Macrona podczas Industrial Summit w Antwerpii (luty 2026), gdzie otwarcie skrytykował unijne zasady dotyczące zielonego wodoru, określając je jako „absurdalne” i „paraliżujące skalowanie” projektów wodorowych.

W tym samym duchu utrzymana była Deklaracja z Antwerpii (2026) podpisana przez ponad 1300 europejskich firm i organizacji przemysłowych, domagających się uproszczenia regulacji, obniżenia kosztów energii oraz realnego wsparcia produkcji „Made in Europe”. Dokument podkreśla, że utrzymanie miejsc pracy oraz konkurencyjności europejskiego przemysłu jest równie ważne, co cele klimatyczne.

W praktyce oznacza to, że przyszłe regulacje będą coraz bardziej wspierały wdrożenia lokalne, projekty pilotażowe, elastyczne definicje wodoru oraz inwestycje w łańcuchy dostaw.

Najważniejszym etapem rozwoju gospodarki wodorowej są projekty pilotażowe i realne instalacje, w których lokalne firmy zdobywają doświadczenie, rozwijają kompetencje i budują bazę serwisową. Europejski trend jest jasny: projekty laboratoryjne i „strategie na papierze” nie wystarczą, aby region był konkurencyjny. Liczą się:

- ekosystem MŚP przygotowany do pracy jako podwykonawcy,
- wdrożenia w zakładach przemysłowych, ciepłowniach i transporcie,
- lokalne łańcuchy wartości, które pozostawiają wartość dodaną w regionie,
- współpraca uczelni z biznesem, aby technologie były rozwijane i testowane lokalnie.

Każdy projekt wdrożeniowy regionu tworzy lokalny know how, który staje się przewagą konkurencyjną.

Rozwój gospodarki wodorowej w Europie – a szczególnie w Polsce – oznacza nie tylko budowę elektrolizerów i infrastruktury, ale przede wszystkim tworzenie lokalnego łańcucha wartości, który daje miejsca pracy, zwiększa odporność regionów oraz wzmacnia krajową konkurencyjność.

Dlaczego Local Content jest kluczowy dla Wielkopolski?

Według *Wodorowej Mapy Polski* (GAZ-SYSTEM 2025), do 2040 roku Wielkopolska znajdzie się w gronie województw o największym krajowym zapotrzebowaniu na wodór, przy jednocześnie znacznie mniejszym potencjale produkcyjnym w porównaniu do regionów północno-zachodnich (Lubuskie, Pomorskie, Zachodniopomorskie). Oznacza to, że Wielkopolska:

- będzie netto importerem wodoru,
- musi budować regionalny ekosystem firm,

- powinna rozwijać lokalne kompetencje serwisowe i instalacyjne,
- może stać się hubem badawczo-wdrożeniowym, nawet jeśli jej zasoby produkcyjne będą mniejsze.

W takiej sytuacji rozwój Local Content nie jest opcją – jest koniecznością, która warunkuje bezpieczeństwo dostaw, konkurencyjność przedsiębiorstw i realną możliwość wdrożenia projektów przez JST.

Rola MŚP jako lokalnych podwykonawców technologii wodorowych

Firmy z sektora MŚP mogą w praktyce pełnić kilkanaście wyspecjalizowanych ról, które nie wymagają produkcji elektrolizerów, ale są fundamentem funkcjonowania całego systemu. W praktyce oznacza to, że nawet firmy, które dziś działają w branżach: HVAC, automatyki, budowlanej, metalowej, chemicznej, IT, logistyki czy instalacji przemysłowych – mogą stać się kluczowymi podwykonawcami.

Najważniejsze obszary, w których MŚP z Wielkopolski mogą wejść do łańcucha dostaw

1. Instalacje i usługi techniczne

- montaż i integracja kontenerowych elektrolizerów,
- instalacje wodne, chłodzenia i uzdatniania,
- budowa kompresorowni i układów magazynowania,
- prace elektryczne i przyłączeniowe.

2. Serwis i utrzymanie ruchu

(kluczowy element Local Content – firmy lokalne mogą być dostępne szybciej niż globalni dostawcy)

- serwis elektrolizerów,
- diagnostyka i monitoring instalacji,
- układy bezpieczeństwa: detekcja H₂, systemy EX.

3. Produkcja komponentów pomocniczych

- zbiorniki niskociśnieniowe, elementy konstrukcyjne, ramy, fundamenty,
- armatura przemysłowa, uszczelnienia i elementy PPOŻ,
- systemy automatyki i sterowania.

4. Logistyka i transport

- przewóz wodoru w butlach lub H₂trailers,
- operatorzy magazynów, hubów logistycznych.

5. Cyfryzacja i AI

- modele predykcyjne zużycia energii i wodoru,
- cyberbezpieczeństwo infrastruktury krytycznej.

Współpraca nauki i biznesu – filar przewagi

Dynamiczne odkrycia naukowe, takie jak odnalezienie 46 mln ton naturalnego, białego wodoru w Lotaryngii (Folschviller, Francja) przez CNRS i GeoRessources (2025–2026), pokazują, że sektor wodorowy zmienia się z miesiąca na miesiąc. To odkrycie:

- może redefiniować ekonomię wodoru w Europie,
- podkreśla znaczenie geologii, badań i innowacji,
- wyjaśnia, dlaczego współpraca JST–MŚP–uczelnie powinna być stałym elementem strategii regionu.

Wielkopolska – z silnym zapleczem akademickim (Politechnika Poznańska, UAM, Uniwersytet Przyrodniczy, Instytut Chemii Bioorganicznej PAN) – może pełnić rolę centrum badawczo-rozwojowego technologii dla firm produkcyjnych i integratorów.

Model współpracy nauki i biznesu powinien obejmować:

- wspólne prace B+R,
- demonstratory i stanowiska pilotażowe,
- wspólne programy kształcenia dla serwisantów, inżynierów i operatorów,
- tworzenie regionalnych centrów kompetencji wodorowych.

Cztery kluczowe „zadania” dla interesariuszy w Wielkopolsce

1. Zbudować regionalne kompetencje techniczne i serwisowe

Firmy MŚP powinny rozwijać usługi związane z instalacją, integracją i serwisowaniem technologii wodorowych, w tym systemów automatyki, bezpieczeństwa EX oraz modułów pomocniczych. To fundament lokalnego łańcucha wartości i niezależności serwisowej regionu.

2. Rozwinąć lokalny łańcuch dostaw komponentów i infrastruktury

Przedsiębiorstwa mogą wejść w dostawy elementów technicznych — od armatury i konstrukcji po systemy sterowania i moduły wspierające — natomiast samorządy powinny przygotować strefy przemysłowe „H₂ready”, zapewniając firmom dostęp do przyłączy i przestrzeni pod inwestycje.

3. Wzmocnić współpracę nauki i biznesu

Uczelnie i instytuty powinny uruchomić kierunki, szkolenia i certyfikacje związane z obsługą instalacji wodorowych, bezpieczeństwem i projektowaniem. Równolegle konieczne jest tworzenie wspólnych projektów B+R z MŚP, w tym laboratoriów testowych i stanowisk pilotażowych.

4. Budować ekosystem wdrożeniowy poprzez projekty pilotażowe

Miasta i JST powinny inicjować lokalne „Living Lab”, a uczelnie i firmy – uczestniczyć w testowaniu technologii. Wdrażanie małych projektów jest kluczowe zarówno dla zdobycia doświadczeń, jak i rozwoju kompetencji, które w przyszłości pozwolą Wielkopolsce skutecznie wypełnić rosnący popyt na wodór.

Środowiska obywatelskie i akceptacja społeczna

Pomimo rosnącego znaczenia technologii wodorowych w transformacji energetycznej, wódór nadal budzi lęki społeczne, przede wszystkim w kontekście bezpieczeństwa. Skojarzenia z jego wysoką palnością, historycznymi wypadkami czy zastosowaniami przemysłowymi powodują, że część opinii publicznej postrzega instalacje wodorowe jako potencjalnie niebezpieczne. W praktyce współczesne technologie wodorowe funkcjonują w oparciu o rygorystyczne normy techniczne i wielopoziomowe systemy zabezpieczeń, rozwijane m.in. w ramach polityk i regulacji wdrażanych przez Unię Europejską. Standardy projektowania, monitoringu i eksploatacji instalacji wodorowych uwzględniają zarówno właściwości fizykochemiczne wodoru, jak i doświadczenia z innych sektorów przemysłowych.



Kluczowym wyzwaniem nie jest zatem wyłącznie zapewnienie bezpieczeństwa technicznego, lecz również zapewnienie poczucia **bezpieczeństwa społecznego**. Niniejszy poradnik dostarcza twardych danych eksperckich, opartych na obowiązujących normach, analizach ryzyka i doświadczeniach międzynarodowych, a jego rolą jest zapewnienie wsparcia w procesie budowania akceptacji społecznej.

Metody aktywizacji społecznej:

Od informowania do współuczestnictwa

W projektach wodorowych partycypacja społeczna nie powinna ograniczać się do formalnych konsultacji wymaganych przepisami prawa. Skuteczny model zakłada przejście od jednostronnego informowania obywateli, przez dialog i konsultacje publiczne do realnego współuczestnictwa lokalnych organizacji społeczno-politycznych i instytucji przy planowaniu projektów wodorowych. Takie działania pozwolą zwiększyć zaangażowanie obywateli i pozyskać ich zainteresowanie. Ważne też jest zachowanie transparentności przy akcjach partycypacyjnych dla uzyskania poparcia i zaufania społecznego.

Rzetelna wiedza do wzmocnienia zainteresowania społeczności

Dostęp do rzetelnych danych pozwala obywatelom, organizacjom społecznym, radnym i przedstawicielom samorządów:

- zrozumieć rzeczywiste parametry bezpieczeństwa instalacji,
- odróżnić fakty od mitów,
- analizować dokumentację projektową w sposób bardziej świadomy,
- zadawać precyzyjne, merytoryczne pytania inwestorom i administracji.

Dzięki temu społeczność przestaje być wyłącznie odbiorcą informacji, a staje się merytorycznym partnerem w dyskusji. Umożliwia to zmianę jakości debaty publicznej – z poziomu obaw i lęków na poziom argumentów i danych.

Zapobieganie efektowi NIMBY

Jednym z najczęstszych wyzwań w realizacji inwestycji infrastrukturalnych jest tzw. efekt NIMBY (*Not In My Back Yard* - „nie na moim podwórku”) odnoszący się do sprzeciwu lokalnej społeczności wobec inwestycji, która ma powstać w ich bezpośrednim sąsiedztwie. Doświadczenia z m.in. sektoru OZE pokazują, że konflikty lokalne i protesty rzadko wynikają wyłącznie z samej technologii. Częściej są konsekwencją niedostatecznej informacji oraz braku dialogu w początkowej fazie planowania. Aby temu zapobiec, konieczne jest zapewnienie edukacji oraz rzetelnych informacji na temat działania technologii wodorowych, ich wpływu na środowisko. Istotne też jest podkreślenie długofalowych korzyści płynących z nowoczesnych technologii energetycznych, zarówno środowiskowych, jak i ekonomicznych. Przy inwestycjach energetycznych, w tym projektach wodorowych, warto także rozważyć wprowadzenie mechanizmów, które przekładają korzyści makroekonomiczne na poziom lokalny tj. preferencyjne taryfy, programy dopłat do rachunków energii dla mieszkańców.

Zaufanie jako narzędzie do minimalizacji społecznych obaw

Partycypacja społeczna w inwestycjach w nowoczesne technologie tj. wodorowe powinna obejmować:

- otwarte i cykliczne spotkania informacyjne,
- szkolenia i warsztaty z nowoczesnych technologii energetycznych,
- łatwy dostęp do rzetelnych informacji w przystępnej formie,
- zmiana podejścia – zamiast przekonywania mieszkańców, włączenie ich w proces planowania,
- dostosowanie formy dialogu z zachowaniem transparentności,
- stałe kanały komunikacji (np. punkty informacyjne, platformy online),
- spotkania inwestorów ze społecznością.

Takie działania budują długofalowe zaufanie, które jest kluczowym zasobem w realizacji inwestycji infrastrukturalnych. Społeczność, która ma poczucie realnego wpływu oraz dostęp do wiarygodnych informacji, rzadziej sięga po narzędzia blokujące projekt.

Przewodnik kończy się praktycznym zestawem narzędzi, które pomagają sprawdzić gotowość projektu do realizacji, zidentyfikować ryzyka i prawidłowo przygotować budżet. Dodatkowo przedstawiono najważniejsze źródła informacji i linki do instytucji wspierających rozwój projektów wodorowych.



12.1. Check-lista: „Czy mój projekt jest gotowy do złożenia wniosku?”

- Czy istnieje wstępna koncepcja projektu i jego cel strategiczny?
- Czy przygotowano rzetelne studium wykonalności (techniczne, ekonomiczne, rynkowe, środowiskowe)?
- Czy zidentyfikowano odpowiednie źródła finansowania (krajowe, europejskie, międzynarodowe)?
- Czy zbudowano konsorcjum lub partnerstwa z podmiotami o komplementarnych kompetencjach?
- Czy projekt uwzględnia wymogi regulacyjne, standardy techniczne i bezpieczeństwa?
- Czy przygotowano analizę ryzyka i plan zarządzania ryzykiem?
- Czy określono harmonogram realizacji oraz kluczowe kamienie milowe?
- Czy projekt przewiduje monitorowanie efektów i raportowanie śladu węglowego?

Spełnienie powyższych punktów zwiększa szanse na pozytywne rozpatrzenie wniosku i minimalizuje ryzyko odrzucenia projektu przez instytucje finansujące.

12.2. Check-lista: „Najważniejsze ryzyka technologiczne i organizacyjne”

- Ryzyka technologiczne:
 - Wybór niewłaściwej technologii wodorowej do skali i lokalizacji projektu.
 - Brak kompatybilności infrastruktury z planowanym systemem magazynowania i transportu wodoru.
 - Niedostateczne testy bezpieczeństwa i brak certyfikacji urządzeń.
- Ryzyka organizacyjne i finansowe:
 - Niejasne role i odpowiedzialności w konsorcjum.
 - Niewłaściwe oszacowanie kosztów CAPEX i OPEX.
 - **WAŻNE:** W przypadku elektrolizerów należy uwzględnić: lokalną zasobność w wodę, koszt jej przygotowania i utylizacji.
 - Brak harmonogramu i mechanizmów monitorowania postępów.
 - Niedostateczna analiza rynku odbiorców wodoru.

Identyfikacja tych ryzyk pozwala na wcześniejsze opracowanie planów minimalizujących skutki potencjalnych problemów.

12.3. Check-lista: „Jak budować budżet?”

- Czy uwzględniono wszystkie koszty inwestycyjne (CAPEX) – zakup elektrolizerów, magazynów, infrastruktury transportowej?
- Czy uwzględniono koszty operacyjne (OPEX) – utrzymanie, serwis, energia, woda, wynagrodzenia?
- Czy przewidziano rezerwy finansowe na nieprzewidziane zdarzenia i ryzyka projektowe?
- Czy uwzględniono różne scenariusze finansowania – dotacje, instrumenty zwrotne, kapitał własny?
- Czy dokonano analizy rentowności i wskaźników finansowych (ROI, NPV, IRR)?
- Czy budżet przewiduje środki na raportowanie i monitorowanie śladu węglowego oraz wymogi administracyjne?

Odpowiednie przygotowanie budżetu pozwala realnie ocenić rentowność projektu i zwiększa wiarygodność w oczach instytucji finansujących.

Check-listy oraz wskazane zasoby pozwalają projektodawcom szybko sprawdzić gotowość projektu, świadomie ocenić ryzyka i przygotować budżet zgodnie z najlepszymi praktykami. Stosowanie tych narzędzi zwiększa szanse powodzenia projektów wodorowych zarówno w Polsce, jak i na arenie międzynarodowej.

12.4. Check-lista: „Czy jesteśmy jako podmiot gotowi do projektu UE?”

- GOTOWOŚĆ STRATEGICZNA

- ☐ Mamy jasno określony obszar działania (technologia / usługa / rola w ekosystemie).
- ☐ Wiemy, dlaczego chcemy wejść w projekt UE (nie tylko „dla grantu”).
- ☐ Nasze cele są zgodne z priorytetami UE (dekarbonizacja, wodór, innowacje).
- ☐ Projekt UE wpisuje się w naszą strategię organizacji / regionu.

- WARTOŚĆ DODANA DLA KONSORCJUM

- ☐ Potrafimy w 2–3 zdaniach powiedzieć, co wnosimy do projektu.
- ☐ Nasza rola nie dubluje się z innymi partnerami.
- ☐ Mamy realną kompetencję, technologię lub zasób (nie „pomysł”).
- ☐ Wiemy, dla kogo w konsorcjum jesteśmy kluczowi.

- GOTOWOŚĆ OPERACYJNA

- ☐ Mamy osobę odpowiedzialną za projekty UE.
- ☐ Dysponujemy czasem i zasobami na udział w projekcie (min. 3–4 lata).
- ☐ Znamy podstawowe zasady raportowania i rozliczeń UE.
- ☐ Mamy doświadczenie w pracy międzynarodowej (język, spotkania, kultura).

- GOTOWOŚĆ FINANSOWA

- ☐ Rozumiemy, że grant UE nie finansuje 100% kosztów.
- ☐ Jesteśmy w stanie zapewnić wkład własny lub prefinansowanie.
- ☐ Mamy stabilność finansową na czas trwania projektu.
- ☐ Znamy swoje koszty kwalifikowane.

- PARTNERSTWA I SIECI

- ☐ Mamy już potencjalnych partnerów krajowych lub zagranicznych.
- ☐ Wiemy, jak i gdzie szukać partnerów UE.
- ☐ Rozumiemy rolę lidera/koordynatora projektu.
- ☐ Jesteśmy gotowi na kompromisy partnerskie.

- IP, DANE, REZULTATY

- ☐ Wiemy, jakie IP wnosimy do projektu.
- ☐ Rozumiemy, że część wyników musi być upowszechniona.

- ☐ Mamy wstępną wizję komercjalizacji lub wykorzystania rezultatów.
- ☐ Akceptujemy zasady otwartości i współpracy UE.

WYNIK – JAK GO INTERPRETOWAĆ?

- 0–8 ✓ ● *Za wcześnie* – zacznij od sieciowania i budowania kompetencji.
- 9–16 ✓ ● *Potencjał* – dobra rola jako partner wykonawczy.
- 17–24 ✓ ● *Gotowość projektowa* – możesz aktywnie szukać konsorcjum.
- 25+ ✓ ● *Wysoka dojrzałość* – rozważ rolę lidera lub WP lidera.

Spis rysunków:

Rysunek 1	Zestawienie technologii magazynowania energii elektrycznej. Źródło: h2-industries ..	10
Rysunek 2	Rozwój i integracja przemysłu z sektorem energetycznym	11
Rysunek 3	Globalne przepływy handlu wodorem przy optymistycznych założeniach technologicznych w 2050 r. Źródło: IRENA 2022	11
Rysunek 4	Metody produkcji wodoru	12
Rysunek 5	Porównanie technologii produkcji wodoru	14
Rysunek 6	Metody magazynowania wodoru	15
Rysunek 7	Mapa infrastruktury wodorowej. Źródło: https://www.gie.eu/press/update-of-the-joint-hydrogen-infrastructure-map-shows-progression-of-hydrogen-infrastructure-along-value-chain/	17
Rysunek 8	Fazy cyklu życia projektu	22
Rysunek 9	Zestawienie strategicznych celów i prognoz w obszarze technologii wodorowych	32
Rysunek 10	Średnie ceny na rynku energii elektrycznej w tygodniu 6. 2026 r. (zima). Cena [EUR/MWh]. Link	33
Rysunek 11	Dopuszczalny stopień mieszania wodoru z gazem ziemnym w poszczególnych odcinkach krajowego systemu przesyłowego: Raport Gospodarka Wodorowa (Kupecki et al.), Zespół ds. Rozwoju Przemysłu OZE i Korzyści dla Polskiej Gospodarki (2020).	34
Rysunek 12	Nowobudowane korytarze przesyłu wodoru w Europie. Źródło: Inicjatywa The European Hydrogen Backbone (EHB), stan na kwiecień 2024 r.	38
Rysunek 13	Straty procesu generacji energii elektrycznej z wodoru wytworzonego elektrochemicznie na przykładzie technologii SOC.....	40
Rysunek 14	Straty procesu generacji energii elektrycznej z wodoru wytworzonego elektrochemicznie na przykładzie technologii PEM.....	41
Rysunek 15	Fundusze Europejskie dla Nowoczesnej Gospodarki.....	42
Rysunek 16	Ekosystem finansowania gospodarki wodorowej w Polsce	49
Rysunek 17	Transformacja energetyczna i neutralność klimatyczna do 2025 r.....	50
Rysunek 18	Właściwości wodoru	60
Rysunek 19	Funkcje i cele umowy konsorcjalnej.....	70
Rysunek 20	Schemat przedstawiający podział emisji na 3 zakresy oraz ich poszczególne kategorie. (Schemat został zaczerpnięty z oficjalnych materiałów https://ghgprotocol.org/).....	73

Spis tabel:

Tabela 1	Porównanie właściwości fizykochemicznych wodoru.....	8
Tabela 2	Szablon oceny technologii	21
Tabela 3	Kryteria oceny lokalizacji projektu wodorowego	28
Tabela 4	Zalety i wady poszczególnych technologii produkcji wodoru	31
Tabela 5	Przykładowe projekty finansowane z programów wsparcia UE.....	56
Tabela 6	Przykłady ryzyk w projekcie wodorowym oraz sposoby ich zapobiegania.....	68