

Pomorskie na lekkim gazie – kierunki i scenariusze rozwoju gospodarki wodorowej do 2030 z perspektywą do 2040

Raport końcowy

Warszawa, 9.11.2023

Spis treści

Spis treści	2
Streszczenie menedżerskie	4
Autorzy raportu	17
Wstęp	19
Gospodarka wodorowa – zagadnienia wprowadzające	24
Gospodarka wodorowa – otoczenie strategiczne	24
Atuty województwa pomorskiego w kontekście budowy gospodarki wodorowej	34
Część I – diagnoza	39
Badanie CATI – miejsce wodoru w planach transformacji energetycznej przedsiębiorstw województwa pomorskiego	39
Interesariusze gospodarki wodorowej na Pomorzu	57
Benchmarking	68
Udział polskich i pomorskich podmiotów w globalnych innowacjach wodorowych	92
Analiza sektora nauki w zakresie przygotowania absolwentów i kadr do pracy w gospodarce wodorowej	99
Analiza SWOT	125
Analiza PESTLE	135
Część II – scenariusze	139
Scenariusze otoczenia	139
Ceny wodoru, kwestia podaży i popytu	147
Scenariusze gospodarki wodorowej na Pomorzu	165
Rekomendacje	177
Część III – wizja, misja, cele	180
Wizja	180
Misja	180
Cele strategiczne	181
Cele szczegółowe i kamienie milowe	182
Zakończenie	193
Załączniki	196
Baza interesariuszy gospodarki wodorowej na Pomorzu	196

Lista podmiotów uczestniczących w konsultacjach projektu	230
Lista technologii wodorowych według klas IPC	232
Wykaz skrótów	235
Notki metodologiczne	236
Analiza bezpieczeństwa	242

Streszczenie menedżerskie

W dokumencie opisujemy rezultaty projektu „Pomorskie na lekkim gazie – kierunki i scenariusze rozwoju gospodarki wodorowej do 2030 z perspektywą do 2040”, realizowanego przez 4CF sp. z o.o. na zlecenie Urzędu Marszałkowskiego Województwa Pomorskiego.

Projekt miał trzy kluczowe cele:

- 1) Diagnozę stanu gospodarki wodorowej w województwie pomorskim;
- 2) Przedstawienie potencjalnych kierunków rozwoju gospodarki wodorowej z perspektywą do 2040 r.;
- 3) Stworzenie wizji, misji, celów strategicznych i szczegółowych dla województwa pomorskiego w kontekście budowy i rozwoju gospodarki wodorowej.

Poniżej przedstawiamy najważniejsze wnioski dotyczące gospodarki wodorowej, jej budowy i rozwoju w województwie pomorskim.

Wodór jest powszechnie uważany za paliwo przyszłości. Jego zastosowanie - zwłaszcza w przypadku zielonego wodoru, produkowanego ze źródeł odnawialnych – może pomóc w osiągnięciu celów dekarbonizacyjnych i transformacji energetycznej. Władze województwa pomorskiego zdają sobie sprawę z tego potencjału wodoru. Dowodzi tego choćby przyjęta w 2021 r. Strategia Województwa Pomorskiego 2030, która stawia sobie za cel m.in. wzmocnienie bezpieczeństwa energetycznego przez rozwój OZE. Jednym ze środków do jego osiągnięcia jest Pomorska Dolina Wodorowa, której zadanie określono jako wspieranie produkcji odnawialnego wodoru oraz jego zastosowania celem magazynowania nadwyżek energii odnawialnej i wykorzystywania

jako paliwa w transporcie publicznym. To stwierdzenie pozwala na sformułowanie fundamentalnego z punktu widzenia województwa pomorskiego założenia odnośnie do gospodarki wodorowej – **jej budowa i rozwój nie jest i nie powinna być celem samym w sobie. Jest środkiem, który ma służyć zwiększeniu bezpieczeństwa energetycznego regionu, jego dekarbonizacji, a przez to także dobrobytu w województwie pomorskim.**

To założenie jest również szczególnie ważne w kontekście specyficznej sytuacji związanej z branżą wodorową. Chodzi o to, że mimo znacznych postępów technicznych, mimo rozwijających się projektów i dolin wodorowych, mimo pojawiających się w wielu państwach europejskich strategii **jest to wciąż branża przyszłości i jako taka jest nierozzerwalnie związana z licznymi niepewnościami.** W takich warunkach brzegowych **korzystne jest myślenie o gospodarce wodorowej w trybie scenariuszowym** – zarysowanie szerokiego spektrum jej możliwych stanów, zdefiniowanie wynikających z nich szans i zagrożeń, rozważenie silnych i słabych stron województwa pomorskiego i sformułowanie takich wizji, misji i celów, które byłyby możliwie najbardziej „odporne na przyszłość”. Mówiąc wprost, **warto zaprojektować dla województwa pomorskiego taką strategię rozwoju gospodarki wodorowej, która zagwarantuje jej budowę i rozwój niezależnie od niepewnych okoliczności zewnętrznych.**

Te dwa założenia – o instrumentalnym charakterze gospodarki wodorowej i o konieczności zaplanowania działań, które byłyby jak najbardziej odporne na przyszłość – przyświecały nam w toku całego projektu.

Pierwsza część projektu miała na celu zdiagnozowanie stanu gospodarki wodorowej na Pomorzu. Służyły temu mapowanie interesariuszy gospodarki wodorowej w województwie pomorskim, badanie ankietowe przedsiębiorców z sektora MŚP,

analiza porównawcza zmierzająca do zdefiniowania dobrych punktów odniesienia dla Pomorza, badanie udziału pomorskich przedsiębiorstw w innowacjach wodorowych, analiza sektora nauki w zakresie przygotowania absolwentów i kadr do pracy w gospodarce wodorowej, analizy SWOT i PESTLE.

Działania badawczo-analityczne podjęte na tym etapie wskazały na **kilka fundamentalnych wniosków**:

1. Gospodarka wodorowa w województwie pomorskim znajduje się na początkowym etapie budowy. Co prawda, istnieje silne grono interesariuszy zainteresowanych jej rozwojem, jednak poza tym środowiskiem biznesowo-eksperckim skłonność do myślenia o zastosowaniu wodoru jest marginalna.
2. Jedną z przyczyn takiego stanu rzeczy jest zbyt mała świadomość pomorskich przedsiębiorców odnośnie do zmian, jakie niesie ze sobą transformacja w stronę zielonej gospodarki. Jako że ta transformacja stanowi fundament pod budowę gospodarki wodorowej, uświadomienie sobie oraz podjęcie wyzwań związanych z zieloną transformacją przez pomorskich przedsiębiorców jest niezbędnym warunkiem rozwoju gospodarki wodorowej.
3. Poziom innowacyjności podmiotów gospodarki wodorowej na Pomorzu pozostaje niewystarczający w stosunku do aspiracji. Usprawnień wymaga również system edukacji, który – po wprowadzeniu stosownych zmian – mógłby kształcić absolwentów o profilu w pełni odpowiadającym potrzebom gospodarki wodorowej.

Diagnoza wykazała też, że województwo pomorskie posiada **liczne silne strony**, które mogą pomóc mu w szybkim zaadresowaniu barier stojących na drodze do rozwoju gospodarki wodorowej. Należy tu wymienić przede wszystkim:

1. Uwarunkowania środowiskowe i geologiczne – bliskość Morza Bałtyckiego i związany z tym potencjał lokowania farm wiatrowych, kawerny solne.
2. Obecność podmiotów, które muszą się dekarbonizować, a wodór wydaje się ku temu najlepszym środkiem – chodzi tutaj przede wszystkim o pomorskie porty, przedsiębiorstwa komunikacji publicznej czy lotniska.
3. Pierwsze projekty, których realizacja wydatnie wsparłaby rozwój gospodarki wodorowej na Pomorzu.
4. Potencjalnych liderów gospodarki wodorowej, którzy przez upowszechnienie stosowanych przez nich dobrych praktyk mogliby wesprzeć proces dyfuzji gospodarki wodorowej wśród pomorskich przedsiębiorców.
5. Interesariuszy gospodarki wodorowej silnie zainteresowanych jej rozwojem, potrzebujących wsparcia samorządu, które umożliwiłoby budowę synergii projektowej czy upodmiotowiłoby ich względem największych podmiotów sektora energetycznego.
6. Potencjał narracyjny, który umożliwi województwu pomorskiemu stworzenie atrakcyjnej dla społeczeństwa opowieści o rozwoju gospodarki wodorowej jako sposobie na zwiększenie dobrobytu na Pomorzu – potencjał ten wynika zarówno z ogromnych kosztów, jakie mogą wiązać się dla regionu z pogłębieniem katastrofy klimatycznej, jak i rzeczywistych bodźców rozwojowych, jakie mógłby przynieść rozwój gospodarki wodorowej na Pomorzu.

Druga część projektu miała na celu zdefiniowanie niepewności związanych z rozwojem gospodarki wodorowej i budowę wokół nich scenariuszy rozwoju gospodarki wodorowej.

Wśród niepewności o fundamentalnym charakterze można wymienić:

- Cenę zielonego wodoru;
- Model gospodarki wodorowej (scentralizowana czy rozproszona);

- Wykorzystanie wodoru i konkurencję ze strony alternatyw;
- Przesył, dystrybucję i transport wodoru;
- Technologie wodorowe – efektywność i opłacalność;
- Tempo transformacji energetycznej;
- Politykę klimatyczną;
- Społeczne poparcie dla dekarbonizacji i wodoru;
- Zainteresowanie – i możliwości inwestowania – kapitału zagranicznego w polski wodór;
- Kompetencje niezbędne do budowy gospodarki wodorowej.

Analiza niepewności i ich klastrowanie zaowocowały stworzeniem czterech scenariuszy otoczenia rozwoju gospodarki wodorowej w 2040 r. Służyły one przede wszystkim uwidocznieniu nieoczywistych szans i zagrożeń, które zostały uwzględnione przy opracowywaniu celów strategicznych i szczegółowych, wyłonionych **na kolejnym etapie projektu**. W związku z tym scenariusze musiały:

- Być istotnie różne od siebie wzajemnie;
- Mieć zbliżony poziom prawdopodobieństwa (bez ewidentnej dominacji któregoś ze scenariuszy);
- Nie mieć wyraźnego nacechowania typu optymistyczny/pesymistyczny/średni;
- Być realistyczne (trudne do wykluczenia);
- Stanowić wyzwanie dla decydentów planujących rozwój gospodarki wodorowej.

Te scenariusze to:

1. **Wodór walczy o uwagę** – Do 2040 r. gospodarka wodorowa rozwinęła się, ale wodór nie stał się kluczem do transformacji energetycznej; jest po prostu jednym z jej kilku elementów. Jest on stosowany w transporcie ciężkim, ale nie jest to powszechne, bo część pojazdów porusza się dzięki paliwom syntetycznym, a kolej towarowa jest wciąż elektryfikowana. Wodór nie zawojował

też transportu osobowego – przeważającą część nowych pojazdów stanowią samochody elektryczne. Wodoru nie stosuje się również powszechnie w ciepłownictwie i przemyśle. Na rynku są dostępne ograniczone instrumenty wsparcia dla gospodarki wodorowej, a infrastruktura jest rozwijana przede wszystkim przez największych graczy rynkowych.

2. **Wodorowe eldorado zza szyby** – Rzeczywistość w 2040 r. potwierdziła optymistyczne prognozy co do roli wodoru w transformacji energetycznej. Jest on nie tylko uważany za najlepsze paliwo do transportu ciężkiego, lecz także święci triumfy na rynku samochodów osobowych – większość nowo kupowanych pojazdów jest zasilanych nim. Wodór jest również stosowany w ciepłownictwie i kogeneracji. Ze względu na jego ogromne znaczenie istnieje szeroki system wsparcia dla gospodarki wodorowej i rozwinięta infrastruktura. To wodorowe eldorado zakłóca jednak jeden czynnik – technologie wytwarzania wodoru są drogie, oparte na zagranicznej myśli technicznej, co ogranicza konkurencyjność polskich podmiotów.
3. **Wodór dla wybranych** – W 2040 r. wodór jest stosowany wyłącznie w wybranych sektorach gospodarki, przede wszystkim w portach i transporcie ciężkim. Jest wytwarzany przez największe podmioty na rynku i dostarczany do wąskiej grupy odbiorców, przede wszystkim tych, którzy dekarbonizują się, bo wymagają tego od nich klienci zagraniczni. Te uwarunkowania powodują, że możliwość zaistnienia w gospodarce wodorowej ściśle zależy od współpracy z dużymi podmiotami.
4. **Wodorowe doliny, wodorowe społeczności** – W 2040 r. trudno mówić o jednej gospodarce wodorowej. Są sektory, w których wodór stosuje się powszechnie (porty, transport ciężki). Jednak, co do zasady, jest on wytwarzany lokalnie i na potrzeby lokalnych społeczności i nisz rynkowych – tych, które się go nie obawiają. Zawiodły również ambitne plany rozbudowy infrastruktury przesyłowej - wciąż brakuje dobrej infrastruktury, którą wodór mógłby być transportowany.

Dodatkowo do scenariuszy otoczenia zostały zaprojektowane scenariusze rozwoju gospodarki wodorowej na Pomorzu do 2040 r. Obrazują one to, **jak konkretnie mogłaby wyglądać gospodarka wodorowa w województwie pomorskim w omówionych wyżej scenariuszach otoczenia przy obecnych jego silnych i słabych stronach**. Te scenariusze – poza walorem w postaci osadzenia ogólnych warunków rozwoju gospodarki wodorowej w kontekście pomorskim – również miały instrumentalny charakter wobec celów, których rolą jest lepsze wykorzystanie szans i skuteczniejsze uniknięcie ryzyk, uwidocznionych przez poniższe scenariusze:

1. **Wodór w Pomorskiem walczy o uwagę** – W 2040 r. wodór odgrywa ograniczoną rolę w gospodarce Pomorza. Jest to pokłosie jego wciąż zbyt wysokiej ceny. Na ten stan rzeczy złożyło się kilka szczegółowych czynników. Po pierwsze, rozwój OZE był hamowany brakiem inwestycji w cyfryzację sieci i ochroną inwestycji w wielką elektrownie jądrowe (co zdecydowało o wysokich kosztach produkcji wodoru). Po drugie, prawo utrudniło inwestycje kapitału prywatnego i obywateli w OZE i cyfryzację sieci lokalnej, a więc również w system elektrolizy wodoru, magazynowania i lokalnego bilansowania sieci elektroenergetycznej obciążeniem. Po trzecie, ograniczono prawnie możliwości rozwoju lokalnych społeczności energetycznych i energetyki obywatelskiej. Po czwarte, brak możliwości rozwoju lokalnej energetyki, zwiększył poziom lokalnej apatii, spowolnił rozwój powszechnych kompetencji energetycznych oraz utrwalił społeczny mit o wybuchowości wodoru. W konsekwencji, ograniczony postęp technologiczny i niski poziom cyfryzacji sieci, ograniczył możliwości wykorzystania produktywności technologicznej elektrolizerów i zahamował rozwój innowacyjności społeczności lokalnych.
2. **Pomorskie wodorowe eldorado zza szyby** – W 2040 r. postronny obserwator mógłby uznać wodór za wizytówkę województwa pomorskiego. Na terenie Pomorza funkcjonuje rozwinięta infrastruktura stacji tankowania wodoru, jest on

wykorzystywany nie tylko w portach i transporcie ciężkim, lecz także w transporcie publicznym i ciepłownictwie, a do jego produkcji służy bogata infrastruktura – od lokalnych hubów, przez morskie farmy wiatrowe, po elektrownię jądrową. Ten idylliczny obraz gospodarki wodorowej na Pomorzu zaburza jeden fakt – nie jest ona do końca „pomorska”, ponieważ została zbudowana w dużej mierze na kapitale zachodnim.

3. **Pomorski wodór dla wybranych** – Porty, transport ciężki, transport publiczny - to główne podmioty i sektory, które wykorzystują wodór na terenie województwa pomorskiego w 2040 r. Środek ciężkości polskiej polityki klimatycznej miał charakter jądrowy, a niższe koszty energii z pierwszych SMR-ów i MMR-ów zmniejszyły problem presji dekarbonizacyjnej na polską gospodarkę. W efekcie gaz ziemny wciąż jest wykorzystywany, nawet jeśli w ograniczonym stopniu, nadal produkuje się też szary wodór, bo zielony wodór, który można byłoby produkować w Polsce i na Pomorzu, pozostaje zbyt drogi. W takiej sytuacji za jedno z rozwiązań na zwiększenie dostępności zielonego wodoru uznano jego import z krajów, w których ze względu na politykę energetyczną koszt wyprodukowania zielonego wodoru jest dużo niższy. Stworzyło to szansę dla pomorskich portów – w tych warunkach odgrywają one rolę hubów importowych.
4. **Pomorskie wodorowe doliny i wodorowe społeczności** – W 2040 r. województwo pomorskie może pochwalić się relatywnie rozwiniętą na tle kraju i dobrze funkcjonującą gospodarką wodorową, zwłaszcza na poziomie lokalnym. Wodór jest stosowany w portach i transporcie ciężkim, w tym publicznym, choć niewielka infrastruktura przesyłowa sprawia, że wodór z energii elektrycznej z offshore wykorzystywany jest głównie przez kilku dużych odbiorców. Jednak na terenie Pomorza funkcjonują lokalne społeczności energetyczne, produkujące wodór na miejscu z farm OZE oraz biomasy. Włączone są w to lokalne firmy, które funkcjonują na różnych ogniwach łańcucha wartości

gospodarki wodorowej, w tym jego produkcji. Część gmin województwa pomorskiego uważa, że dzięki zastosowaniu wodoru udało im się zwiększyć własną niezależność energetyczną przez wdrożenie paradygmatu energetyki rozproszonej. Na tym pozytywnym obrazie cieniem kładzie się jednak niewystarczająco rozwinięta infrastruktura przesyłowa. Powoduje ona, że lokalne huby wodorowe odgrywają niewielką rolę.

Scenariusze służyły także wypracowaniu częściowych rekomendacji dla województwa pomorskiego w zakresie działań, które mogłyby służyć stworzeniu w regionie hubów zielonej energii. Dodatkowo pozwoliły wyróżnić **kilka interwencji województwa pomorskiego, które mogą okazać się niezbędne do zaistnienia gospodarki wodorowej. Wśród najważniejszych należy wymienić:**

- konieczność zadbania o interesy województwa pomorskiego na szczeblu centralnym – chodzi tutaj zarówno o lobbing dotyczący odpowiedniego otoczenia regulacyjnego i finansowego, które sprzyjałoby rozwojowi gospodarki wodorowej, jak i zapewnienie, że interesy Pomorza w zakresie rozwoju gospodarki wodorowej będą rozumiane na szczeblu centralnym, a sam region będzie postrzegany jako kluczowy w krajowych planach wodorowych;
- konieczność uwzględniania w planowaniu strategicznym czynników o charakterze społecznym – świadomość lokalnej społeczności dot. dekarbonizacji, transformacji energetycznej, bezpieczeństwa technologii wodorowych – które mogą zaważyć na tempie i zakresie gospodarki wodorowej, niwelując nawet pozytywny wpływ rozwoju technologicznego na spadek cen wodoru;
- fundamentalne znaczenie ma odpowiednia realizacja przez województwo funkcji wspierania lokalnej przedsiębiorczości – chodzi tutaj o takie tworzenie warunków do rozwoju działalności w zakresie gospodarki wodorowej, które sprzyjałoby

zwiększaniu konkurencyjności lokalnych firm i ich poziomu innowacyjności, co ostatecznie powinno także zaowocować ich bardziej podmiotową pozycją wobec największych podmiotów na rynku.

Liczne silne strony województwa pomorskiego w najbardziej korzystnym scenariuszu pozwoliłyby mu zapewne zyskać status „wodorowego eldorado”, a być może także zrealizować akcentowane często marzenie o staniu się nowym „sercem” polskiego systemu energetycznego przyszłości. Jednak liczne niepewności związane z rozwojem gospodarki wodorowej, które ostatecznie mogą składać się na różne kierunki jej rozwoju, nakazywały taką konstrukcję wizji, misji i celów, które byłyby najbardziej trwałe. Takie, które **przybliżałyby województwo pomorskie do budowy gospodarki wodorowej w celu zwiększania regionalnego dobrobytu, jednocześnie dając mu możliwość sformułowania silnych fundamentów, umożliwiających wzmożenie działań w bardziej sprzyjających okolicznościach.**

W rezultacie **Wizja województwa pomorskiego** w zakresie rozwoju gospodarki wodorowej została sformułowana następująco:

W 2040 r., dzięki wspólnemu wysiłkowi lokalnych interesariuszy, w województwie pomorskim funkcjonuje dobrze rozwinięta gospodarka wodorowa – jest ona zbudowana na zielonym wodorze produkowanym na Pomorzu, głównie na potrzeby strategicznych sektorów regionalnej gospodarki, i dzięki wkładowi w rozwój społeczno-gospodarczy regionu cieszy się szerokim społecznym poparciem.

Misja zaś składa się z kilku punktów wyznaczających województwu kierunki działań:

1. Samorząd terytorialny województwa pomorskiego wspiera integrację, wymianę doświadczeń i **współpracę projektową interesariuszy** gospodarki wodorowej na Pomorzu w taki sposób, aby ułatwić wykorzystanie synergii między

- podmiotami znajdującymi się na różnych ogniwach łańcucha gospodarki wodorowej i zwiększyć ich szansę na realizację projektów wodorowych.
2. Samorząd terytorialny województwa pomorskiego pobudza **aktywność gospodarczą** ukierunkowaną na **dekarbonizację** gospodarki regionu w oparciu o wodór. Dąży do zwiększenia świadomości społecznej oraz wiedzy odnośnie do korzyści z wodoryzacji gospodarki, wspiera projekty dekarbonizacyjne, w tym kreowanie rynku pracy w najbardziej emisyjnych obszarach.
 3. Samorząd terytorialny województwa pomorskiego zabiega o przyciąganie **inwestycji** krajowych i zagranicznych w taki sposób, aby stale zwiększać dojrzałość gospodarki wodorowej na Pomorzu, utrzymanie i rozbudowę dostępności lokalnej i regionalnej infrastruktury dystrybucyjnej i znaczenie Pomorza w krajowej i międzynarodowej infrastrukturze przesyłowej, z poszanowaniem dla kształtowania i utrzymania ład przestrzennego.
 4. Samorząd terytorialny **identyfikuje i promuje rozwój kluczowych sektorów regionalnej gospodarki**, przy których zastosowanie wodoru będzie najbardziej optymalnym narzędziem dekarbonizacji w świetle podaży wodoru. W tych działaniach buduje na specyficznych dla regionu atutach środowiskowych, przestrzennych i społecznych.
 5. Samorząd terytorialny **koordynuje i pobudza działania w obszarze kształcenia kompetencji i kadr** niezbędnych do budowy gospodarki wodorowej.

Korespondują z nią i ukonkretniają ją **cele strategiczne**:

1. Budowa do 2040 r. w województwie pomorskim zielonej gospodarki przez wspieranie transformacji energetycznej, stymulowanie dekarbonizacji lokalnych przedsiębiorstw, a także stworzenie sprzyjających warunków dla wielkoskalowych inwestycji.

2. Włączenie regionu w kształtującą się centralną gospodarkę wodorową przy jednoczesnym rozwijaniu lokalnej rozproszonej energetyki, opartej na lokalnej produkcji wodoru.
3. Zapewnienie dostępności taniego wodoru i OZE na potrzeby regionalnej gospodarki.
4. Promocja Województwa Pomorskiego i lokalnych podmiotów wobec największych – krajowych i zagranicznych – interesariuszy gospodarki wodorowej w taki sposób, aby w 2040 r. województwo pomorskie było postrzegane jako kluczowy element krajowego i międzynarodowego łańcucha wartości wodoru oraz ważny element krajowej i europejskiej infrastruktury wodorowej.
5. Budowa wśród społeczeństwa regionu świadomości z korzyści związanych z rozwojem gospodarki wodorowej na Pomorzu, a co za tym idzie – budowa lokalnych kompetencji wodorowych.

Z kolei uzupełnienie stanowią cele szczegółowe wraz z kamieniami milowymi, które można podzielić na następujące kategorie:

- 1) Koordynacyjne – obejmujące m.in. wspomaganie interesariuszy gospodarki wodorowej i ich interakcji z podmiotami centralnymi;
- 2) Projektowe – w postaci wspierania projektów i tworzenia własnych;
- 3) Finansowe – wspomaganie finansowania dla tworzącej się gospodarki wodorowej i jej interesariuszy, w tym w zakresie wykorzystania funduszy europejskich
czy zainteresowania projektowego największych podmiotów na rynku;
- 4) Stymulujące popyt na wodór – np. przez uwzględnianie wodoru w zamówieniach publicznych na terenie województwa;

- 5) Wspierające – obejmujące działania edukacyjne, uświadamiające w zakresie konieczności dekarbonizacji i transformacji energetycznej, ułatwiające korzystanie z usług niezbędnych do budowy zielonej gospodarki.

Całokształt tych działań powinien pozwolić zbudować trwałe fundamenty pod budowę i rozwój gospodarki wodorowej na Pomorzu. Z kolei wizja i misja, wyznaczające klarowny kierunek rozwoju gospodarki wodorowej, mogą przyczynić się do wzmocnienia pozycji negocjacyjnej województwa pomorskiego względem innych regionów Polski, które w najbliższym czasie również będą próbowały lobbować na poziomie centralnym, aby wzmocnić swą pozycję w systemie energetycznym przyszłości.

Autorzy raportu

Dokument został przygotowany przez 4CF sp. z o.o. we współpracy z ekspertami dziedzinowymi. Na różnych etapach projektu zaangażowane były w niego następujące osoby:

Metodologia projektu:

- Norbert Kołos, 4CF
- Kacper Nosarzewski, 4CF

Autorzy wiodący raportu:

- dr hab. Piotr Stankiewicz, prof. UMK, 4CF
- dr Karol Wasilewski, 4CF

Autorzy i autorki analiz cząstkowych:

- dr inż. Jarosław Tworóg, Krajowa Izba Gospodarcza Elektroniki i Telekomunikacji
- Weronika Rafał, 4CF
- dr Michał Nadziak, 4CF
- Ilona Poseliuzhna, 4CF
- Bartosz Frąckowiak, 4CF
- Maciej Jagaciak, 4CF
- Jacek Tyburek, Black Onion Sp. z o.o.
- Sergiusz Parszowski, Instin.pl, Obserwatorium Bezpieczeństwa

Komunikacja i wsparcie merytoryczne:

- Dariusz Kozdra, 4CF
- Łukasz Macander, 4CF

Raport nie powstałby bez pomocy interesariuszy gospodarki wodorowej na Pomorzu. Serdecznie dziękujemy im za przekazaną wiedzę oraz wolę weryfikacji badań i analiz przygotowanych na poszczególnych etapach realizacji projektu „Pomorskie na lekkim gazie – kierunki i scenariusze rozwoju gospodarki wodorowej do 2030 z perspektywą do 2040”. Szczególne wyrazy wdzięczności składamy na ręce Damiana Muchy i Żanety Kłostowskiej z Regionalnej Izby Gospodarczej Pomorza, bez których wsparcia niemożliwe byłoby zaangażowanie w powstawanie dokumentu tak wielu interesariuszy gospodarki wodorowej w województwie pomorskim.

Wstęp

Raport podsumowuje prace nad projektem „Pomorskie na lekkim gazie – kierunki i scenariusze rozwoju gospodarki wodorowej do 2030 z perspektywą do 2040”, realizowanym przez 4CF sp. z o.o. na zlecenie Urzędu Marszałkowskiego Województwa Pomorskiego.

Urząd Marszałkowski postawił przed 4CF zadanie przygotowania opracowania, które powinno zawierać następujące elementy:

- 1) Diagnozę stanu gospodarki wodorowej w województwie pomorskim;
- 2) Scenariusze (potencjał) rozwoju gospodarki wraz z rekomendacjami;
- 3) Wizję i misję gospodarki wodorowej w województwie pomorskim.

Projekt był realizowany w okresie od sierpnia do listopada 2023 r. i przebiegał w ramach trzech etapów podporządkowanych powyższymi zadaniami. To one warunkowały również podstawową strukturę tego raportu.

Część I przedstawia diagnozę stanu gospodarki wodorowej w województwie pomorskim. Rozpoczyna go omówienie badania ankietowego małych i średnich przedsiębiorstw z województwa pomorskiego, w trakcie którego były gromadzone informacje dotyczące podejścia pomorskich przedsiębiorców do transformacji energetycznej i miejsca wodoru w ich planach dekarbonizacyjnych. Kolejne etapy diagnozy zawierają krótki opis interesariuszy gospodarki wodorowej na Pomorzu, wraz z ich miejscem w łańcuchach wartości gospodarki wodorowej, benchmarking – rozumiany jako analiza punktów odniesienia, które mogą pomóc w budowie gospodarki wodorowej na Pomorzu – charakterystykę udziału polskich i pomorskich przedsiębiorstw w innowacjach wodorowych, analizę sektora nauki w zakresie

przygotowania absolwentów i kadr do pracy w gospodarce wodorowej, a także klasyczne elementy analizy biznesowej w postaci analiz SWOT i PESTLE.

Część II opisuje proces budowy scenariuszy rozwoju gospodarki wodorowej, które będą stanowiły ramy dla rozwoju tego segmentu w województwie pomorskim. Można w niej odnaleźć opis najważniejszych niepewności, które najprawdopodobniej będą decydowały o ostatecznym kształcie gospodarki wodorowej do 2040 r., prognozy podaży, popytu i cen wodoru, a także rekomendacje dla województwa pomorskiego, które mają umożliwić mu zbudowanie zielonej gospodarki, wspomaganą przez wodór, niezależnie od realizacji tego lub innego scenariusza otoczenia.

Część III raportu zawiera propozycję wizji i misji rozwoju gospodarki wodorowej dla województwa pomorskiego. Przedstawiono w niej także cele strategiczne i szczegółowe wraz z kamieniami milowymi. Realizacja tych celów powinna umożliwić województwu pomorskiemu budowę zdrowego ekosystemu wodorowego i przybliżyć samorząd do realizacji potencjału wodorowego regionu.

Strukturę raportu uzupełniają trzy rozdziały. Pierwszy – znajdujący się zaraz po wstępie – stanowi wprowadzenie do zagadnień związanych z gospodarką wodorową. Opisuje jej otoczenie strategiczne, a także charakteryzuje atuty województwa pomorskiego, które mogą stawiać je w uprzywilejowanej pozycji względem innych aktorów dążących do budowy gospodarki wodorowej. Drugi – zakończenie – podsumowuje najważniejsze rezultaty procesu, a dodatkowo charakteryzuje zdefiniowane w trakcie projektu kluczowe problemy i „dzikie karty”, które mogą zagrozić powstaniu gospodarki wodorowej tak w szerszym wymiarze, jak i w województwie pomorskim. Trzeci stanowią załączniki, które zawierają bazę interesariuszy gospodarki wodorowej na Pomorzu, listę podmiotów, które zgodziły się wesprzeć projekt – na różnych jego etapach – swoją wiedzą, listę technologii wodorowych według klas IPC, wykaz skrótów a także notki metodologiczne. Część załącznikową zamyka analizą bezpieczeństwa.

Scharakteryzowano w niej najważniejsze zagadnienia związane z bezpieczeństwem wodoru, które mogą stanowić barierę dla rozwoju gospodarki wodorowej, i przedstawiono proponowany model zarządzania ryzykiem, który po odpowiednim zmodyfikowaniu mógłby stanowić punkt odniesienia dla lokalnych przedsiębiorstw, chcących włączyć się w budowę – i rozwój – gospodarki wodorowej.

Włączenie w projekt interesariuszy gospodarki wodorowej w województwie pomorskim było szczególnie ważne z dwóch względów. Pierwszy jest związany z wymogami **foresightu strategicznego** – dziedziny której podstawowym celem jest pomoc decydentom w podejmowaniu lepszych decyzji dzięki zwiększeniu ich świadomości i zdolności zrozumienia wewnętrznych i zewnętrznych czynników, które składają się na możliwe i istotne ścieżki przyszłości. Wypracowanie takich ścieżek jest dużo bardziej prawdopodobne przy zaangażowaniu w proces różnych interesariuszy, w tym przypadku dysponujących wiedzą dot. rozmaitych aspektów funkcjonowania rynku wodorowego, a także unikalnym spojrzeniem, warunkowanym między innymi funkcjonowaniem w sektorach o odmiennej charakterystyce (np. publicznym i prywatnym).

Foresight strategiczny okazał się idealnym narzędziem do realizacji projektu dotyczącego przyszłości branży wodorowej – rynku wciąż znajdującego się na dość wczesnym etapie rozwoju, narażonego na oddziaływanie wielu niepewności o charakterze politycznym, ekonomicznym, prawnym, środowiskowym czy technologicznym, które mogą zaważyć na jego kształcie. Zastosowanie foresightu strategicznego do analizy przyszłości branży wodorowej pozwoliło:

- Przeanalizować szerokie spektrum możliwych przyszłości, które mogą wpłynąć na przedmiot analizy, a następnie zdefiniować te z nich – bądź ich elementy – które mogą mieć największe znaczenie dla rozwoju sytuacji na rynku.

- Umożliwić skupienie decydentów na tych czynnikach, które mogą mieć największy wpływ na przyszłość branży, również w kontekście funkcjonowania na rynku podmiotów z województwa pomorskiego.
- Uwzględnić w analizie czynniki jakościowe, które nie tylko poszerzą orientację decydentów w zakresie potencjalnych ryzyk i szans, lecz także zwrócą uwagę na te elementy, które mogą zaburzyć widoczne na rynku trendy (jak np. negatywny wpływ barier legislacyjnych czy społecznych na wahania w procesie redukcji cen zielonego wodoru, nierozzerwalnie związanego z procesami technicznymi).

Ten szeroki ogląd sytuacji – wsparty szczegółową analizą wyłaniającej się gospodarki wodorowej – miał w założeniu pomóc w **zdefiniowaniu podejścia do rynku wodoru województwa pomorskiego, określeniu jego głównych atutów na rynku wodorowym i wsparciu go w wypracowaniu strategii budowania swej pozycji na tych silnych stronach w taki sposób, aby województwo pomorskie mogło lepiej wykorzystać szanse związane z przyszłością gospodarki wodorowej i zabezpieczyć się przed związanymi z nią ryzykami.**

Drugi powód szerokiego zaangażowania interesariuszy był związany z koniecznością zaprojektowania dla województwa pomorskiego działań jak najbardziej realistycznych i **potrzebnych z punktu widzenia podmiotów, które będą budować gospodarkę wodorową na Pomorzu.** Choć niektóre elementy projektu „Pomorskie na lekkim gazie...” musiały ulegać nieznacznym modyfikacjom w trakcie jego realizacji, jedno pozostało w nim niezmiennie – świadomość władz samorządowych, dodatkowo potwierdzana licznymi obserwacjami interesariuszy, że zadaniem tego organu publicznego nie jest i nie może być budowa gospodarki wodorowej jako takiej, **a stworzenie jak najlepszych warunków do jej rozwoju.**

Z tych dwóch powodów interesariusze gospodarki wodorowej w województwie pomorskim byli wielokrotnie konsultowani przez zespół projektowy – w formie ankiet, wywiadów pogłębionych i konsultacji branżowych. Mamy nadzieję, że w opracowaniu przedstawiliśmy udaną syntezę zgromadzonej z ich pomocą wiedzy, która w nieco dalszej przyszłości zaowocuje powstaniem rozwiniętej gospodarki wodorowej w województwie pomorskim.

Gospodarka wodorowa – zagadnienia wprowadzające

Gospodarka wodorowa – otoczenie strategiczne

Plany strategiczne województwa pomorskiego w zakresie budowy gospodarki wodorowej powinny być zintegrowane z polskim i międzynarodowym otoczeniem strategicznym. Tworzą go dokumenty, plany i polityki zarówno Unii Europejskiej, jak i Polski oraz głównych spółek paliwowo-energetycznych działających na tym rynku, takich jak np. Grupa ORLEN. Dodatkowym punktem odniesienia może być też strategia wodorowa Republiki Federalnej Niemiec – i ze względu na popularne na Pomorzu nadzieje związane z eksportem wodoru w przyszłości, i w związku z niemieckimi założeniami, które ostatecznie mogą znaleźć zastosowanie również na gruncie polskim.

Europejska strategia w zakresie wodoru

Strategia Wodorowa Unii Europejskiej została przyjęta przez Parlament Europejski 19 maja 2021 r. Stanowi ona element planu wyjścia gospodarki unijnej z kryzysu spowodowanego pandemią koronawirusa. Jest także silnie skorelowana z zaprezentowaną w grudniu 2019 roku strategią Europejski Zielony Ład, opierającą wzrost gospodarczy UE na budowie zeroemisyjnej gospodarki do 2050 r.

Ważny kontekst dla Strategii Wodorowej UE stanowi przyjęta w tym samym czasie tzw. strategia łączenia sektorów. To połączenie sektorów ma następować m.in. przez elektryfikację ciepłownictwa i transportu oraz promocję czystych paliw. Zaliczane do nich są tzw. zielone gazy, z których jeden stanowi właśnie zeroemisyjny wodór. **Mogą one przyczyniać się do dekarbonizacji sektorów,**

w których elektryfikacja jest niemożliwa lub trudna do realizacji, takich jak przemysł energochłonny czy transport. Unia Europejska kieruje swoje wysiłki w kierunku produkcji przede wszystkim zielonego wodoru (powstałego z elektrolizy przy wykorzystaniu energii z OZE), choć w okresie przejściowym dopuszcza także wykorzystanie innych niskoemisyjnych form wodoru, takich jak powstający z paliw kopalnych przy użyciu technologii CCUS (sekwestracji i składowania lub powtórnego wykorzystania dwutlenku węgla – tzw. niebieski wodór) czy elektroliza z energii pochodzącej z nieodnawialnych źródeł (np. z energetyki jądrowej – wodór fioletowy).

Od 2020 do 2024 roku, Unia Europejska planuje wprowadzenie elektrolizerów o łącznej mocy 6 GW oraz produkcję 1 mln ton zielonego wodoru rocznie.

Ten okres stanowi pierwszy krok w realizacji strategii wodorowej i ma na celu zbudowanie podstaw infrastrukturalnych.

W latach 2025-2030 planowane jest znaczące zwiększenie mocy elektrolizerów do 40 GW i produkcji zielonego wodoru do 10 mln ton rocznie. W tym okresie wodór stanie się konkurencyjny na rynku dzięki różnym politykom stymulowania popytu w sektorze metalurgicznym, transporcie oraz w innych sektorach.

Przewiduje się, że od 10 do 25% zużywanego wodoru będzie pochodzić ze źródeł odnawialnych.

W perspektywie od 2030 do 2050 roku zielony wodór (GH₂) ma osiągnąć dojrzałość i być konkurencyjny na rynku, także względem konwencjonalnego szarego wodoru (produkowanego metodą reformingu parowego z gazu ziemnego).

W ramach strategii wodorowej UE zaplanowano i zaimplementowano już 20 kluczowych działań, podzielonych na cztery obszary: agendę inwestycyjną, wzmocnienie popytu i zwiększenie produkcji, zaprojektowanie wspierających ram oraz współpracę międzynarodową.

Unia Europejska przewiduje znaczące inwestycje w sektorze wodoru, szacowane na 180-470 miliardów euro do roku 2050. Same inwestycje w elektrolizery do roku 2030 wyniosą od 24 do 42 miliardów euro.

Jednym z podstawowych narzędzi wdrażania strategii wodorowej UE jest platforma *European Clean Hydrogen Alliance* stanowiąca ważne narzędzie współpracy między przedstawicielami przemysłu, społeczeństwa obywatelskiego, administracji i Europejskiego Banku Inwestycyjnego. Jej głównym celem jest identyfikacja i realizacja kluczowych projektów inwestycyjnych, które przyczynią się do tworzenia rynku wodoru w UE. Sojusz ten ma dodatkowo wspierać realizację celów strategii wodorowej oraz przyczynić się do odbudowy gospodarczej po pandemii COVID-19.

REPowerEU

Plan REPowerEU został przyjęty w reakcji na agresję Rosji na Ukrainę wiosną 2022 r. Stanowi propozycję działań mających na celu zmniejszenie uzależnienia Unii Europejskiej od rosyjskich paliw kopalnych, zwłaszcza gazu ziemnego. Jednocześnie REPowerEU promuje koncepcję „akceleratora wodorowego” w celu zwiększenia skali wdrażania zielonego wodoru. **W planie zakłada się produkcję 10 mln ton zielonego wodoru rocznie na potrzeby rynku wewnętrznego do roku 2030, jednocześnie przewidując import kolejnych 10 mln ton.**

Plan REPowerEU zakłada **wsparcie rozwoju trzech głównych korytarzy przywozu wodoru**. Pierwszy z nich to obszar Morza Śródziemnego, który stanowi strategiczne połączenie między Europą a regionem Bliskiego Wschodu i Afryki Północnej, znanym z potencjału produkcji zielonego wodoru. Drugi korytarz to obszar Morza Północnego, gdzie znajdują się istotne źródła energii wiatrowej, które mogą być wykorzystane do produkcji wodoru. Trzeci korytarz obejmuje import wodoru z Ukrainy, gdy będzie

to możliwe. REPowerEU dopuszcza także wykorzystywanie energetyki jądrowej do produkcji wodoru.

W ramach „akceleratora wodorowego” Komisja Europejska zaproponowała utworzenie globalnej europejskiej instytucji finansowej, znanej jako **Europejski Bank Wodorowy**. Ta instytucja ma na celu zwiększenia bezpieczeństwa inwestycyjnego oraz stworzenie nowych możliwości biznesowych w zakresie produkcji wodoru odnawialnego.

Europejski Bank Wodorowy ma być instrumentem finansowym zarządzanym wewnątrz przez służby Komisji. Nie jest to instytucja fizyczna, lecz ma za zadanie odblokować inwestycje prywatne w łańcuchach wartości wodoru, zarówno na rynku wewnętrznym, jak i w krajach trzecich. **Europejski Bank Wodorowy ma zainicjować powstanie rynku wodoru odnawialnego poprzez niwelowanie różnicy w kosztach produkcji zielonego wodoru względem konwencjonalnego.** Dysponuje on budżetem 3 mld euro i udziela wsparcia poprzez system aukcyjny. W jego ramach przyznawane są dopłaty do produkcji i importu odnawialnego wodoru.

Polityka Energetyczna Państwa do 2040

Opracowany na początku 2021 r. dokument strategiczny, będący jedną z tzw. zintegrowanych strategii składających się na realizację Strategii na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju, określa kierunki rozwoju energetyki w Polsce. Po agresji Rosji na Ukrainę została zapowiedziana jego aktualizacja, która jednak nie została do tej pory przeprowadzona. Uznaje się w nim znaczenie wodoru w transformacji sektora energetycznego oraz potrzebę rozwoju rynku wodoru, jednak dokument ten nie zawiera szczegółowych zapisów odnoszących się do miejsca wodoru w systemie energetycznym kraju. **W PEP 2040 zapowiedziano opracowanie do końca 2021 r. ram prawnych dotyczących wykorzystania wodoru, umożliwiających rozwój tego rynku do 2030 r.**

Polska Strategia Wodorowa do roku 2030 z perspektywą do 2040

Polska Strategia Wodorowa jest głównym i najbardziej szczegółowym dokumentem planistycznym odnoszącym się do rozwoju sektora wodoru. Została przyjęta w grudniu 2021 r. Określa strategiczne kierunki wdrażania gospodarki wodorowej w Polsce, mającej na celu dekarbonizację energetyki, transportu i przemysłu.

Na Polską Strategię Wodorową składa się 6 celów:

- Cel 1 – wdrożenie technologii wodorowych w energetyce;
- Cel 2 – wykorzystanie wodoru jako paliwa alternatywnego w transporcie;
- Cel 3 – wsparcie dekarbonizacji przemysłu;
- Cel 4 – produkcja wodoru w nowych instalacjach;
- Cel 5 – sprawna i bezpieczna dystrybucja wodoru;
- Cel 6 – stworzenie stabilnego otoczenia regulacyjnego.

Łącznie określono 44 działania, umożliwiające realizację tych celów.

Strategia przewiduje osiągnięcie poziomu produkcji 10 mln ton odnawialnego wodoru rocznie do 2030 r. W tym celu ma powstać min. 5 dolin wodorowych, a zainstalowana moc produkcji niskoemisyjnego wodoru ma wynieść 2 GW.

Ponieważ jednym z głównych odbiorców wodoru ma być sektor transportu, założono powstanie min. 32 stacji tankowania wodoru do 2025 r. oraz pojawienie się tysiąca autobusów wodorowych do końca dekady.

Istotnym elementem wdrażania Polskiej Strategii Wodorowej było zawarte w grudniu 2021 roku Porozumienie sektorowe na rzecz budowy gospodarki wodorowej.

Tworzyli je przedstawiciele sektora publicznego i prywatnego, reprezentujący w sumie ponad 100 podmiotów, pracujący w 7 grupach roboczych. Ich zadaniem była identyfikacja potrzeb, barier rozwojowych oraz wypracowanie rekomendacji w takich obszarach jak:

1. Wdrożenie technologii wodorowych w energetyce,
2. Wykorzystanie wodoru jako paliwa alternatywnego w transporcie,
3. Wsparcie dekarbonizacji przemysłu (przemysłowe zastosowanie wodoru),
4. Produkcja wodoru w nowych instalacjach,
5. Sprawny i bezpieczny przesył, dystrybucja i magazynowanie wodoru,
6. Rozwój krajowego łańcucha wartości gospodarki wodorowej,
7. Edukacja i promocja.

Wynikiem prac grup eksperckich były propozycje długofalowych działań, obejmujących instrumenty prawne, finansowe i instytucjonalne w odniesieniu do 5 celów strategicznych:

1. Local content – polski wkład,
2. Badania i Rozwój (B+R),
3. Inwestycje,
4. Ludzie,
5. Współpraca.

Strategia wodorowa Grupy Orlen do 2030

Strategia wodorowa Orlenu nie ma charakteru dokumentu państwowego, ale ze względu na istotną rolę tego podmiotu w budowie gospodarki wodorowej oraz zaawansowane plany tego koncernu postanowiliśmy ją uwzględnić.

Dokument ten definiuje cele oraz długoterminowe ambicje Grupy Orlen w czterech kluczowych obszarach: mobilności, rafinerii i petrochemii, przemysłu i energetyki oraz badań i rozwoju. **Zakłada powstanie w różnych miejscach Polski hubów wodorowych, stanowiących źródło zaopatrzenia w wodór lokalnych rynków zbytu.**

Mobilność:

- rozwój rynku obejmującego transport publiczny, kolejowy, ciężki oraz indywidualny, a także paliwa syntetyczne dla transportu lotniczego i morskiego;
- 57 ogólnodostępnych stacji tankowania wodoru w Polsce, 28 w Czechach i 26 na Słowacji;
- produkcja wodoru o jakości automotive w ilości 19 000 ton rocznie.

Rafineria i petrochemia:

- redukcja emisji CO₂ z istniejących instalacji produkcji wodoru w Grupie ORLEN z wykorzystaniem technologii niskoemisyjnych, takich jak wychwytywanie, wykorzystanie i/lub magazynowanie dwutlenku węgla (CCUS);
- budowa nowych jednostek wytwórczych zielonego wodoru;
- produkcja wodoru z biometanu i przetwarzania odpadów komunalnych.

Przemysł i energetyka:

- aktywne uczestnictwo (jako dostawca i odbiorca) w Europejskiej Sieci Przesyłu Wodoru;
- przewidywana możliwość przeznaczenia nadwyżek wodoru po 2030 r. na potrzeby innych gałęzi przemysłu w kraju i za granicą;
- perspektywiczne kierunki wykorzystania wodoru: ciepłownictwo i wytwarzanie energii elektrycznej;
- wykorzystanie wodoru i/lub amoniaku jako magazynów energii do stabilizacji systemu elektroenergetycznego po 2030 r. dzięki nadwyżkom OZE i farmom wiatrowym na Bałtyku;
- współspalanie wodoru w nowych jednostkach CCGT (blokach gazowo-parowych).

Badania i rozwój:

- tworzenie i promowanie partnerstw;
- budowa kompetencji wewnętrznych;
- utworzenie pracowni wodorowej w Centrum Badawczo-Rozwojowym w Płocku;
- objęcie roli lidera Mazowieckiej Doliny Wodorowej.

Skala planowanych nakładów inwestycyjnych Grupy ORLEN to 7,4 mld PLN, z czego większość (4,1 mld) przeznaczona zostanie na produkcję wodoru i budowę infrastruktury wodorowej na potrzeby mobilności. Strategia wodorowa Orlenu przewiduje, że do 2030 r. około 50 proc. produkowanego wodoru ma być zero- lub niskoemisyjne. W tym celu ma powstać 540 MW nowych mocy produkcji nisko- i zeroemisyjnego wodoru.

Strategia Rozwoju Województwa Pomorskiego 2030

Przyjęta w 2021 roku SRWP wskazuje na kryzys klimatyczny i zmiany nim powodowane jako jedno z głównych wyzwań globalnych kształtujących gospodarkę regionu w perspektywie do 2030 r. Jednocześnie wśród słabych stron województwa wymieniony jest niski poziom bezpieczeństwa energetycznego. Stąd też **jednym z celów operacyjnych strategii, składającym się na cel strategiczny „Trwałe bezpieczeństwo”, jest wzmocnienie bezpieczeństwa energetycznego poprzez rozwój OZE:** zarówno dużych farm wiatrowych na morzu, jak i rozproszonej lokalnej energetyki, wysp energetycznych, klastrów energii i spółdzielni energetycznych. **Dogodne warunki naturalne dla rozwoju OZE stanowią mocną stronę województwa, co daje szansę przełożenia się nie tylko na zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego, lecz także rozwój regionalnej gospodarki opartej o zielone źródła energii.**

Bezpieczeństwo energetyczne (wraz ze środowiskowym) tworzy jeden z pięciu Regionalnych Programów Strategicznych województwa pomorskiego, przyjętych w ramach realizacji SRWP. Jego głównym celem w obszarze energetyki jest zwiększanie generacji energii elektrycznej, w szczególności ze źródeł odnawialnych. Jednym z przedsięwzięć strategicznych służących do zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego regionu jest Pomorska Dolina Wodorowa, której zadaniem jest wspieranie produkcji odnawialnego wodoru oraz jego zastosowania celem magazynowania nadwyżek energii odnawialnej i wykorzystywania jako paliwa w transporcie publicznym.

Strategia Wodorowa Niemiec

Strategia wodorowa Niemiec¹ to plan rządu federalnego, który ma na celu zwiększenie udziału wodoru w gospodarce energetycznej kraju. Wodór jest uważany za kluczowy element transformacji energetycznej, ponieważ może być wykorzystywany do przechowywania i transportu energii odnawialnej, a także do zasilania pojazdów i przemysłu.

Niemcy zamierzają zainwestować 9 miliardów euro w rozwój technologii wodorowych i wspierać międzynarodową współpracę w tej dziedzinie. Celem strategii jest osiągnięcie 5 GW mocy elektrolizerów do 2030 roku i 10 GW do 2040 roku, co odpowiada około 14 proc. zapotrzebowania na energię elektryczną kraju.

Niemcy planują również **eksport technologii wodorowych** i przygotowanie infrastruktury do importu zielonego wodoru. W tym celu Niemcy chcą stworzyć odpowiednią infrastrukturę transportową i magazynową, a także wspierać rozwój rynku wodorowego i norm prawnych dotyczących tego paliwa.

¹ *The National Hydrogen Strategy, Rząd Federalny Republiki Federalnej Niemiec*, https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/downloads/files/bmwi_nationale-wasserstoffstrategie_eng_s01.pdf?__blob=publicationFile&v=2.

W Niemczech powstają także strategie na poziomie krajów związkowych, zawierające instrumenty wsparcia oraz główne priorytety w zakresie rozwoju gospodarki wodorowej.

W ramach niemieckiego Planu Odbudowy i Odporności (odpowiednika polskiego KPO) Niemcy zamierzają skoncentrować się na trzech obszarach. Po pierwsze, planują zbudować elektrolizery o łącznej mocy 500 MW w miejscach, gdzie jest wystarczająca ilość energii odnawialnej. Po drugie, skupią się na budowie infrastruktury do transportu i przechowywania wodoru. Po trzecie, Niemcy zamierzają stworzyć europejską infrastrukturę transportu i przechowywania wodoru.

Strategia wodorowa została zaktualizowana w 2023 r. Nowelizacja potwierdziła istotne znaczenie wodoru w transformacji energetycznej Niemiec – również w postaci szans, jakie rozwój technologii wodorowych tworzy dla sektora innowacyjności w RFN – **i kluczową rolę zielonego wodoru, ale jednocześnie otworzyła system wsparcia na inne rodzaje wodoru w wybranych sektorach (np. przemyśle)**. Dodatkowo aktualizacja wzmocniła przekonanie, że **Niemcy nie będą w stanie wygenerować wystarczającej ilości wodoru, aby sprostać potrzebom własnej gospodarki, więc będą skazani na jego długoterminowy import²**.

² Kędzierski M., *Niemcy: aktualizacja strategii wodorowej*, Ośrodek Studiów Wschodnich, <https://www.osw.waw.pl/pl/publikacje/analizy/2023-08-31/niemcy-aktualizacja-strategii-wodorowej>.

Atuty województwa pomorskiego w kontekście budowy gospodarki wodorowej

Chociaż gospodarka wodorowa – tak w Polsce, jak i na świecie – znajduje się na bardzo wczesnym etapie rozwoju, już teraz rozpala wyobraźnię ekspertów i decydentów, którzy upatrują w niej szansę na zmiany w dotychczasowych łańcuchach wartości, zwłaszcza w obszarze energii, i poprawę sytuacji gospodarczej poszczególnych regionów. Nie inaczej jest w Polsce – państwie, które jest jednym z liderów produkcji wodoru w Europie (jest to wodór szary, niespełniający wymogów związanych z koniecznością budowy zielonej gospodarki) i chciałoby tę pozycję przynajmniej utrzymać.

Wodorowe ambicje są silne również w województwie pomorskim. **Najbardziej optymistyczna jest wizja, w której Pomorze staje się europejskim liderem rynku wodorowego. W tym scenariuszu region byłby zasobny w zieloną energię i wodór, które mógłby transportować w głąb kraju, a także eksportować do państw ościennych, zwłaszcza potrzebujących tego Niemiec. W ten sposób województwo pomorskie nie tylko zwiększyłoby swoje znaczenie strategiczne na tle innych regionów Polski, lecz także znacząco podbudowałoby swą pozycję gospodarczą,** zyskując szansę na wyeliminowanie jednej ze swych podstawowych słabości, za jaką postrzega się relatywnie niską obecność przemysłu w regionie. Wizja ta oznaczałaby zarazem złamanie tradycyjnej „osi”, w której to dostęp energii jest zapewniany przez regiony znajdujące się na południu Polski. Przyszłość, przynajmniej w tym wymiarze, należałaby do północy kraju.

Realizacja tej radykalnie pozytywnej dla Pomorza wizji nie będzie jednak łatwa. Na jej drodze stoją zarówno bariery o charakterze strategicznym – wszak takie „przeosiowanie” kraju wymagałoby szerokich działań adaptacyjnych, np. zmian

w strukturze rynku pracy, wręcz wdrożenia nowego modelu rozwojowego na Śląsku – czy polityczno-gospodarczym. Nie bez znaczenia są też względy społeczne. Budowa – zwłaszcza tak rozwiniętej – gospodarki wodorowej wymagałaby i szerokiej społecznej akceptacji, chwilowo trudnej do osiągnięcia w związku z obawami, jakie wodór rodzi w społeczeństwie, i rozwinięcia kompetencji. Wszystko to skłania do wniosku, że **rozsądne planowanie strategiczne w zakresie budowy gospodarki wodorowej na Pomorzu powinno być oparte nie na najbardziej optymistycznych scenariuszach, a na procesie analitycznym, w którym rozważane są zarówno mocne, jak i słabe strony województwa pomorskiego, szanse, z których region będzie mógł skorzystać, i zagrożenia, z którymi będzie się musiał zmierzyć.** Powinno być również oparte na założeniu, że **budowa gospodarki wodorowej nie jest celem samym w sobie – jest środkiem do zwiększenia dobrobytu w województwie pomorskim.**

Punktem wyjścia do tego procesu powinno być rozważenie, jakie atuty i przewagi w zakresie budowy gospodarki wodorowej w przyszłości województwo pomorskie posiada już teraz. Dlatego na początku projektu „Pomorskie na lekkim gazie...” zidentyfikowaliśmy następujące „silne karty”, jakie region dzierży w swych dłoniach, które mogą stanowić fundamenty pod budowę jego wodorowej przyszłości:

Polityczne

- Samorząd (zwłaszcza Gdańsk, Gdynia, Sopot, Wejherowo i Słupsk) silnie zainteresowany rozwojem gospodarki wodorowej i wspierający inicjatywy wodorowe (Regionalne Programy Strategiczne).
- Możliwość uzyskania wsparcia dużych graczy – Lotos/Orlen.
- Synergia między projektami wodorowymi a strategią rozwoju województwa.
- Klaster wodorowy/Pomorska Dolina Wodorowa – ułatwiają integrację podmiotów zainteresowanych rozwojem gospodarki wodorowej, zwiększają siłę lobbingową.

- Konferencja PCHET jako jedno z głównych wydarzeń branży wodorowej i miejsce integracji podmiotów zainteresowanych rozwojem branży wodorowej.

Ekonomiczne

- Potencjalne wsparcie dużych graczy – Lotos/Orlen – jako instrument zabezpieczający ryzyko inwestycji.
- Rozwój gospodarczy regionu przekładający się na rosnące zainteresowanie inwestorów zagranicznych.
- Pierwsze projekty, np. NeptHyne, H2Global, PDA Support, Hy-Way to Hel.
- Funkcjonowanie na terytorium województwa podmiotów silnie zainteresowanych dekarbonizacją, aby utrzymać swą konkurencyjność międzynarodową, przede wszystkim porty.
- Miejscy beneficjenci programu FCH Regions EU (Gdańsk, Gdynia, Tczew, Wejherowo) – wsparcie finansowe na zakup autobusów napędzanych wodorem.

Społeczne

- Uwarunkowania demograficzne – młoda, dobrze wykształcona populacja.
- Łatwość zareklamowania budowy gospodarki wodorowej społeczeństwu – zarówno ze względu na uwarunkowania demograficzne, jak i przekaz, że rozwój gospodarki wodorowej może zamienić województwo pomorskie w eksportera energii.
- Uczelnie:
 - a) kierunek „Technologie wodorowe i elektromobilność” na Politechnice Gdańskiej;
 - b) Politechnika jako jedna z uczelni goszczących Akademię Wodorową Orłenu;
 - c) Współpraca międzynarodowa – współpraca PG z Duńskim Uniwersytetem Technicznym, Instytutem Maszyn Przepływowych PAN, PGE w sprawie

- wymiany wiedzy, wspólnych badań i rozwoju zawodowego w obszarze morskiej energetyki wiatrowej;
- d) Centrum Technologii Wodorowych na PG.

Technologiczne

- Potencjalne lokalizacje dla elektrowni jądrowych.
- Plany rozwoju farm wiatrowych na lądzie i morzu.
- Plany dotyczące budowy terminala FSRU.
- Plany obejmujące transport wodoru z kierunku wschodniego (Bałtyk) na zachód i z północy na południe (European Hydrogen Backbone).
- Kawerny w Kosakowie (potencjalny magazyn wodoru lub CO₂).
- Potencjał B+R pomorskich przedsiębiorstw w obszarze tworzenia łańcucha wartości gospodarki wodorowej.

Środowiskowe

- Uwarunkowania naturalne: dostęp do wody morskiej (odsalanie), dogodne warunki dla lokalizacji farm wiatrowych, dostęp do biomasy – szansa na zasilanie elektrolizerów z OZE.
- Obecność dużych aktorów – przede wszystkim porty i rafineria – zainteresowanych dekarbonizacją w oparciu o wodór (hub wodorowy w porcie Gdynia).
- Pomorze jako jeden z regionów najbardziej narażonych na zmiany klimatu – wysoka świadomość dot. konieczności budowy zielonej gospodarki.

Prawne

- Pomorska Dolina Wodorowa – jednym z celów ma być kształtowanie prawa umożliwiającego sprawne wdrożenie technologii wodorowych.

Ten wstępny katalog atutów i przewag województwa pomorskiego wyznaczał ramy dalszych badań i analiz w projekcie. Służył również pomocą przy formułowaniu – na ostatnim etapie projektu i po jego weryfikowaniu przez interesariuszy – rekomendacji i celów dla województwa pomorskiego w zakresie budowy gospodarki wodorowej.

Część I – diagnoza

Badanie CATI – miejsce wodoru w planach transformacji energetycznej przedsiębiorstw województwa pomorskiego

Wprowadzenie

Badanie ankietowe przedstawicieli pomorskich przedsiębiorstw zostało przeprowadzone na reprezentatywnej próbie 350 przedsiębiorstw z województwa pomorskiego zatrudniających powyżej 10 osób, a więc z wyłączeniem mikroprzedsiębiorstw. W próbie badawczej największą grupę stanowiły firmy z sektora przetwórstwa przemysłowego (24 proc. badanych). Na kolejnych miejscach plasowały się przedsiębiorstwa handlowe (13 proc.), z branży budowniczej (10 proc.) i transportowej (7,5 proc.). Wśród badanych przedsiębiorstw 72 proc. stanowiły małe firmy, zatrudniające od 10 do 50 pracowników.

Głównym celem badania było określenie miejsca, jakie w planach transformacji energetycznej przedsiębiorstw pomorskich zajmuje wodór. By ten cel zrealizować, konieczne było poznanie stopnia zaawansowania transformacji energetycznej i planów z nią związanych. Ważnym kontekstem dla określenia potencjału wykorzystywania wodoru jest także nastawienie przedsiębiorstw do redukcji śladu węglowego (dekarbonizacji) i związanych z nią regulacji prawnych. Plany dekarbonizacyjne i świadomość presji regulacyjnej dotyczącej redukcji emisji w działalności gospodarczej stanowią bowiem istotny warunek wykorzystywania wodoru w gospodarce regionu.

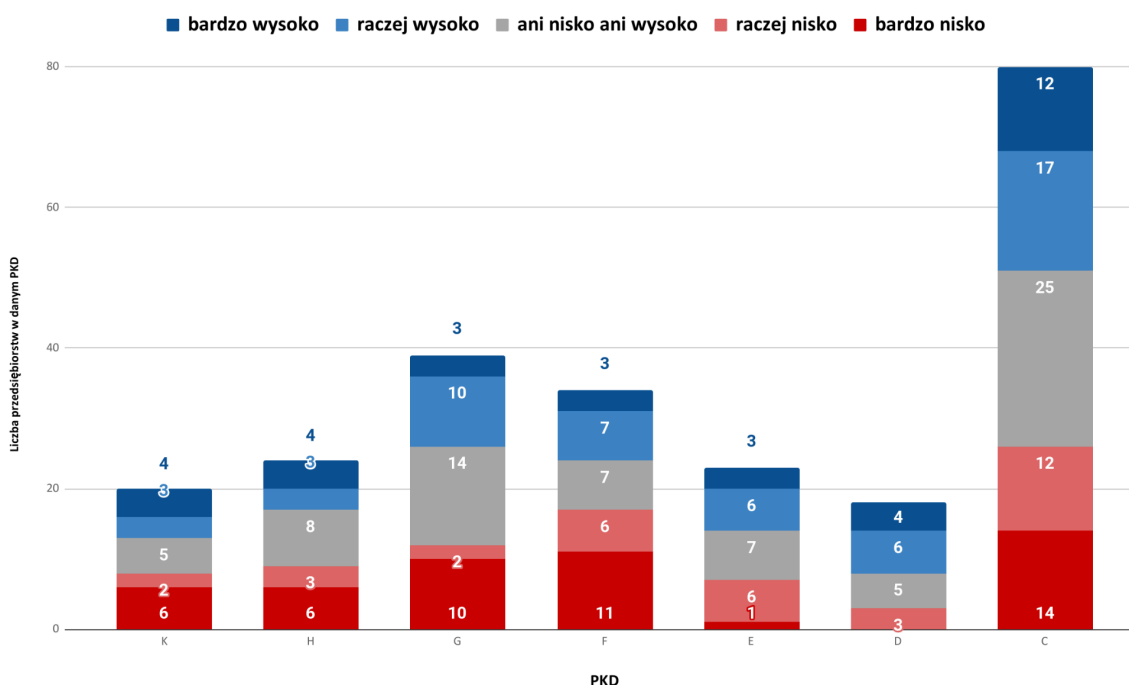
By uchwycić ten szeroki kontekst rozwoju gospodarki wodorowej, kwestionariusz ankiety podzielono na trzy bloki tematyczne, obejmujące w sumie 22 pytania zamknięte:

1. Transformacja energetyczna przedsiębiorstw.
2. Uwzględnianie w działalności przedsiębiorstwa celów redukcji emisji.
3. Miejsce wodoru w działalności przedsiębiorstwa.

Transformacja energetyczna przedsiębiorstw

Celem tego bloku pytań było dokonanie diagnozy stopnia zaawansowania transformacji energetycznej przedsiębiorstw oraz świadomości i znajomości metod jej przeprowadzania wśród osób odpowiedzialnych za jej realizację. Pytaliśmy o podejmowane działania, inwestycje i podejścia do transformacji energetycznej – a także plany na przyszłość oraz przyczyny braku działań, jeśli firma nie przeprowadza i/lub nie zamierza przeprowadzać zmian związanych z wykorzystywaniem energii elektrycznej lub ciepłej.

Wykres 1. Stopień zaangażowania przedsiębiorstwa w transformację energetyczną w ocenie przedstawicieli przedsiębiorstw (wg sekcji PKD). N=255 (wybrane 7 najsilniej reprezentowanych branż w badaniu)



Opisy branż: K (Finanse i ubezpieczenia), H (Transport i gospodarka magazynowa), G (Handel hurtowy i detaliczny, naprawa pojazdów samochodowych), F (Budownictwo), E (Dostawa wody, gospodarowanie ściekami i odpadami, rekultywacja), D (Wytwarzanie i zaopatrywanie w energię elektryczną, gaz, parę wodną, gorącą wodę i powietrze), C (Przetwórstwo przemysłowe)

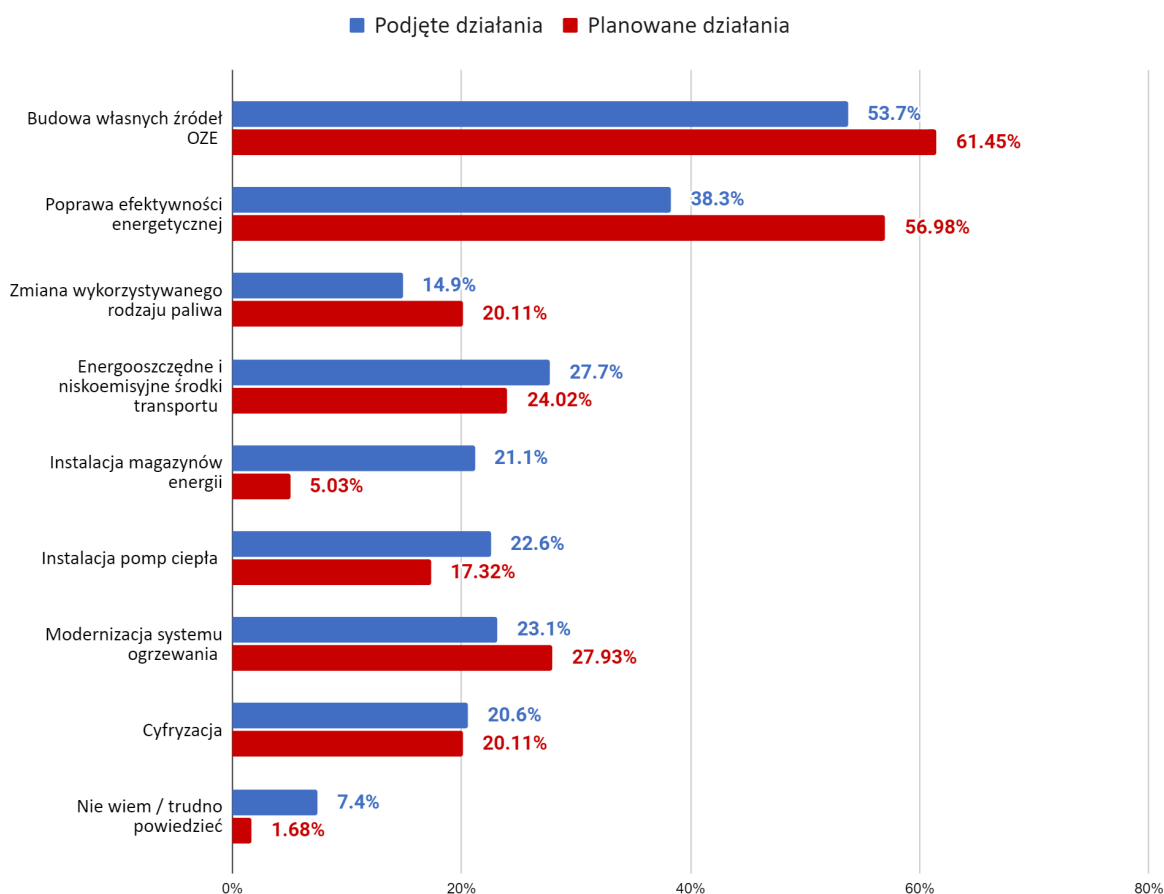
Wśród badanych przedsiębiorstw ponad połowa (51 proc.) podjęła działania z zakresu transformacji energetycznej. Największe zaangażowanie w tym zakresie wykazywały firmy z obszaru energetyki (sekcja D w PKD), a najmniejsze z budownictwa (sekcja F).

Główne działania (zarówno te podjęte, jak i planowane w przyszłości) **to budowa**

własnych źródeł OZE i poprawa efektywności energetycznej. Niewielka waga jest przywiązywana do cyfryzacji przedsiębiorstwa jako narzędzia transformacji energetycznej.

Wśród planowanych działań z obszaru energetyki na trzecim miejscu (blisko 20 proc. wskazań) wymieniane są te związane z transportem, co wydaje się być warte uwagi w kontekście potencjalnych obszarów rozwoju gospodarki wodorowej w Pomorskiem.

Wykres 2. Podjęte i planowane działania z zakresu transformacji energetycznej. N=350 (planowane działania) i N=179 (przedsiębiorstwa, które podjęły działania z zakresu transformacji energetycznej). Można było wybrać więcej niż jedną odpowiedź.

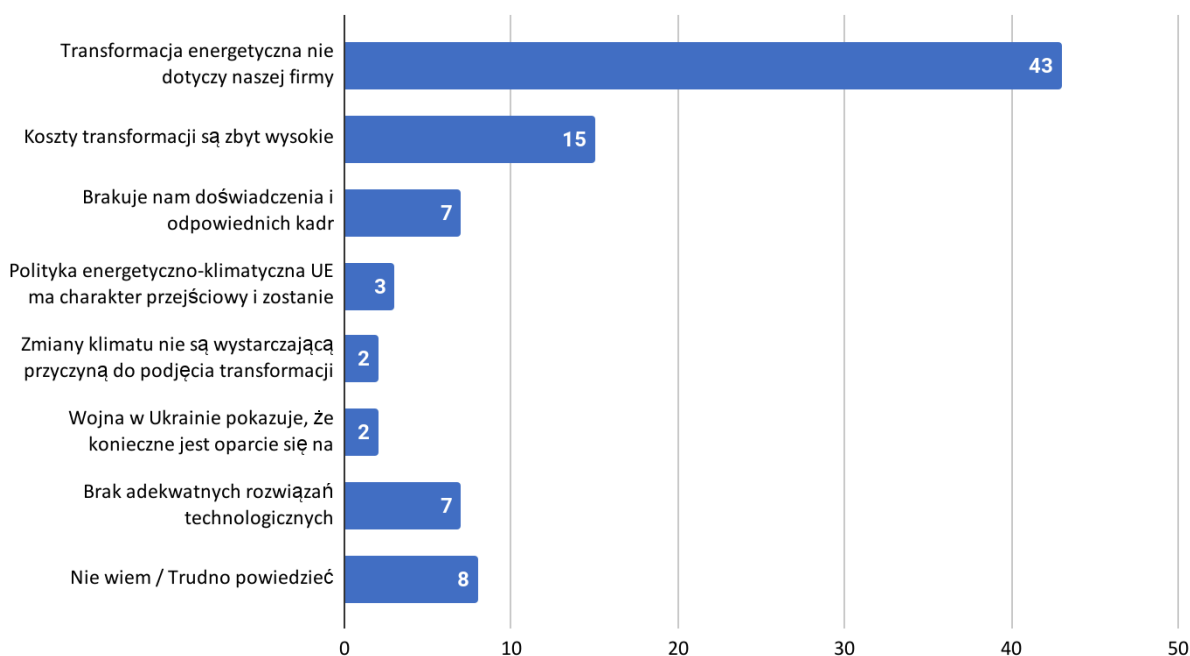


Jeśli jednak mowa o planach w obszarze gospodarowania energią w przedsiębiorstwach, to niepokojąca jest dynamika zmian transformacyjnych: **tylko 15 proc. przedsiębiorstw zamierza przeprowadzać dekarbonizację w przyszłości, a 20 proc. w ogóle nie zamierza tego czynić.** Oznaczałoby to, że z perspektywy pomorskich przedsiębiorców transformacja energetyczna już się dokonała lub dokonuje poprzez działania związane z OZE i efektywnością

energetyczną. Jest to niepokojące, biorąc pod uwagę fakt, że jesteśmy dopiero na początku ścieżki związanej z budową zeroemisyjnej gospodarki (założonej w Europejskim Zielonym Ładzie jako cel strategiczny wszystkich państw Unii Europejskiej do 2050 r.). Zapewnienie zielonej energii i zmniejszenie ilości wykorzystywanej energii stanowią jedynie początek głębszej transformacji przedsiębiorstw, skoncentrowanej wokół redukcji śladu węglowego w tzw. trzech zakresach emisyjności (emisje własne, emisje z kupowanej energii, emisje w łańcuchach dostaw). Oznacza to więc konieczność dalszych działań, prowadzących do całkowitego wyeliminowania emisyjnych źródeł energii w całym spektrum działalności przedsiębiorstwa, np. przez zmianę wykorzystywanych paliw, technologii produkcji, elektryfikację, uwodorowienie, wprowadzanie zasad gospodarki cyrkularnej (obiegu zamkniętego), redukcję ilości produkowanych odpadów itp.

Ta perspektywa wydaje się być niedostrzegana przez pomorskie firmy, co potwierdzają odpowiedzi na kolejne pytania dotyczące strategii dekarbonizacji. Przede wszystkim świadczy jednak o tym fakt, że **ponad połowa z przedsiębiorstw, które nie zamierzają podejmować żadnych działań w obszarze transformacji energetycznej, uważa, że ona ich nie dotyczy**. Jest to sprzeczne z przedstawionymi założeniami Europejskiego Zielonego Ładu i polityki energetyczno-klimatycznej UE, które obejmują wszystkie podmioty społeczno-gospodarcze i wymagają od nich osiągnięcia zerowej emisyjności netto do 2050 r.

Wykres 3. Przyczyny niepodjęcia działań z zakresu transformacji energetycznej. N=70 (przedsiębiorstwa, które nie podjęły i nie zamierzają podjąć działań z zakresu transformacji energetycznej). Można było wybrać więcej niż jedną odpowiedź.



Wśród przeszkód w transformacji na pierwszym miejscu wskazywane są jej zbyt wysokie koszty, a w oczekiwaniach odpowiednio wymieniana jest potrzeba zagwarantowania właściwych zachęt finansowych: dopłat do inwestycji, ulg podatkowych, preferencyjnych kredytów i „zielonego finansowania”. Wskazywane są one jako główne warunki zaangażowania się w transformację energetyczną przez te przedsiębiorstwa, które tego nie planują robić.

Uwzględnianie w działalności przedsiębiorstwa celów redukcji emisji

Zgodność modeli biznesowych przedsiębiorstw z modelem gospodarki zeroemisyjnej, opartej na redukcji śladu węglowego, jest warunkiem tworzenia przestrzeni dla wykorzystywania wodoru w działalności gospodarczej, ale także włączania się przedsiębiorstw w łańcuch wartości gospodarki wodorowej i tworzenie oferty produktowo-usługowej w obszarze produkcji, przesyłu, magazynowania lub wykorzystania wodoru. By móc ocenić, na ile pomorskie przedsiębiorstwa wpisują się w model gospodarki zdekarbonizowanej, pytaliśmy o:

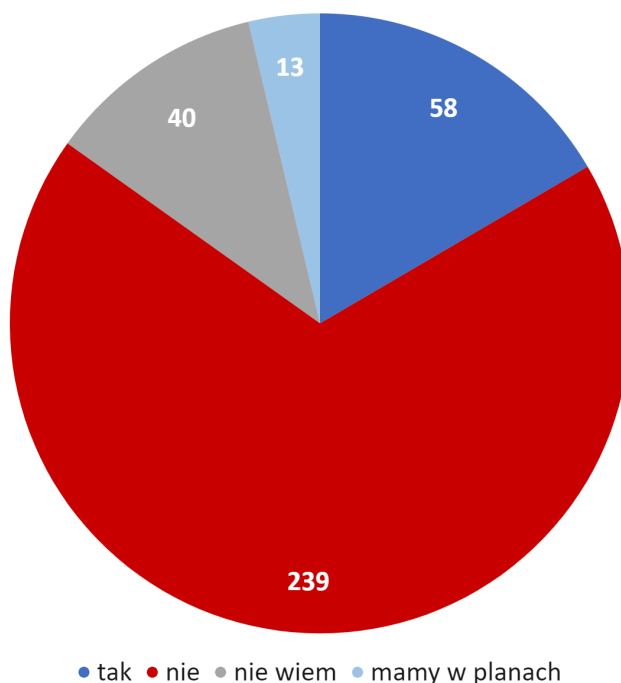
- obliczanie śladu węglowego w przedsiębiorstwie;
- cele redukcji emisji – uwzględnienie w dokumentach firmy;
- horyzont czasowy planów dekarbonizacyjnych;
- motywacje dla dekarbonizacji;
- źródła finansowania transformacji energetycznej;
- współpracę z innymi podmiotami (branżowymi, naukowo-badawczymi, publicznymi) przy planowaniu działań nakierowanych na redukcję emisji;
- znajomość regulacji z zakresu polityki energetyczno-klimatycznej (Europejski Zielony Ład, Fit for 55, REPower EU, Taksonomia EU, Polityka Energetyczna Państwa do 20240 r., Polska Strategia Wodorowa) i ich ocenę z perspektywy szans i zagrożeń rozwojowych.

Za punkt odniesienia posłużyło nam zaangażowanie przedsiębiorstw w kwestie środowiskowe, społeczne i związane z ładem korporacyjnym (oparte na modelu ESG: Environment, Social, Governance). **Większość przedsiębiorstw najwyżej oceniło swoje zaangażowanie w kwestie środowiskowe (61 proc. uznało je za wysokie lub bardzo wysokie). Jednak gdy pytaliśmy o obliczanie śladu węglowego (które jest podstawowym wskaźnikiem zaangażowania prośrodowiskowego w standardzie ESG), tylko 16 proc. firm zadeklarowało, że oblicza ślad węglowy.**

Co więcej, 68 proc. tego nie tylko nie robi, lecz również nie planuje robić w przyszłości.

W swoich planach ma to zaledwie 3 proc. pomorskich przedsiębiorstw. Ale nawet wśród tych 16 proc. przedsiębiorstw liczących ślad węglowy zaledwie jedna piąta (a dokładnie 12 przedsiębiorstw spośród tych, które wzięły udział w badaniu) ma określone cele redukcji emisji – a więc posiada plany ukierunkowane na zmniejszenie emisyjności swojej działalności.

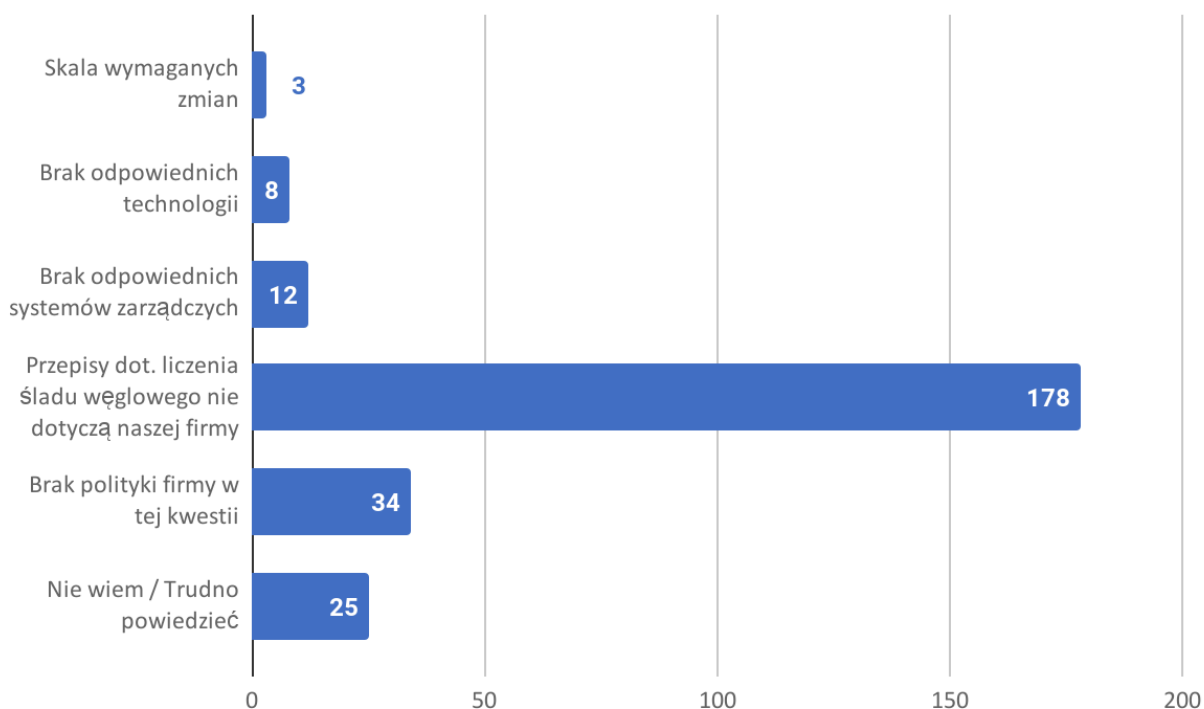
Wykres 4. Obliczanie śladu węglowego przez przedsiębiorstwa. N=350.



Niecałe 20 proc. firm zainteresowanych liczeniem śladu węglowego w województwie pomorskim to bardzo niski wynik, biorąc pod uwagę wymogi związane z budową zeroemisyjnej gospodarki i świadomość społeczno-biznesową wymaganą do rozwoju usług i produktów opartych na wodorze.

Dekarbonizacja gospodarki, oparta na sukcesywnie wdrażanych regulacjach z zakresu polityki energetyczno- klimatycznej i realizacji założeń strategii Europejski Zielony Ład, jest bowiem dziś jedynym motorem rozwoju gospodarki wodorowej. Brak świadomości konieczności redukcji śladu węglowego w działalności gospodarczej może stanowić istotną barierę dla modernizacji i transformacji przedsiębiorstw w oparciu m.in. o wodór jako paliwo lub nośnik energii.

Wykres 5. Przyczyny braku obliczania śladu węglowego przez przedsiębiorstwa. N=239 (przedsiębiorstwa nie liczące śladu węglowego).

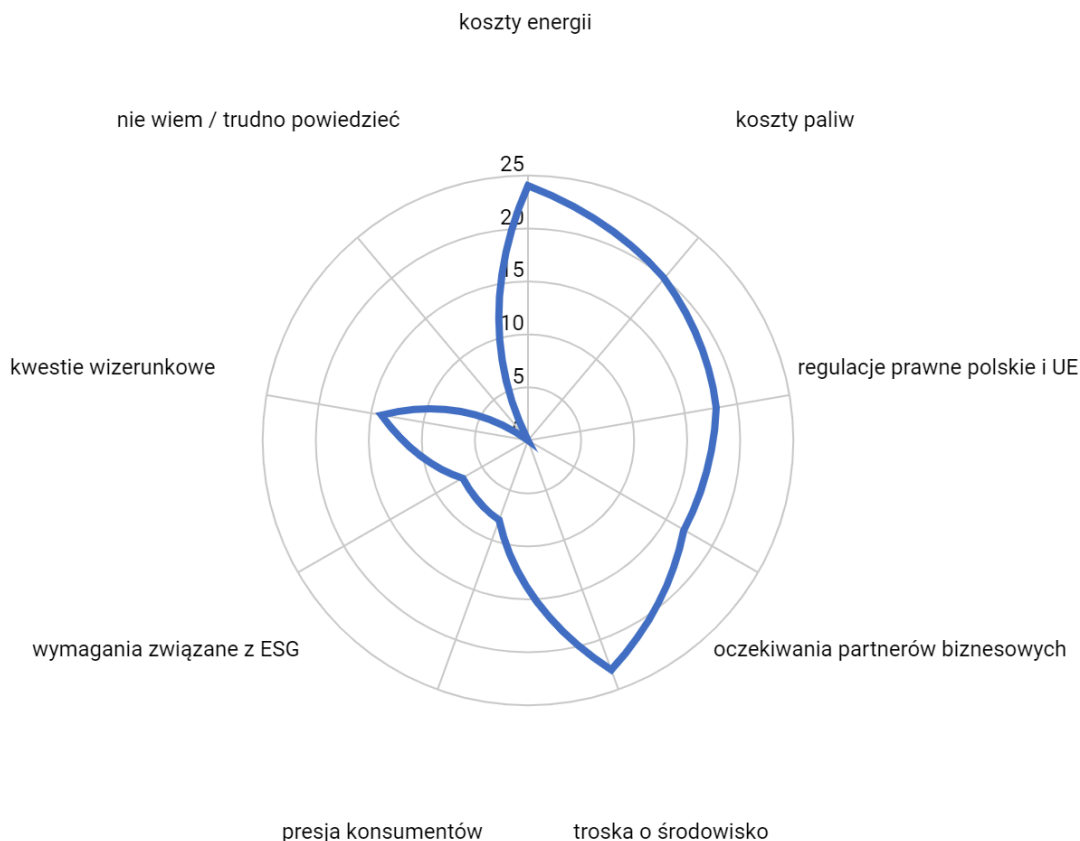


To, że świadomość przedsiębiorców – a nie uwarunkowania zewnętrzne – jest kluczowym czynnikiem, pokazują odpowiedzi na pytanie o motywacje i przyczyny (nie)obliczania śladu węglowego. Głównym powodem podejmowania działań redukujących emisję

są wysokie koszty energii oraz regulacje nakładające konieczność zmniejszania śladu węglowego. **Jednakże aż 51 proc. przedsiębiorstw uznało, że przepisy dotyczące liczenia śladu węglowego ich nie dotyczą³. Tymczasem redukcja śladu węglowego to nie jest jedynie kwestia wymogów regulacyjnych, ale zmieniającego się modelu biznesowego i wymogów związanych z gospodarką niskoemisyjną. Zbyt wysoki (lub po prostu niepoliczony) ślad węglowy może być – zwłaszcza dla małych i średnich przedsiębiorstw, które dominowały w badaniu – barierą w pozyskiwaniu kontrahentów i odbiorców produktów i usług.** Oczekiwania partnerów biznesowych i kwestie wizerunkowe są dopiero na dalszych miejscach wśród wskazywanych motywacji dla podejmowania działań dekarbonizacyjnych.

³ Były to przedsiębiorstwa z różnych branż, od działalności finansowej przez przetwórstwo przemysłowe, budownictwo, po handel i administrację publiczną. Nie występują znaczące statystycznie prawidłowości w zależności od reprezentowanej branży.

Wykres 6. Motywacja do obliczania śladu węglowego. N=76 (przedsiębiorstwa posiadające określone cele redukcji emisji). Można było wybrać więcej niż jedną odpowiedź.

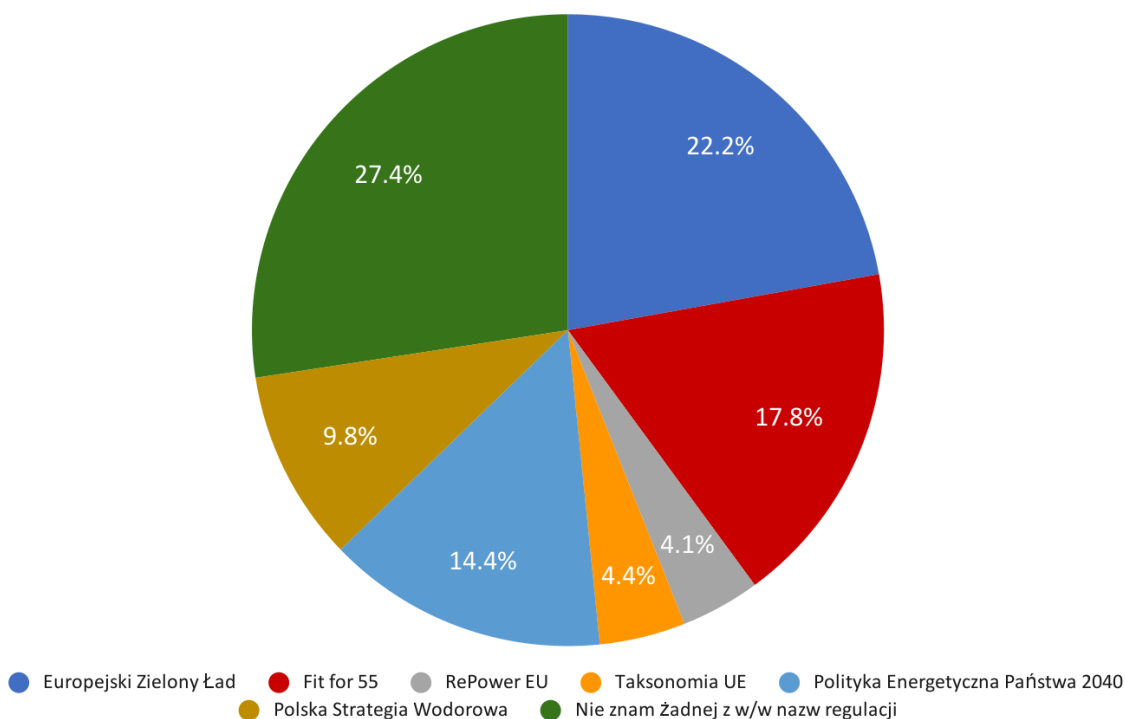


Tymczasem oczekiwania klientów biznesowych (a także końcowych konsumentów) w rzeczywistości dotyczą coraz częściej wykazania działań ukierunkowanych na zmniejszanie śladu węglowego produktu. Przedstawianie sposobów obliczania śladu węglowego i jego wysokości jest zaś coraz częściej warunkiem uczestnictwa

w międzynarodowych łańcuchach dostaw. Niedostrzeżenie tego faktu może być znaczącą przeszkodą w budowie gospodarki zeroemisyjnej i stanowiącej jej część gospodarki wodorowej na Pomorzu.

Niska świadomość trendów związanych z tworzeniem gospodarki zeroemisyjnej może być związana z niewielką znajomością regulacji prawnych dotyczących polityki energetyczno-klimatycznej Polski i Unii Europejskiej. Blisko połowa badanych przedstawicieli firm (46 proc.) nie zna żadnych spośród wymienionych regulacji prawnych (Europejski Zielony Ład, Fit for 55, REPower EU, Taksonomia UE, Polityka Energetyczna Państwa do 20240 r., Polska Strategia Wodorowa). Tylko 16 proc. z nich słyszało o Polskiej Strategii Wodorowej.

Wykres 7. Znajomość poszczególnych regulacji klimatyczno-energetycznych. N=350.



Miejsce wodoru w działalności przedsiębiorstwa

Kluczowy blok pytań dotyczył świadomości i planów przedsiębiorców w zakresie możliwości i gotowości do włączania się ich w poszczególne elementy gospodarki wodorowej. Pytaliśmy o:

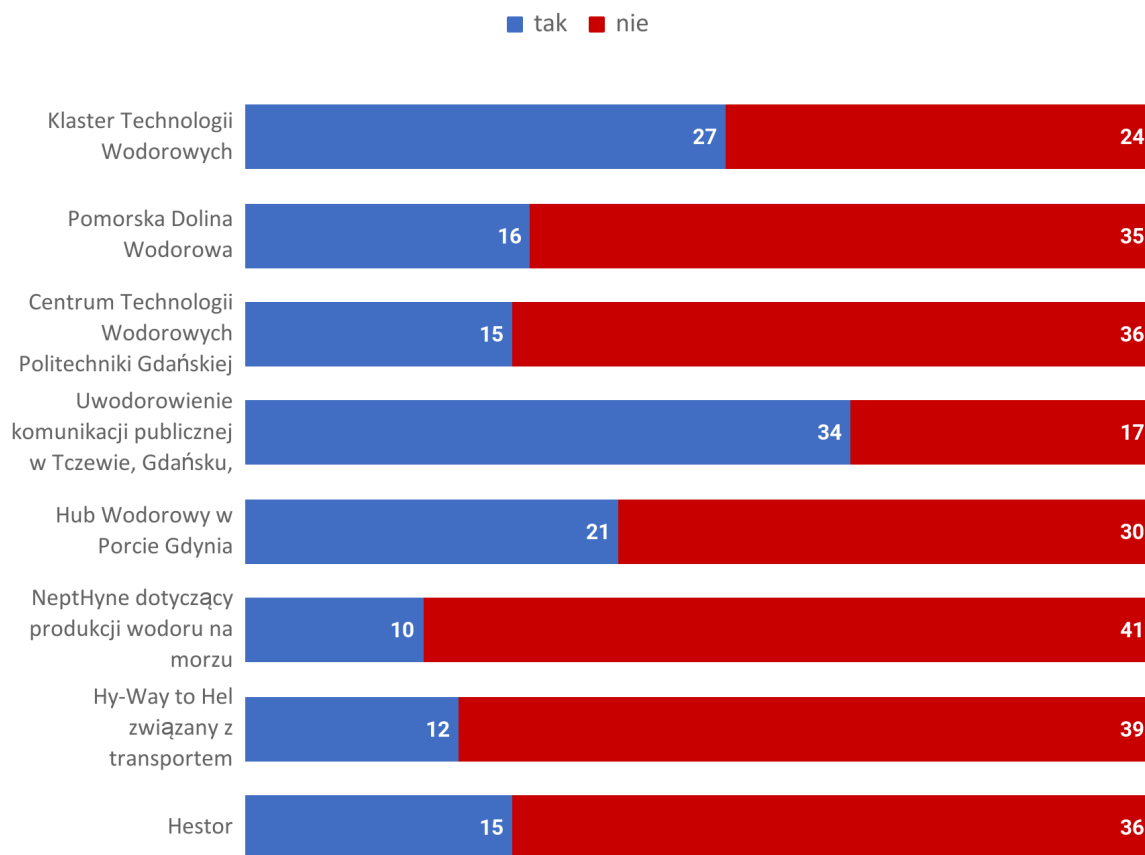
- zainteresowanie możliwościami wykorzystania wodoru w transformacji energetycznej przedsiębiorstwa;
- znajomość zagadnień związanych z gospodarką wodorową i planów jej rozwoju w województwie pomorskim;
- dostrzeżenie potencjału włączenia się w łańcuch wartości wodoru i miejsce w nim;
- postrzegane szanse i przeszkody w rozwoju gospodarki wodorowej.

Spośród wszystkich badanych przedsiębiorstw **jedynie 15 proc. (a dokładnie 53 podmioty) interesowało się wykorzystaniem wodoru w transformacji energetycznej**. Były to przedsiębiorstwa przede wszystkim z branży przetwórstwa przemysłowego (12 firm), oraz transportu i gospodarki wodno-ściekowej (po 9 firm). Większość z nich (75 proc.) zgadza się z tym, że rozwój gospodarki wodorowej jest szansą dla regionu, warto inwestować w wodór, może on odegrać ważną rolę w transformacji przedsiębiorstw, a region może być ważnym graczem w ramach krajowego i międzynarodowego łańcucha wartości. Są to te same przedsiębiorstwa (stanowiące w sumie jednak tylko 10 proc. pomorskich przedsiębiorstw), które widzą dla siebie szansę we włączeniu się w gospodarkę wodorową – zwłaszcza na etapie wykorzystania wodoru we własnej działalności.

Niewielka jest znajomość regionalnych inicjatyw związanych z wodorem – i to wśród podmiotów zainteresowanych jego wykorzystaniem. **Mniej niż połowa z nich słyszała o większości z inicjatyw takich jak Pomorska Dolina Wodorowa czy Klaster Technologii Wodorowych. Pokazuje to, że pozostaje jeszcze duża przestrzeń**

do działań promocyjno-informacyjnych, także w środowiskach zainteresowanych rozwojem gospodarki wodorowej.

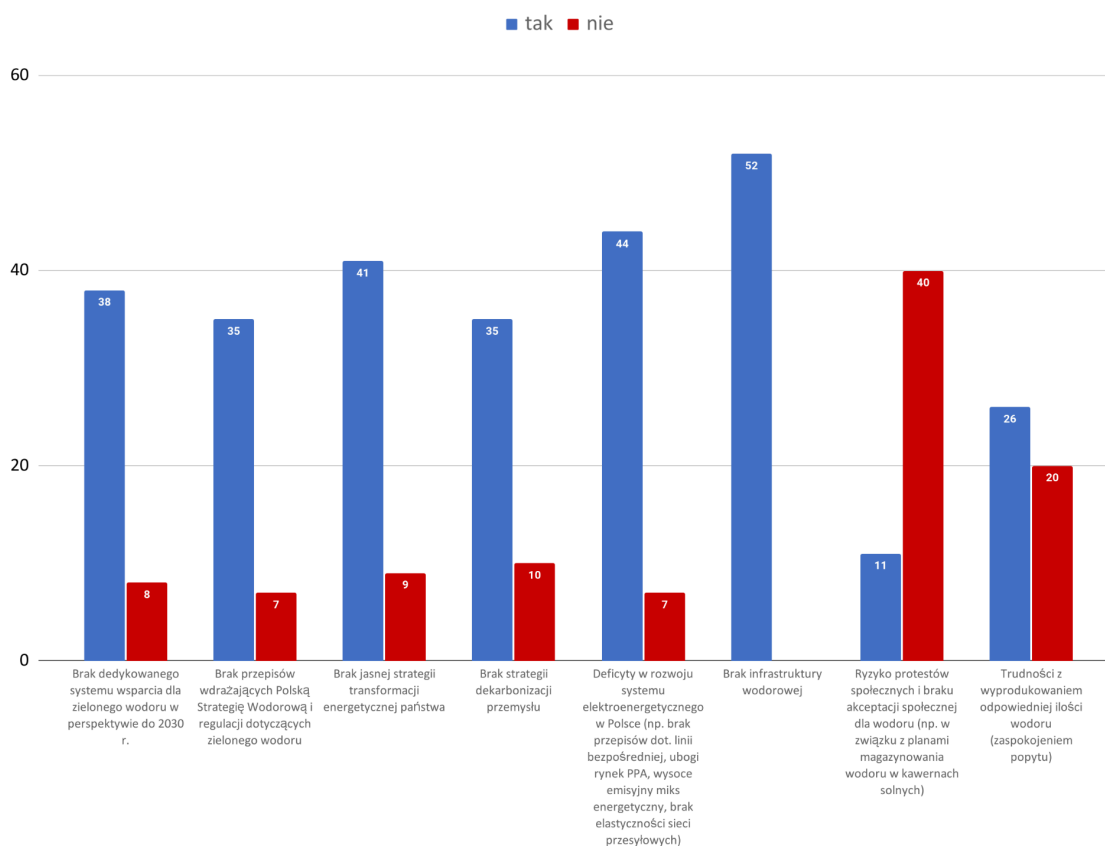
Wykres 8. Znajomość regionalnych inicjatyw związanych z wodorem. N=53 (firmy, które interesowały lub interesują się wykorzystaniem wodoru). Można było wybrać więcej niż jedną odpowiedź.



Za główną barierę w rozwoju gospodarki wodorowej uważany jest brak infrastruktury; inne przeszkody, takie jak deficyty w rozwoju systemu elektroenergetycznego, brak dedykowanych regulacji prawnych czy strategii dekarbonizacji zostały uznane za równie

poważne. Do optymistycznych elementów badania należy zaliczyć fakt, że **stosunkowo niewielkie obawy związane są z możliwościami wyprodukowania odpowiedniej ilości wodoru. Badani nie postrzegają ryzyka protestów i obaw społecznych jako istotnej bariery dla rozwoju gospodarki wodorowej.**

Wykres 9. Główne przeszkody i bariery stojące przed rozwojem gospodarki wodorowej. N=53 (firmy, które interesowały lub interesują się wykorzystaniem wodoru). Można było wybrać więcej niż jedną odpowiedź.



Wnioski

Głównym wehikułem rozwoju gospodarki wodorowej jest transformacja europejskiej gospodarki w stronę zeroemisyjności, wynikająca z celów i założeń Europejskiego Zielonego Ładu. Proces ten przekształca istniejące łańcuchy wartości oraz tworzy nowe. Pytając więc o miejsce wodoru w planach pomorskich przedsiębiorstw, należy wziąć pod uwagę ich gotowość do włączania się w powstającą zieloną gospodarkę, opartą nie tylko na redukcji emisji, lecz również na gospodarce obiegu zamkniętego, ograniczeniu oddziaływania na środowisko czy rezygnacji z wykorzystywania paliw kopalnych.

Zrealizowane badanie pokazuje znaczące deficyty pomorskich przedsiębiorców (mimo że badaliśmy głównie osoby odpowiedzialne za kwestie energetyczne i środowiskowe) **w tak szeroko pojętej transformacji energetycznej przedsiębiorstw.** Jedna piąta z nich nie zamierza podejmować żadnych działań związanych z transformacją energetyczną, z czego połowa uważa, że ona ich nie dotyczy. Dwie trzecie pomorskich firm nie oblicza i nie planuje obliczać w przyszłości swojego śladu węglowego – co staje się dziś normą w dekarbonizującej się gospodarce.

Niewielki jest również deklarowany poziom znajomości regulacji i polityk energetyczno-klimatycznych: blisko połowa badanych nie zna żadnych z polskich lub unijnych programów w tym obszarze. Przekłada się to również na potencjał wykorzystywania wodoru w działalności biznesowej: zdecydowana mniejszość firm interesowała się tym zagadnieniem.

Wyniki badań pokazują, że gospodarka wodorowa w województwie pomorskim rozwija się w swoistej bańce ekspercko-biznesowej, stworzonej wokół inicjatyw takich jak doliny wodorowe, Klaster Technologii Wodorowych czy konferencja PCHET.

Jednak **dyskusje i plany przedstawiane w tych kręgach z trudnością przebijają się do powszechnej świadomości pomorskich przedsiębiorców.**

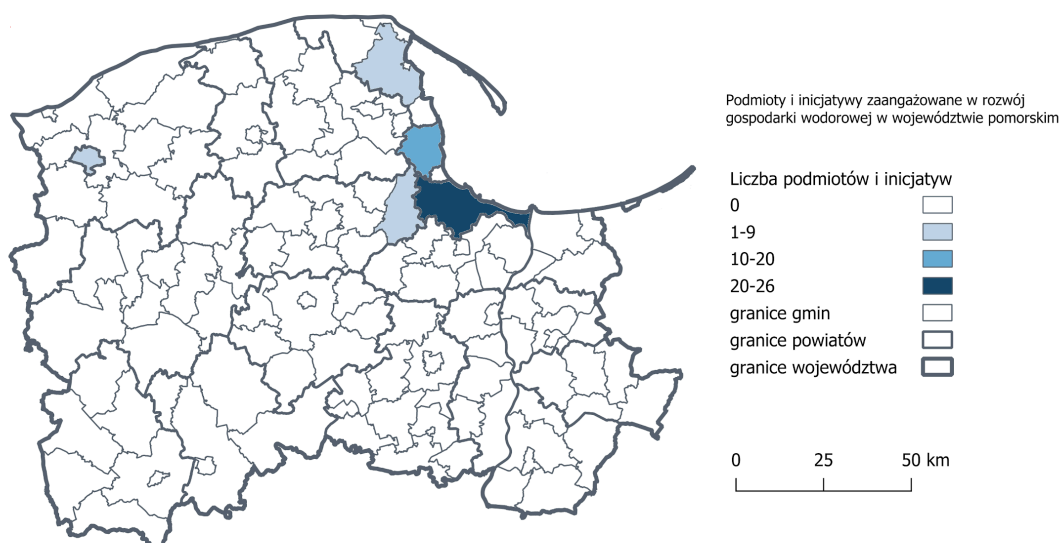
U podstaw niskiej znajomości i niewielkiego zainteresowania rozwojem gospodarki wodorowej wydaje się leżeć zbyt mała świadomość zmian, jaki niesie ze sobą transformacja w stronę „zielonej gospodarki”, zainicjowana wraz z ogłoszeniem Europejskiego Zielonego Ładu i pakietu Fit for 55.

To ta transformacja stanowi niezbędne podglebie dla budowy gospodarki wodorowej; uświadomienie sobie oraz podjęcie wyzwań związanych z zieloną transformacją działalności poszczególnych pomorskich przedsiębiorstw jest niezbędnym warunkiem rozwoju gospodarki wodorowej.

Interesariusze gospodarki wodorowej na Pomorzu

Na terenie województwa pomorskiego (pełna lista w [załącznikach](#)⁴) działa kilkadziesiąt podmiotów funkcjonujących na różnych ogniwach łańcucha wartości gospodarki wodorowej. Większość z nich znajduje się w bezpośredniej bliskości Trójmiasta i w Słupsku.

Mapa 1. Podmioty inicjatywy zaangażowane w rozwój gospodarki wodorowej w województwie pomorskim



⁴ Liczby firm widoczne na grafikach mogą odbiegać od liczby z bazy, ponieważ nie wszystkie podmioty, które zostały ujęte w bazie, znajdują się na terenie województwa pomorskiego.

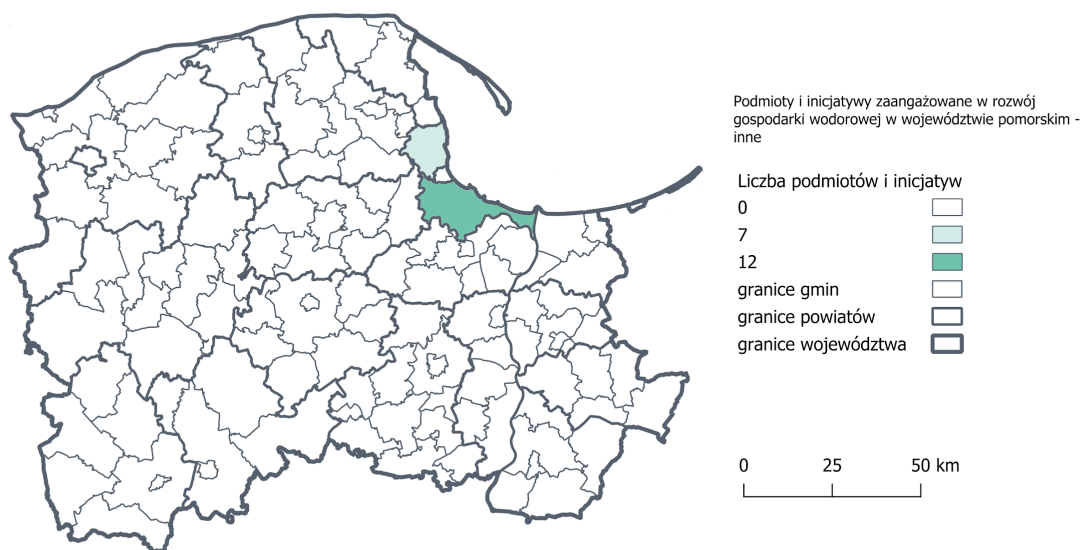
Wskazuje to z jednej strony na wczesne stadium rozwoju gospodarki wodorowej, z drugiej zaś może stanowić silną wskazówkę co do fundamentu, na którym powinna być budowana. Można to bowiem uznać za obszar, na którym powinny koncentrować się pierwsze działania wspierające, aby następnie rozprzestrzenić je na pozostałe obszary województwa. **Bez wątpienia jednak jest to cenna informacja odnośnie do tego, gdzie należałoby prowadzić bardziej zaawansowane działania wspierające rozwój gospodarki wodorowej, a gdzie warto byłoby rozważyć podjęcie inicjatyw uświadamiających potencjalne korzyści z rozwoju gospodarki wodorowej.**

Jeśli chodzi o łańcuch wartości gospodarki wodorowej, został on zaprojektowany następująco:

- OO: Inne (tj. podmioty, które prowadzą działalność potencjalnie wspierającą rozwój gospodarki wodorowej, np. przez produkcję sprzętu, który może być w niej wykorzystywany, edukację lub integrację interesariuszy)
- O1: Produkcja zielonej energii
- O2: Dystrybucja energii
- O3: Produkcja zielonego wodoru
- O4: Produkcja oprzyrządowania do produkcji zielonego wodoru
- O5: Transport wodoru
- O6: Magazynowanie wodoru
- O7: Odbiorcy wodoru

Obecnie najwięcej podmiotów można zakwalifikować do grupy „inne” – jest to kolejna silna przesłanka, która wskazuje na wczesne stadium rozwoju gospodarki wodorowej.

Mapa 2. Podmioty i inicjatywy zaangażowane w rozwój gospodarki w województwie pomorskim – kategoria „inne”.



Jednocześnie jednak jest to grupa podmiotów, których nie należy lekceważyć – w tej chwili większość z nich pełni bardzo ważną rolę wspierającą rozwój gospodarki wodorowej przez działania integrujące interesariuszy, animujące ich współpracę czy edukacyjną. Z czasem jednak – choćby wskutek działań uświadamiających dot. gospodarki wodorowej – ta grupa powinna w większym stopniu uwzględniać przedsiębiorstwa, które świadczą funkcje pomocnicze dla rozwoju gospodarki wodorowej, m.in. przez wytwarzanie potrzebnego do funkcjonowania rynku sprzętu czy oprzyrządowania. Z dużym stopniem prawdopodobieństwa jest to właśnie ta grupa,

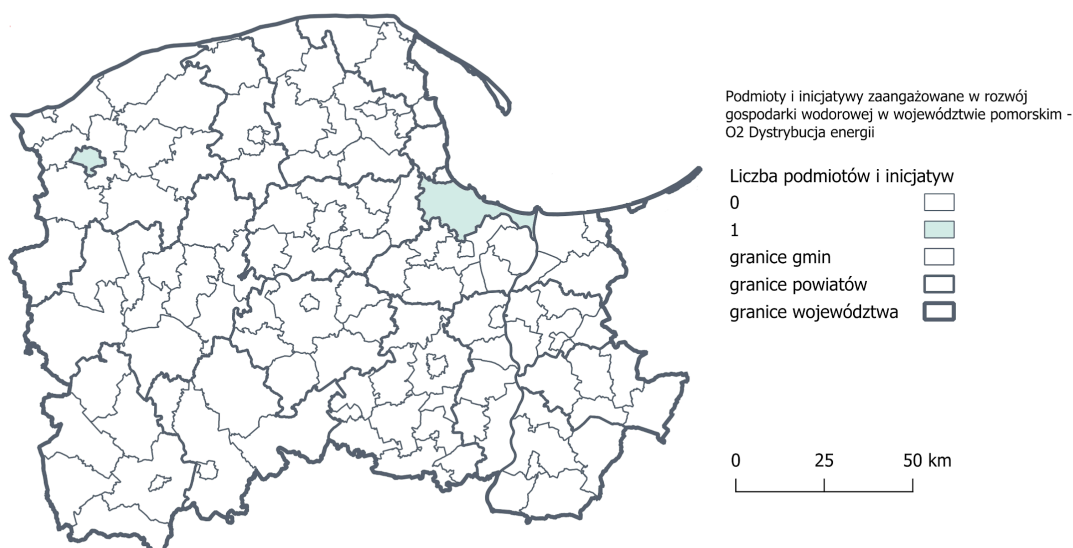
która w niedalekiej przeszłości będzie umożliwiała stopniową dyfuzję gospodarki wodorowej i jej poszczególnych rozwiązań w pozostałych obszarach województwa.

Odrębną kategorię potencjalnych interesariuszy gospodarki wodorowej mogą stanowić producenci zielonej energii. W tym badaniu firmy, które dysponują/planują dysponować własnymi instalacjami do produkcji wodoru, zostały ujęte na innych ogniwach łańcucha wartości. Było to podyktowane kilkoma względami. Przede wszystkim tym, że odrębne ujęcie wszystkich producentów zielonej energii – nawet tych, którzy jeszcze nie myślą o swojej działalności w kontekście gospodarki wodorowej – zaburzyłoby wyniki analizy. Umieszczenie w bazie podmiotów, które produkują zieloną energię z różnych powodów – nie stricte na potrzeby wytwarzania wodoru – zarysowałoby fałszywy obraz dojrzałości gospodarki wodorowej. Jednak w myśleniu o łańcuchach wartości gospodarki wodorowej bez wątplenia należy uwzględniać również producentów zielonej energii. Po pierwsze dlatego, że myślenie o wodorze w oderwaniu od szerszych zagadnień związanych z transformacją energetyczną może prowadzić na manowce. Po drugie, wynika to z wymogów dotyczących produkcji „wodoru przyszłości”, a więc takiego, który będzie musiał powstawać przede wszystkim w oparciu o odnawialne źródła energii. W takiej sytuacji jej producenci są kolejną grupą, którą warto zainteresować tematem gospodarki wodorowej, włączyć w proces jej formowania, poprzez budowanie synergii między nimi a potencjalnymi wytwórcami zielonego wodoru.



Kolejne ogniwa łańcucha wartości są znacznie słabiej „obsadzone”. Jeśli chodzi o dystrybucję energii, na mapie można dostrzec dwa podmioty.

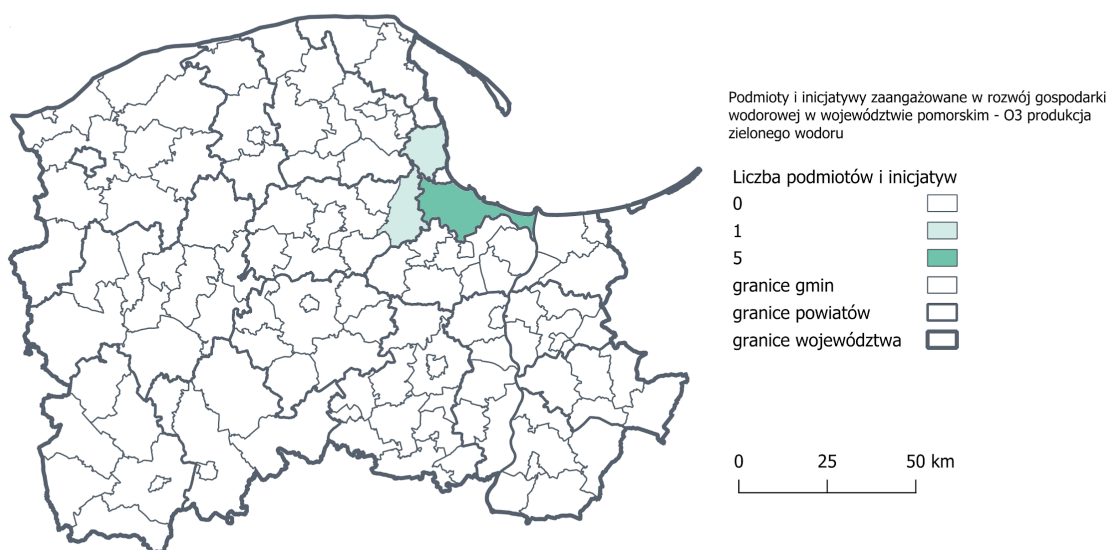
Mapa 3. Podmioty i inicjatywy zaangażowane w rozwój gospodarki w województwie pomorskim – kategoria „dystrybucja energii”.





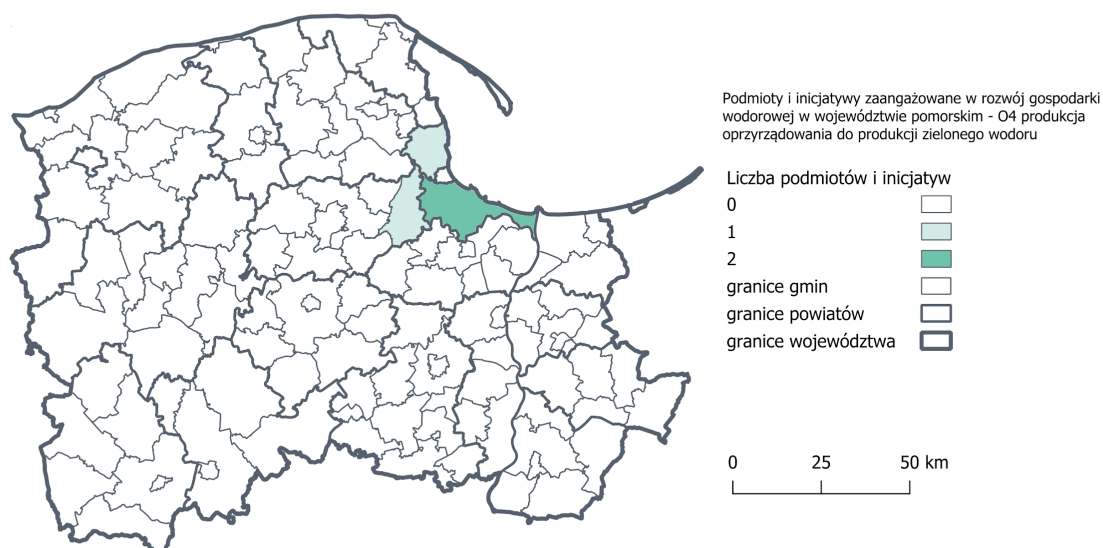
Nieco lepiej prezentuje się lista podmiotów zajmujących się produkcją zielonego wodoru, skoncentrowanych – podobnie jak miało to miejsce w przypadku podmiotów wchodzących w skład kategorii „inne” – wokół Trójmiasta.

Mapa 4. Podmioty i inicjatywy zaangażowane w rozwój gospodarki w województwie pomorskim – kategoria „produkcja zielonego wodoru”.



W tej sytuacji zaskoczeniem nie powinna być lokalizacja podmiotów zajmujących się wytwarzaniem oprzyrządowania do produkcji zielonego wodoru.

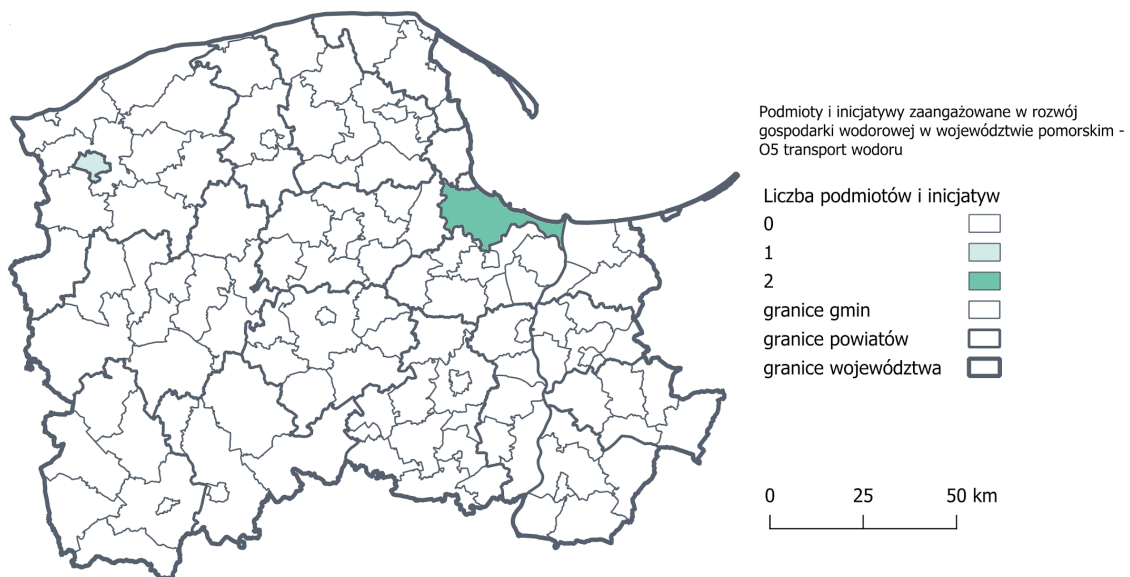
Mapa 5. Podmioty i inicjatywy zaangażowane w rozwój gospodarki w województwie pomorskim – kategoria „produkcja oprzyrządowania do produkcji zielonego wodoru”.



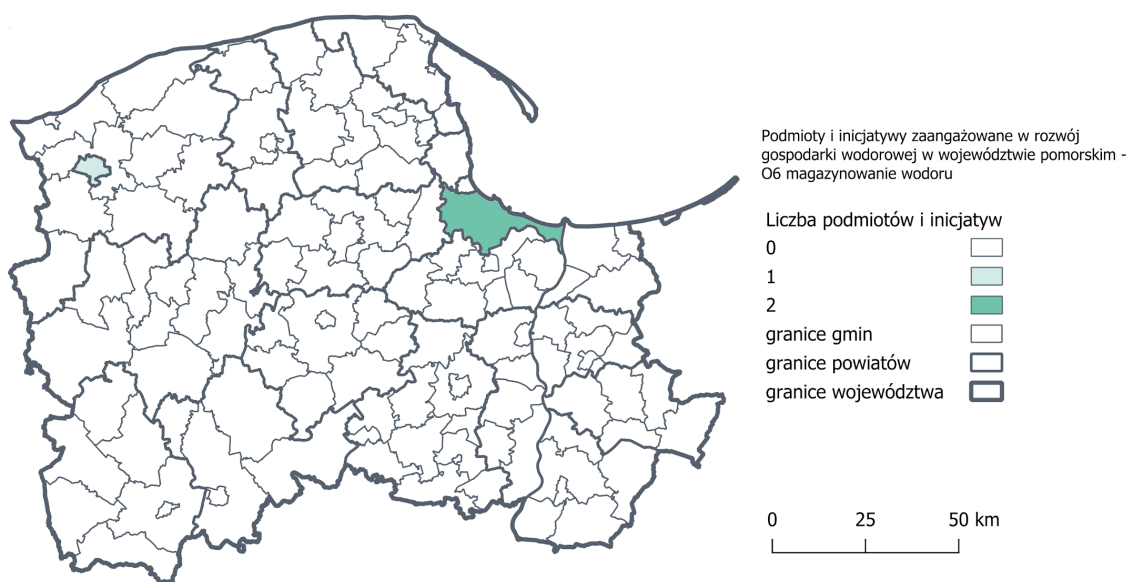


W przypadku podmiotów działających w obszarach transportu i magazynowania wodoru mapy rozlokowania interesariuszy wygląda tożsamo.

Mapa 6. Podmioty i inicjatywy zaangażowane w rozwój gospodarki w województwie pomorskim – kategoria „transport wodoru”.

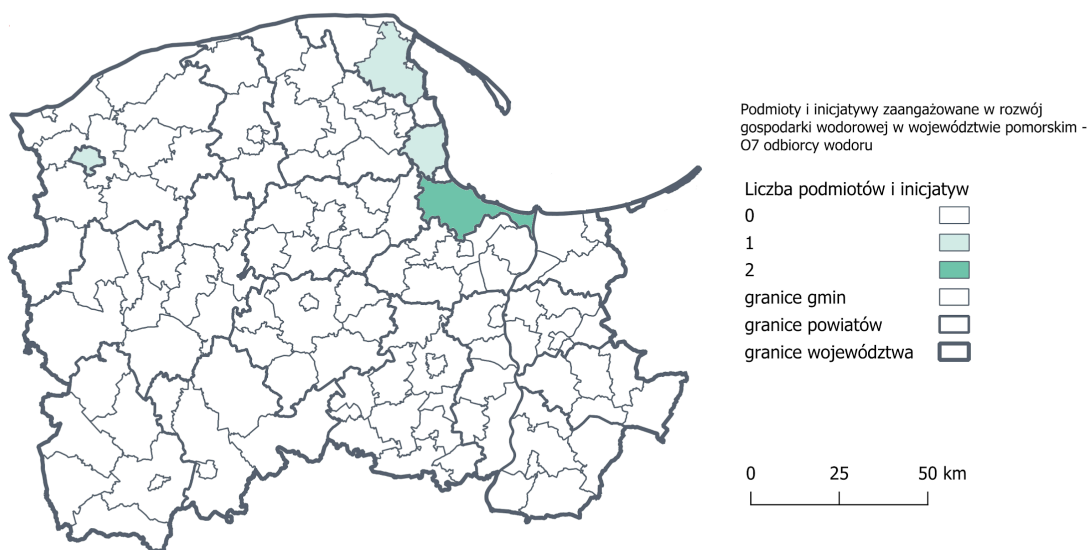


Mapa 7. Podmioty i inicjatywy zaangażowane w rozwój gospodarki w województwie pomorskim – kategoria „magazynowanie wodoru”.



Gdy zestawili się to z ostatnim ogniwem łańcucha wartości – obejmującym odbiorców wodoru – otrzymuje się pełny obraz obecnego stanu gospodarki wodorowej na Pomorzu.

Mapa 8. Podmioty i inicjatywy zaangażowane w rozwój gospodarki w województwie pomorskim – kategoria „odbiorcy wodoru”.



Ten pełny obraz wskazuje na kilka kwestii:

- wielokrotnie akcentowane **wczesne stadium rozwoju gospodarki wodorowej** - na etapie tym należałoby mówić raczej o załączkach gospodarki wodorowej na Pomorzu;
- istnienie – w warstwie terytorialnej – **kilku głównych ośrodków potencjalnie zainteresowanych rozwojem gospodarki wodorowej**, które mogą stanowić punkt zaczepienia pod jej późniejsze rozprzestrzenianie na terenie województwa;

- **potrzebę dyfuzji zainteresowania wodorem**, a później rozwiązań wodorowych, która jest warunkiem *sine qua non* rozwoju gospodarki wodorowej na Pomorzu;
- konieczność zastosowania **zróżnicowanego podejścia do rozwoju gospodarki wodorowej** – np. prowadzenia działań wspierających tam, gdzie funkcjonują już bardziej dojrzałe interesariusze, a uświadamiających i dialogowych na obszarach, których gospodarka wodorowa nie obejmuje w praktycznie żadnym zakresie.

Benchmarking

Wprowadzenie – lokalne strategie wodorowe

Czynniki rozwoju i dywersyfikacji regionalnych strategii wodorowych

Obecnie wiele krajów, regionów i firm wyznacza własne ścieżki przystosowania się do megatrendu zmian, który nazywamy budową gospodarki wodorowej. Państwa, mające decydujący wpływ na sposób korzystania z zasobów planety, podjęły szereg strategicznych decyzji motywowanych potrzebą ograniczenia negatywnego wpływu gospodarki na środowisko naturalne. Decyzje sprzyjające zastępowaniu paliw kopalnych GH2 we wszystkich dziedzinach to:

1. regulacje zakazujące przedsiębiorstwom wprowadzania do powietrza, wody i gleby substancji oddziałujących negatywnie na klimat i środowisko;
2. ograniczanie możliwości korzystania z maszyn ciepłych przetwarzających ciepło spalania paliw kopalnych na inne formy energii;
3. regulacje zamykające stopniowo rynki zbytu na produkty i usługi, które są wytwarzane w sposób szkodzący środowisku;
4. wprowadzanie reguł prawnych wymuszających przechodzenie do gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ).

Budowa gospodarki wodorowej jest elementem transformacji technologicznej energetyki. Jej główne elementy to:

1. przestawienie całej produkcji energii elektrycznej na produkcję z OZE,
2. zastąpienie paliw kopalnych zielonym wodorem (czyli produkowanych ze źródeł zeroemisyjnych) we wszystkich procesach technologicznych,
3. wycofanie z eksploatacji silników napędzanych paliwami kopalnymi,
4. wycofanie z eksploatacji urządzeń grzewczych zasilanych paliwami kopalnymi.

Warunkiem skutecznej realizacji każdej strategii gospodarki wodorowej jest spójność ze strategią zielonej transformacji gospodarki, gdyż głównym kosztem produkcji zielonego wodoru jest koszt energii elektrycznej produkowanej ze źródeł zeroemisyjnych, czyli z OZE.

Rola samorządu w pobudzaniu podaży i popytu na zielony wodór
Strategie wodorowe wdrażane w krajach o gospodarce rynkowej skupiają się na tworzeniu warunków sprzyjających inwestycjom (w rozwój produktów, technologii i infrastruktury) **i stałemu obniżaniu kosztów produkcji wodoru w sposób neutralny dla środowiska.** Ich realizacja jest wspólnym zadaniem rządów i samorządów terytorialnych. Od władz centralnych oczekuje się ustanowienia ogólnych ram prawnych stymulujących inwestycje i innowacje charakterystyczne dla transformacji energetycznej. **Zadaniem samorządów jest zaś zaangażowanie społeczności lokalnych w proces transformacji energetycznej w sposób umożliwiający optymalne połączenie ich potrzeb i możliwości.** Różnie będą formułowane cele strategii wodorowej w województwie, w którym kluczową rolę odgrywa produkcja nawozów sztucznych i rolnictwo, inaczej w regionie portowym, gdzie działa wielki przemysł petrochemiczny, a jeszcze inaczej tam, gdzie dominantę gospodarki stanowi przemysł metalurgiczny.

Dlatego analiza różnych ścieżek rozwoju gospodarki wodorowej w części istotnej dla samorządu terytorialnego powinna skupiać się przede wszystkim na kontekście regionalnym i lokalnym, w jakim są realizowane analizowane projekty. Wtedy łatwiej połączyć w spójną całość projekty przedsiębiorstw i samorządów, działających z natury rzeczy na innych poziomach i kierujący się innym zbiorem przesłanek. **Przedsiębiorcy muszą poszukiwać nowych rozwiązań i możliwości uzyskania przewagi konkurencyjnej poprzez zastosowanie innowacyjnych rozwiązań, samorządy powinny tworzyć im do tego warunki.** Analiza porównawcza powinna służyć

do **twórczego wykorzystania zdobytej wiedzy o otoczeniu i doświadczeniach innych**. Proste kopiowanie innych rozwiązań może prowadzić jedynie do pogłębiania zapóźnienia technologicznego wobec konkurencji. Uwzględniając to, wojewódzka strategia wodorowa powinna w równym stopniu uwzględniać:

- 1) potrzeby i możliwości zakładów potrzebujących dużych ilości GH₂,
- 2) potrzeby i możliwości MŚP rozproszonych po całym województwie,
- 3) lokalny potencjał WWS (wodny, wiatrowy i słoneczny), tak ważny w produkcji energii elektrycznej (ee) z OZE,
- 4) korzyści ze wspierania spółdzielni energetycznych i obywatelskich społeczności energetycznych mających możliwość budowy systemów lokalnego bilansowania sieci elektroenergetycznej z wykorzystaniem elektrolizerów i innych obciążeń,
- 5) wpływ planów zagospodarowania przestrzennego na koszty: produkcji ee i GH₂, dystrybucji ee i GH₂ oraz bilansowania lokalnej sieci elektroenergetycznej.

Tworzenie warunków lokalnych przyspieszających transformację polega na równomiernym pobudzaniu strony podażowej i popytowej w procesie przechodzenia na wodór.

Technologie wodorowe i energetyczne tworzą nowe możliwości pobudzania lokalnych inwestycji. Otoczenie prawne UE jest zachęcające, ale bez strategicznie przemyślanego programu zagospodarowania przestrzennego nie jest możliwa szybka realizacja inwestycji w OZE, elektrolizery, punkty sprzedaży i sieć dystrybucji GH₂. **Nie do przecenienia jest rola samorządów również w pobudzaniu zainteresowania wodorem społeczności lokalnej m.in. przez aktywny udział w zakładaniu spółdzielni energetycznych i obywatelskich społeczności energetycznych, wspieranie inwestycji w komunikację publiczną opartą na wodorze itp.**

Natomiast wybór najefektywniejszych ekonomicznie rozwiązań technologicznych, logistycznych i budowa stosownych modeli biznesowych to zadanie przedsiębiorstw.

Duże przedsiębiorstwa zużywające i produkujące energię i paliwa są w pełni świadome konsekwencji globalnego charakteru transformacji energetycznej i biorą aktywny udział w projektach wodorowych o skali ogólnokrajowej i międzynarodowej. Rolą samorządów lokalnych jest wykorzystanie rosnącego popytu na ee z OZE i GH2 (generowanego przez tego typu zakłady) do budowy infrastruktury obniżającej koszty inwestycji w OZE i zakłady produkcji GH2. **Główny wysiłek samorządów powinien być skierowany na wykorzystanie transformacji energetycznej do pobudzania lokalnej przedsiębiorczości w obszarze rozwoju zielonej gospodarki.** Można to robić poprzez tworzenie korzystnych warunków dla:

- przedsiębiorstw, w których koszty energii decydują o ich konkurencyjności – np. firm rozwijających intensywne rolnictwo typu CEA (*controlled environment agriculture*);
- firm świadczących usługi (np. usługi cyfrowe wymagające centrów danych, parki wodne);
- zakładów produkcyjnych, w których obróbka cieplna lub/i ee materiałów jest fundamentem dostępnych obecnie technologii (np. cegielnie, suszarnie, tartaki).

W krajach wysokorozwiniętych strategie transformacji energetycznej i budowy gospodarki wodorowej są już gotowe i weszły w fazę realizacji przez uruchomienie wsparcia ze środków publicznych dla projektów wodorowych. Większość z nich ma na celu badania, rozwój i doskonalenie:

- 1) technologii elektrolizy wody,
- 2) technologii magazynowania i transportu wodoru,
- 3) ogniw paliwowych do zastosowań mobilnych i stacjonarnych,
- 4) elektryfikacji i wodoryzacji procesów, technologii i produktów,
- 5) modeli biznesowych energetyki opartej na OZE i GH2.

Służą przede wszystkim doskonaleniu technologii opanowanych technicznie i wstępnie skomercjalizowanych. Dla każdej z nich przewiduje się określony obszar zastosowań. Wyzwaniem jest także ich wyskalowanie i wykorzystanie, aby budowane nowe modele biznesowe pozwoliły na dynamiczną i trwałą obniżkę cen rynkowych energii z OZE i GH2 do poziomu poniżej cen energii z paliw kopalnych.

Zainteresowanie przedsiębiorców udziałem w projektach wodorowych stymulowane są w równym stopniu zagrożeniami wynikającymi ze zmieniającego się otoczenia prawnego i szansami na zbudowanie przewagi konkurencyjnej w oparciu o nowe technologie i produkty. Z obu wymienionych powodów narasta konieczność ustalenia zakresu i harmonogramu wymiany maszyn, urządzeń i procesów technologicznych. **Dobrze byłoby, aby – m.in. wskutek działalności samorządu – większość MŚP miała świadomość, że budowa gospodarki wodorowej jest koniecznością, bez której niemożliwy będzie dalszy rozwój gospodarki – aby biznes nie miał wątpliwości, że firmy, które poradzą sobie z tym zadaniem najszybciej, osiągną przewagę konkurencyjną.** Przewaga ta będzie wynikać z niższych kosztów energii. Robotyzacja, zwiększenie produktywności technologii i konieczność przechodzenia do GOZ powodują, że waga kosztów energii w całkowitych kosztach produkcji będzie rosła.

Aby skorzystać z doświadczeń w konstruowaniu lokalnych strategii wodorowych w krajach wysokorozwiniętych, należy konfrontować cele uruchomionych projektów z uwarunkowaniami lokalnymi, w których powstały i są realizowane.

Rekomendowanym sposobem na szybsze i sprawniejsze skorzystanie z cudzych doświadczeń jest nawiązanie stałej współpracy z samorządami regionów o podobnych uwarunkowaniach i uruchomienie stałej wymiany doświadczeń. Szczególnie cenne jest poznanie mechanizmów pobudzania aktywności społeczności, w których powstały mechanizmy zarządzania lokalnymi zasobami,

poczynając od wody, a kończąc na słońcu. Pozwoli to na wymianę szczegółowych informacji na temat metod redukcji kosztów produkcji i dystrybucji GH2.

Niezależnie od uwarunkowań strategia wodorowa powinna być oparta na znajomości podstawowych parametrów technologii produkcji i dystrybucji, które decydują o kosztach w całym łańcuchu wartości.

Cena GH2 dla użytkownika końcowego wynika z sumy kosztów samej technologii produkcji, jak i technologii magazynowania, transportu i dystrybucji. **Samorządy będą miały wpływ na tempo spadku kosztów produkcji przez budowę planu zagospodarowania przestrzennego sprzyjającego redukcji łącznych kosztów przyłączenia zakładu elektrolizy do źródła wody, sieci elektroenergetycznej i OZE oraz do sieci dystrybucji wodoru.**

Rola samorządu w budowie gospodarki wodorowej wynika z faktu, że OZE są – co do zasady – rozproszone, czyli lokalne. Wynikiem transformacji energetycznej jest przyspieszona elektryfikacja wszystkich technologii produkcji przemysłowej, więc zakłady produkcyjne ulegają rozproszeniu, przybliżając się do miejsc produkcji ee z OZE. Proces ten będzie przyspieszał wraz z rozwojem energetyki opartej na OZE. Tak w największym skrócie można opisać otoczenie makroekonomiczne zmieniające się pod wpływem transformacji energetycznej oraz uzasadnić **wzrost roli samorządu lokalnego we wzmacnianiu strony podażowej gospodarki wodorowej**. Jej rozwój jest jednym z wielu czynników sprzyjających przechodzeniu od gospodarki węglowej do sieciowej.

Bardziej złożona jest rola samorządów we wzmacnianiu strony popytowej.

Tworzenie warunków sprzyjających inwestycjom w produkcję i dystrybucję GH2 powinno służyć obniżaniu kosztów produkcji i transportu wodoru do użytkownika końcowego. Tak również można stymulować wzrost popytu na GH2. **Jednak zmiana sposobu zasilania** (domu, nieruchomości, przedsiębiorstwa, pojazdu itd.) **wymaga**

również wiedzy, umiejętności i inwestycji po stronie konsumenta. Potrzebna jest popularyzacja wiedzy na ten temat np. poprzez organizację spotkań i kursów, które powinny być elementem lokalnego systemu kształcenia ustawicznego.

Samorząd dysponuje i zarządza wieloma nieruchomościami, instytucjami i przedsiębiorstwami (np. gospodarki komunalnej) oraz zakładami transportu publicznego. Zapotrzebowanie na wodór, generowane przez te podmioty, ma istotny wpływ na bezpośrednie pobudzenie strony popytowe. Celem analizy porównawczej różnych strategii i planów **powinno być poszukiwanie optymalnej ścieżki rozwoju poprzez przystosowanie planów zagospodarowania przestrzennego tak, aby do 2040 roku można było zredukować koszty produkcji ee z OZE do poziomu 20 dol./MWh, co otwiera drogę do redukcji kosztów produkcji GH2 do poziomu 50 dol./MWh.** Na koniec należy też dodać, że to poziom, przy którym koszty wodoru z paliw kopalnych będą już takie same jak ze źródeł zeroemisyjnych. Należy przyjąć, że po roku 2040 nastąpi znaczne przyspieszenie rozwoju gospodarki wodorowej, co zaowocuje całkowitą eliminacją procesów spalania paliw kopalnych z praktyki technologicznej w okolicach roku 2050. Będzie to czas, w którym koszty wszystkich rodzajów energii z paliw kopalnych będą już wyższe od kosztów ze źródeł zeroemisyjnych. W konsekwencji powinna to być dekada szybkiego przejścia od rynku producenta do rynku konsumenta, czego wynikiem będzie dalsza redukcja kosztów, którą szacuje się obecnie na poziomie 10 dol./MWh ee z OZE i 1 dol./kg GH2.

Doliny i huby wodorowe

Wprowadzenie

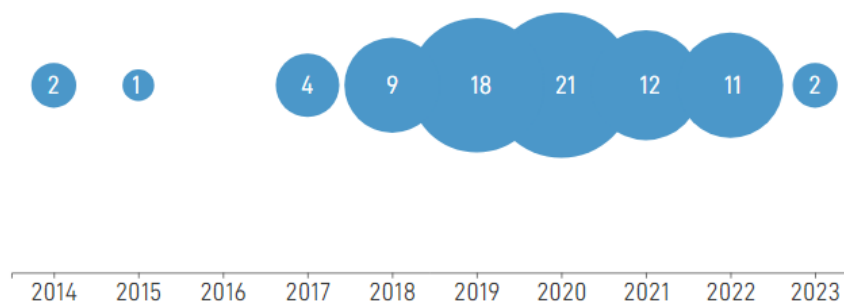
Jako główne punkty odniesienia do wykonania analizy porównawczej dla gospodarki wodorowej województwa pomorskiego wybraliśmy **Noord-Holland Noord** – holenderską dolinę wodorową oraz hub wodorowy **Amsterdam-NSCA**. Wybierając te podmioty, kierowaliśmy się stopniem zaawansowania działań na rzecz rozwoju

gospodarki wodorowej oraz charakterystyką regionu. Szukaliśmy przykładów przedsięwzięć, które będą z jednej strony możliwie najbardziej zaawansowane, a z drugiej będą wykazywały duże podobieństwo do regionu pomorskiego w zakresie warunków brzegowych (geograficznych, społecznych i gospodarczych) dla powstającej doliny wodorowej.

Internetowa platforma poświęcona dolinom wodorowym (Hydrogen Valley Platform, www.h2v.eu), będąca wspólnym przedsięwzięciem Clean Hydrogen Joint Undertaking (agencji UE) oraz globalnej organizacji Mission Innovation, skupia 83 doliny wodorowe powstałe w 33 krajach na całym świecie. Oferuje dzięki temu najlepszy dostępny przegląd, analizę i porównanie obecnych inicjatyw związanych z rozwojem gospodarki wodorowej w różnych krajach. W celu wyselekcjonowania punktów odniesienia dla Pomorza przeanalizowaliśmy doliny wodorowe tworzone w basenach Morza Bałtyckiego oraz Północnego jako najbardziej zbliżone pod względem warunków geograficznych do Pomorskiej Doliny Wodorowej.

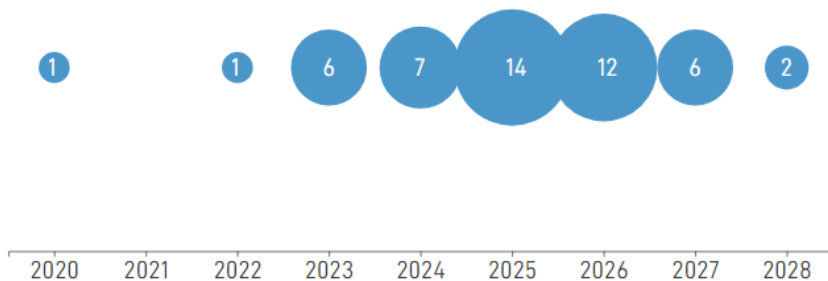
Spośród ponad dwudziestu przeanalizowanych dolin, Noord-Holand Noord (dalej: NHN) oraz Amsterdam-NSCA (dalej: NSCA) należą do zdecydowanie najbardziej zaawansowanych pod względem zarówno opracowanej strategii działania do 2050 roku, jak i już realizowanych działań i projektów wodorowych. Należy pamiętać, że większość dolin wodorowych została zainicjowana w latach 2019-2020, są to więc stosunkowo młode przedsięwzięcia.

Wykres 10. Liczba dolin wodorowych reprezentowanych na Hydrogen Valley Platform, które powstały w danym roku



Większość projektów składających się na doliny wodorowe planowana jest do uruchomienia w okolicach roku 2025.

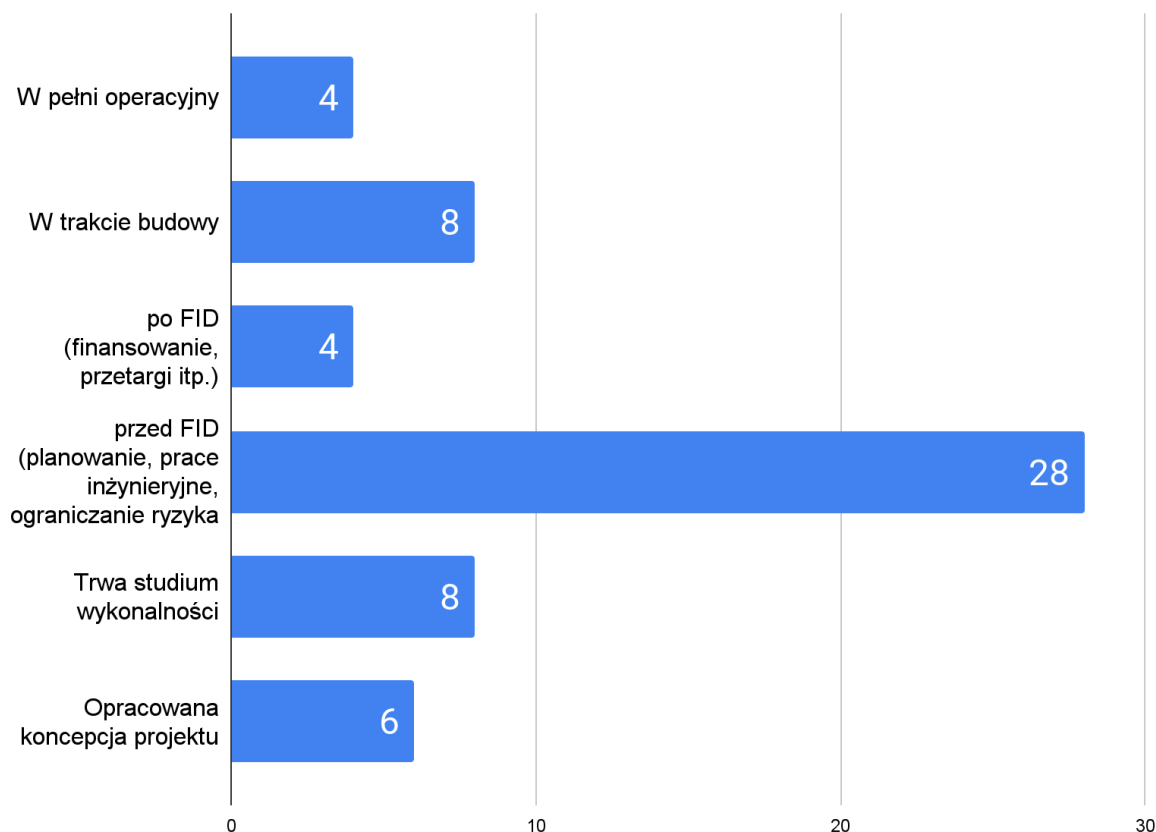
Wykres 11. Liczba planowanych lub uruchomionych projektów realizowanych przez doliny wodorowe w danym roku



Ponad dwie trzecie projektów składających się na doliny wodorowe na świecie jest na etapie przeddecyzyjnym, w tym 10,34 proc. na etapie opracowania koncepcji projektu,

w przypadku 13,79 proc. projektów trwa studium wykonalności projektów, a 48,28 proc. znajduje się przed FID.

Wykres 12. Etap rozwoju dolin wodorowych (stan na 2023 r.)



Wyselekcjonowane do analizy doliny NHN i NSCA, obejmujące już realizowane projekty, stanowią więc raczej wyjątek pod względem swojego stopnia zaawansowania, a dzięki temu są dobrym punktem odniesienia dla Pomorskiej Doliny Wodorowej.

Co więcej, dzielą one z nią wiele wspólnych cech, takich jak:

- skoncentrowanie wokół regionu metropolitalnego Amsterdamu oraz portu Den Helder;

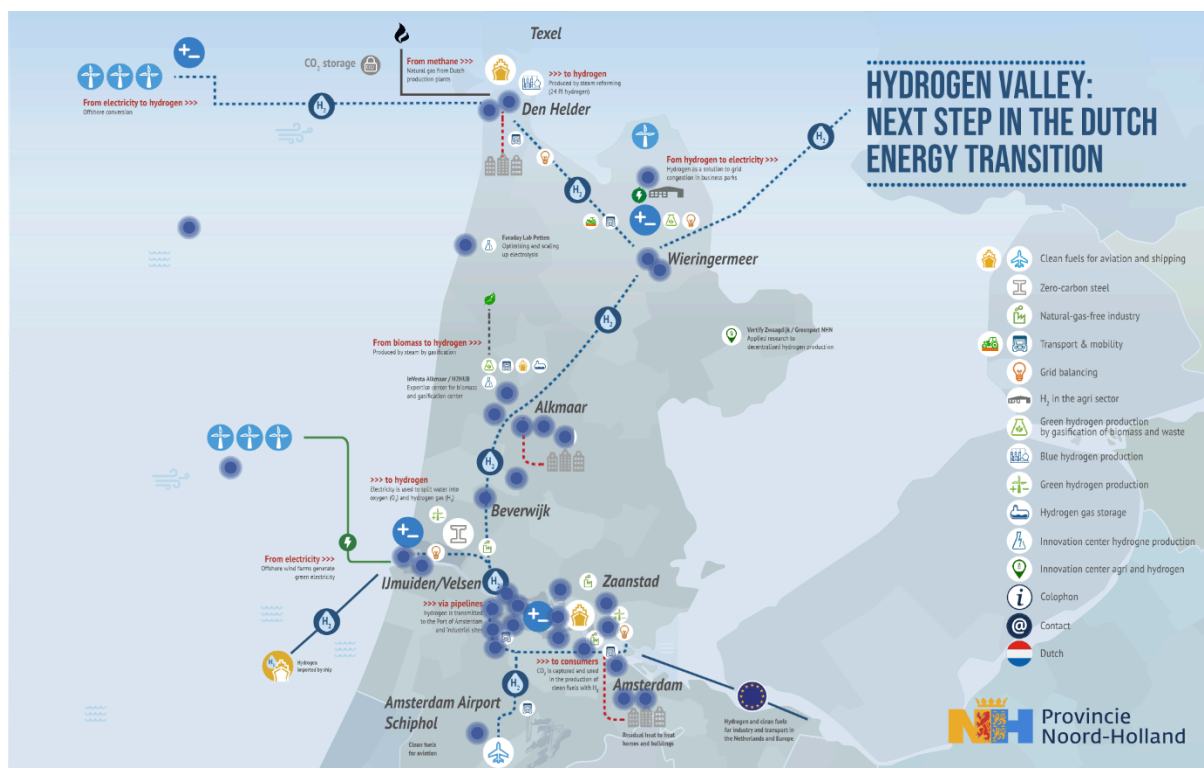
- pozyskiwanie energii z farm wiatrowych na morzu;
- potrzeby w zakresie dekarbonizacji działalności portu oraz transportu ciężkiego i lotniczego;
- potencjał wykorzystania wodoru w rafinerii;
- istniejąca infrastruktura gazociągowa.

Dolina Noord-Holland Noord

Dolina NHN mieści się w holenderskiej prowincji Północnej Holandii, mającej 3 miliony mieszkańców i obejmującej największy obszar metropolitalny tego kraju wokół Amsterdamu. Na północ od Amsterdamu znajduje się port Den Helder. W okolicy występują również klastry przemysłowe związane z produkcją stali oraz rafineriami ropy naftowej, a także lotnisko Schiphol. Wszystkie te podmioty mają do odegrania ważną rolę w powstającym w regionie łańcuchu wartości wodoru. Port Den Helder ma być miejscem produkcji, magazynowania oraz transportu wodoru, zaś zakłady przemysłowe umiejscowione wzdłuż kanału pomiędzy Amsterdamem i Morzem Północnym mają skupić się na produkcji zdekarbonizowanych paliw lotniczych (SAFs) z wykorzystaniem wodoru oraz paliw do produkcji stali.

Wodór ma być produkowany przede wszystkim z energii pochodzącej z farm wiatrowych typu offshore (zarówno bezpośrednio na morzu, jak i w portach). Do importu wodoru z zagranicy wykorzystywane będą także trzy porty regionu: Amsterdam, Den Helder oraz IJmuiden.

Mapa 9. Dolina wodorowa: kolejne kroki w niderlandzkiej transformacji energetycznej



Źródło: [Strona internetowa doliny NHN](#)

Mocne strony regionu w zakresie potencjału rozwoju gospodarki wodorowej:

- korzystne ulokowanie w odniesieniu do planowanych farm wiatrowych w północnej części Morza Północnego;
- bliskość pustych pól gazowych na morzu (pod kątem składowania CO₂);
- istniejąca infrastruktura gazowa na Morzu Północnym, możliwa do zaadoptowania do transportu wodoru do portu Den Helder;
- istniejąca infrastruktura gazowa w regionie, obejmująca magazyny gazu;
- bezpośrednie połączenie z infrastrukturą wodorową, która ma połączyć krajowe i międzynarodowe klastry przemysłowe;
- dostępna przestrzeń geograficzna do rozwoju gospodarki wodorowej;

- wysoki poziom kompetencji i wiedzy w zakresie gospodarki wodorowej, obecny w licznych centrach badawczo-rozwojowych regionu.

Założenia doliny NHN:

- produkcja zielonego wodoru na dużą skalę na morzu, przesyłanego przez port Den Helder do klastrów przemysłowych w Holandii lub za granicę;
- powstanie regionalnej sieci wodorowej, tworzonej przez regionalne centra produkcji wodoru;
- zaspokojenie potrzeb regionu w zaopatrzenie w wodór do 2030 w 50 proc. z własnych źródeł.

Realizowane projekty:

- Duwaal: **produkcja wodoru** bezpośrednio przy farmach wiatrowych, dystrybuowanego do pięciu stacji tankowania wodoru.
- Zephyros (konsorcjum tworzone przez Alliander, Total i ENGIE), rozwijające **łańcuch dostaw wodoru dla transportu morskiego i drogowego** w Den Helder, obejmującego punkty tankowania wodorem dla statków i ciężarówek. Prace nad statkiem zasilanym ogniwami paliwowymi.
- Walstrom: rozwój możliwości **zasilania statków** w porcie Den Helder wodorem w miejsce agregatów diesla.
- Groene Walvis (Green Whale): **ogrzewanie budynków** w społecznościach Graft i De Rijk z lokalnie produkowanego wodoru.
- inVesta: **produkcja wodoru z odpadów biologicznych** (plany wyskalowania projektu do 40-100 MW).
- H2Gateway: projekt realizowany w porcie Den Helder, **produkcja niebieskiego (zdekarbonizowanego) wodoru z wykorzystaniem CCS**; zakończenie planowane na 2027/2028.

- PosHYdon: **produkcja wodoru na Morzu Północnym na platformie gazowej Neptune Energy** z energii z farmy wiatrowej i przy wykorzystaniu infrastruktury gazowej. Transport wodoru zmieszanego z gazem ziemnym istniejącymi gazociągami (etap pilotażu na lądzie w Alkmaar).

Cele:

- **wykorzystanie obecnej sieci gazociągowej**, którą przesyłane jest obecnie 90 proc. gazu z Morza Północnego do portu Den Helder na potrzeby transportu wodoru oraz CO₂;
- stworzenie **infrastruktury wodorowej** („szkieletu”) do 2027 łączącego Den Helder z odbiorcami i wytwórcami wodoru w regionie;
- umiejscowienie w Den Helder **hub-a serwisowo-logistycznego dla farm wiatrowych** na morzu;
- wykorzystywanie **pustych pól gazowych na morzu do składowania wodoru i CO₂**;
- wykorzystywanie jako „wodoru przejściowego” (do 2030 roku i momentu dostępności pełnej infrastruktury wodorowej) **zdekarbonizowanego wodoru niebieskiego** (z użyciem CCS i składowania wytworzonego CO₂ na morzu).

Kroki/działania do 2030 r. :

- **Zwiększenie możliwości wytwarzania odnawialnej energii elektrycznej** poprzez wielkoskalowe farmy wiatrowe offshore i równocześnie zwiększanie produkcji na lądzie przez zachęcanie do pokrywania wszystkich dostępnych dachów panelami fotowoltaicznymi.
- **Wyskalowanie produkcji wodoru** poprzez:
 - a) wielkoskalową **produkcję zdekarbonizowanego (niebieskiego) wodoru** w projekcie H2 Gateway na potrzeby transformacji przemysłu (planowana roczna produkcja 200 tys. ton).

- b) **Przygotowanie gospodarki do produkcji zielonego wodoru na dużą skalę** z elektrolizerów po 2030 r., co w połączeniu z wcześniej powstałymi mocami produkcyjnymi H2 Gateway i dzięki połączeniu ze szkieletową infrastrukturą wodorową pozwoli na zaopatrywanie wszystkich kluczowych klastrów przemysłowych w Holandii i krajach sąsiednich.
- c) zwiększenie produkcji zielonego wodoru przez **gazyfikację biomasy** (100 MW w 2024 r.)
- d) **rozpoczęcie produkcji wodoru bezpośrednio przy farmach offshore:** prace nad pierwszą instalacją o mocy 5 MW rozpoczęły się w 2022 roku w ramach projektu Duwaal i potrwać do 2025 r.
- **Stworzenie sieci dystrybucji i magazynowania wodoru:** 100 km rurociągów wodorowych ma być gotowych w regionie w 2027 roku, tworzących szkielet infrastruktury wodorowej. Do 2030 r. będą one zasilane zdekarbonizowanym wodorem z projektu H2 Gateway. Odbiorcy nie podłączeni do sieci będą zaopatrywani w wodór tankowcami.
 - **Stymulowanie regionalnego popytu na wodór:**
 - a) przestawienie większości **statków** w porcie Den Helder na napęd wodorowy;
 - b) stworzenie pełnego **łańcucha wodoru w rolnictwie** poprzez wyskalowanie obecnego projektu pilotażowego Duwaal (produkcja wodoru przy farmach wiatrowych); rozwój ciągników napędzanych wodorem (70 szt. do 2030 r.)
 - c) **mieszanie wodoru z gazem** w sieci gazowej.
 - **Standaryzacja wykorzystania wodoru** (np. w transporcie i logistyce).
 - **Współpraca z klastrami przemysłowymi** w celu przyspieszenia produkcji wodoru.

- **Współpraca międzynarodowa** przy rozwoju infrastruktury wodorowej i dekarbonizacji portu.
- **Wsparcie finansowe** (CAPEX i OPEX) w celu minimalizacji ryzyk związanych z inwestycjami w wodór.
- **Edukacja i szkolenia** w całym łańcuchu wartości energetyki i transportu. Opracowanie ścieżek przekształcenia obecnych pracowników sektorów energii, transportu i technicznego.
- **Działania legislacyjne i regulacyjne** na rzecz produkcji, transportu, magazynowania, wykorzystania i bezpieczeństwa wodoru.
- Zapewnienie **poparcia publicznego i akceptacji społecznej** dla inwestycji wodorowych.

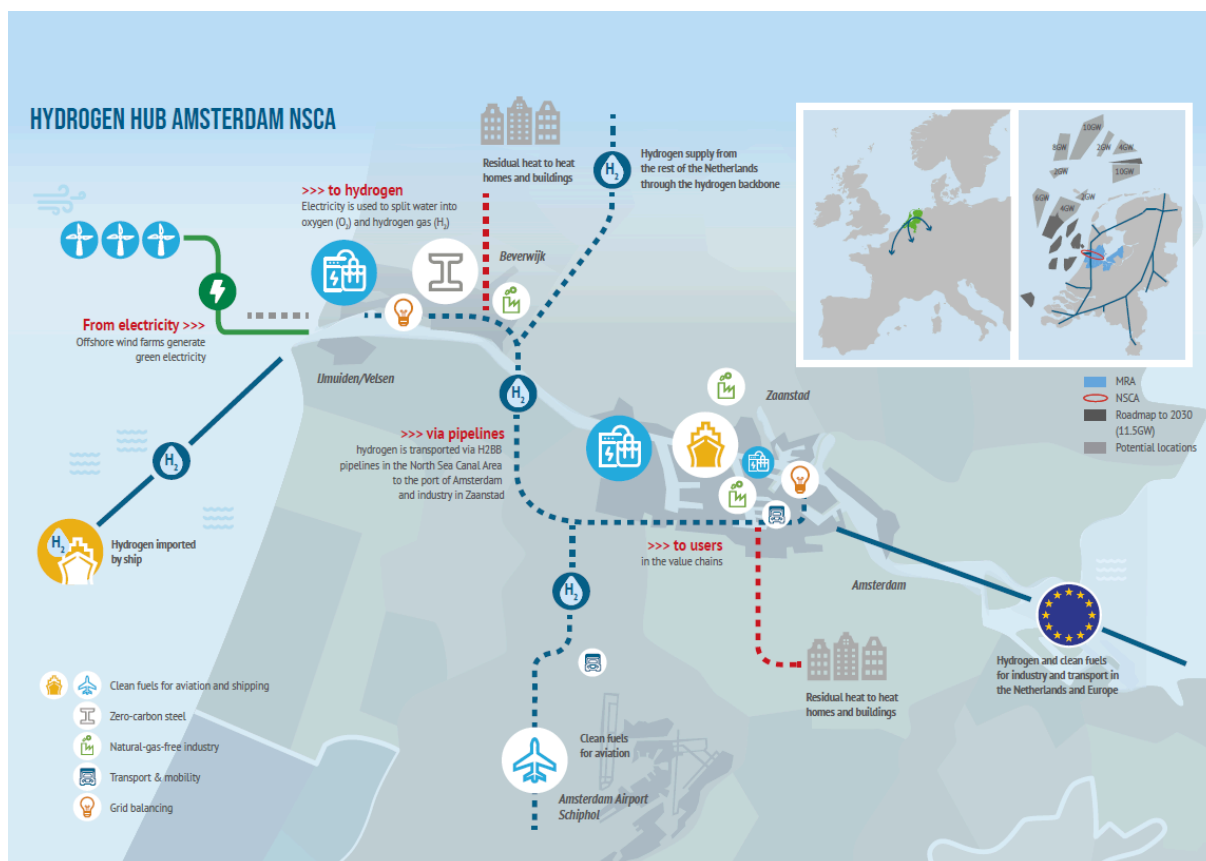
Hub wodorowy Amsterdam-NSCA

Hub NSCA jest częścią amsterdamskiego regionu metropolitalnego, obejmującego 2,5 mln mieszkańców. Tworzą go trzy klastry przemysłowe:

- stalowy w regionie IJmond;
- paliwowo-chemiczny w Amsterdamie;
- przetwórczy w regionie IJmond, wzdłuż rzeki Zaan i w Amsterdamie.

NSCA jest bezpośrednio połączony z portem w Amsterdamie i lotniskiem Amsterdam-Schiphol.

Mapa 10: Hub wodorowy Amsterdam NSCA



Źródło: [Prezentacja dot. doliny zamieszczona na stronie obszaru metropolitalnego Amsterdamu](#)

Celem hubu jest pełnienie funkcji akceleratora rozwoju gospodarki wodorowej w regionie. Silna obecność przemysłu oraz portów morskiego i lotniczego kształtuje **łańcuch wartości wodoru NSCA**, na który składają się:

- czyste paliwo dla lotnictwa i transportu,
- zdekarbonizowana stal,
- przemysł wolny od gazu ziemnego,
- transport i mobilność,

- stabilne źródła energii.

Potencjał rozwoju gospodarki wodorowej:

- rozbudowana sieć przedsiębiorstw logistycznych związanych z portem i lotniskiem;
- rozwinięte sieci przesyłowe gazu i paliw, obecność operatorów Gasunie, Alliander.
- możliwość wykorzystania zielonego wodoru w produkcji zdekarbonizowanego paliwa (syntetyczne paliwo lotnicze i metanol);
- centrum badań stosowanych TNO, współpraca z grupami badawczymi na uczelniach wyższych w Delft, Wageningen i MIT w USA.
- instalacje testowe i pilotażowe pozwalające na skalowanie technologii w Prodock w Porcie w Amsterdamie i w InVesta w Almeer.
- centra rozwoju technologii Shell, Avantium i Amsterdam Science Park.
- planowana produkcja 2,1 GW energii z offshore w regionie IJmond do 2030 r.
- możliwość przesyłu wodoru poprzez powstającą szkieletową infrastrukturę wodorową łączącą Den Helder z głębią łądu.

Łańcuch wartości wodoru NSCA:

- **Czyste paliwo lotnicze i transportowe:**
 - a) 14 proc. paliwa wykorzystywanego na lotnisku Schiphol ma być zdekarbonizowane do 2030 r., a konwencjonalne paliwo lotnicze musi zostać całkowicie zastąpione zrównoważonymi alternatywami do 2050 r. Oznacza to konieczność przyspieszenia produkcji zrównoważonego paliwa lotniczego (SAF) przy użyciu zielonego wodoru.
 - b) Port w Amsterdamie jest największym portem naftowym na świecie. Przechodzi on transformację w kierunku produkcji syntetycznych paliw, z wykorzystaniem

m.in. wodoru. Trwają także prace nad statkiem z napędem wodorowym (podobny projekt Windcat Workboat realizowany jest w porcie w Ijmuiden).

- c) W ramach projektu H2A Port w Amsterdamie we współpracy z firmami z sektora wodoru przygotowują plany importu wodoru w regionie i mapę drogową na okres po 2030 r., zakładającą import 1Mt zielonego wodoru rocznie.

- **Zdekarbonizowana stal:**

- a) Wykorzystanie wodoru przez producenta stali Tata Steel w Ijmuiden ma wynosić w 2030 r. 100-150 tys. ton, co ma umożliwić zmniejszenie emisji z produkcji stali o 30-40 proc. W 2035 r. zużycie wodoru w tej hucie ma wynosić już 400 tys. ton wodoru rocznie.
- b) Projekt H2ermes (we współpracy z firmą HyCC) ma na celu wytwarzanie 15 tys. ton zielonego wodoru, co w krótkiej perspektywie ma dać Tata Steel praktyczne doświadczenie z wykorzystaniem wodoru w piecach hutniczych.

- **Przemysł wolny od gazu ziemnego:**

- a) Wodór już dziś wykorzystywany jest jako surowiec do produkcji amoniaku, metanolu i metanu, w procesach rafinacji ropy i przemyśle spożywczym. W przyszłości ma być zastąpiony przez zielony wodór.

- **Czysty transport i mobilność:**

- a) Pierwsza stacja tankowania wodorem została otwarta w Porcie w Amsterdamie w 2020 r. Wodór jest także wykorzystywany w transporcie naziemnym na lotnisku Schiphol, a w mieście Amsterdamie napędza samochody do zbiórki odpadów.

- **Stabilne źródła energii:**

- a) krajowy operator sieci gazowej Gasunie rozwija otwartą, wysokociśnieniową sieć wodorociągów. Współpracuje także z Portem w Amsterdamie nad stworzeniem regionalnej infrastruktury wodorowej i połączeniem rejonu IJmond z Portem w Amsterdamie oraz krajową infrastrukturą wodorową.
- b) planowane jest połączenie z niskociśnieniową siecią wodorociagową na terenie Portu w Amsterdamie oraz z siecią miejską w Zaanstad.
- c) Aliander pracuje nad przystosowaniem istniejącej, niskociśnieniowej sieci gazowej do przesyłu wodoru lub stworzeniem nowej niskociśnieniowej sieci wodorowej w celu dostarczania wodoru przemysłowi, a później także na potrzeby transportu, mobilności i budynków.
- d) Vattenfall rozpoznaje możliwość mieszania wodoru z gazem w elektrowniach gazowych w Hemweg i Diemen – celem jest 30 proc. udziału wodoru przed 2030 r. W kolejnej dekadzie elektrownie mają być całkowicie przestawione na wodór. Elektrownie w Diemen zasilają także sieć ciepłowniczą, wodór zatem wpłynąłby także na dekarbonizację ciepłownictwa.

- **Popyt i podaż wodoru**

- a) Zapotrzebowanie na wodór będzie znacznie przekraczało jego lokalną produkcję, więc po 2030 r. planowane jest **rozpoczęcie importu wodoru na dużą skalę**, przy pomocy transportu morskiego oraz siecią krajową.
- b) Import ma pomóc **ograniczyć zbyt duże zużycie energii elektrycznej z offshore**, a także zwiększyć rolę Portu w Amsterdamie jako głównego międzynarodowego gracza w obszarze handlu zrównoważonym paliwem.
- c) Do roku 2027 popyt ma pochodzić głównie od małych producentów zrównoważonych paliw oraz pilotażowych projektów

transportowo-mobilnościowych i utrzymywać się na poziomie 9 tys. ton wodoru rocznie.

- d) W 2030 r. zapotrzebowanie na zielony wodór wzrośnie do poziomu 220 tys. ton rocznie w związku z planowanym uruchomieniem pierwszej wielkoskalowej instalacji produkcji zrównoważonego paliwa oraz elektrycznych pieców łukowych wykorzystujących technologię DRI (Direct Reduction of Iron) z użyciem wodoru do produkcji stali w zakładach Tata Steel.
- e) W 2035 r., po uruchomieniu kolejnej instalacji DRI, popyt na wodór ma wynieść 590 tys. ton rocznie.
- f) Ograniczona pojemność sieci elektrycznej i dostępność przestrzeni pozwoli na produkcję **lokalnie jedynie 1GW/150 tys. ton wodoru rocznie**.
- g) **Rozwój infrastruktury importowej** m.in. w projektach H2A lub EOS.
- h) **Rozwój krajowej infrastruktury przesyłowej** do 2027 r.: NorthH2, H2 Gateway, H2opZee.

Działania i rozwój projektów

Horyzont czasowy rozwoju projektów wodorowych do 2050 r. został podzielony na trzy etapy:

1. **Start projektów, pilotaże i powstawanie infrastruktury** (do 2025 r.), docelowa produkcja wodoru na poziomie 50 tys. ton rocznie:
 - rozwój lokalnych inicjatyw wodorowych, małoskalowych, nastawionych na produkcję energii dla transportu ciężkiego wodnego i drogowego;
 - pilotaże i testowanie wydajności elektrolizerów, możliwości produkcji syntetycznego paliwa, wykorzystania wodoru do ogrzewania budynków i jako paliwo dla przemysłu;

- projekt flagowy: H2BB, regionalny szkielet infrastruktury wodorowej (Port w Amsterdamie z Gasunie), łączący IJmuiden z Amsterdamem oraz krajową infrastrukturą.
2. **Skalowanie projektów**, wzrost popytu przez włączanie wodoru w łańcuchy wartości (do 2030 r.), produkcja wodoru 200-300 tys. ton rocznie.
- ukończenie krajowej szkieletowej infrastruktury wodorowej;
 - wzrost wykorzystania wodoru jako paliwa w transporcie ciężkim;
 - odciążenie sieci elektroenergetycznej i zwiększenie jej elastyczności;
 - projekty flagowe:
 - H2ERMES: Port w Amsterdamie i Tata Steel, instalacja do produkcji wodoru i IJuiden o mocy 100 MW (z możliwością wyskalowania do 500 MW), produkcja 15 tys. ton wodoru rocznie.
 - HERACLESS: produkcja zielonej stali przez Tata Steel przy użyciu zielonego wodoru (technologia DRI w połączeniu z gazem ziemnym lub wodorem).
 - paliwa syntetyczne w Porcie w Amsterdamie.
 - P2F HEMWEG VATTENFALL: lokalny hub wodorowy w miejscu byłej elektrowni węglowej, wodór dystrybuowany lokalną, niskociśnieniową siecią do zakładów przemysłowych i transportowych (start w 2025, wyskalowanie z 10 MW do 100 MW do 2030 r.).
3. **Wielkoskalowa transformacja i import** na dojrzałym, międzynarodowym rynku wodoru (do 2050 r.), docelowa produkcja 5 Mt. rocznie.
- umiędzynarodowienie gospodarki wodorowej; połączenie krajowej sieci wodorowej z systemami w innych krajach;
 - wykorzystanie wodoru przez koncerny energetyczne, takie jak Vattenfall do bilansowania systemu energetycznego;
 - sprowadzanie wodoru z offshore do Den Helder i NSCA;

- przestawienie przemysłu ciężkiego oraz lotnictwa na wodór jako paliwo;
- wykorzystywanie wodoru w ogrzewaniu budynków;
- ciągły wzrost w obszarze importu, magazynowania, transportu i przesyłu;
- projekty flagowe:
 - H2A: import 1 Mt zielonego wodoru rocznie w 2030 r. przez Port w Amsterdamie;
 - EOS: import płynnego wodoru (LH2) przez Port w Amsterdamie.

Warunki sukcesu:

- **inwestycje w połączoną infrastrukturę** (lokalną – regionalną – krajową – międzynarodową);
- zapewnienie **wykształconego technicznie personelu**;
- zwiększenie przepustowości i elastyczności **sieci elektroenergetycznej**;
- **połączenie farm wiatrowych na morzu z portem Den Helder i NSCA** w celu sprowadzania energii tam produkowanej (w formie energii elektrycznej lub wodoru);
- zapewnienie bezpieczeństwa inwestycyjnego przedsiębiorstwom poprzez jasny **plan rozwoju gospodarki wodorowej**;
- rozwój **międzynarodowego łańcucha dostaw wodoru**;
- **zwiększenie popytu i podaży wodoru** prowadzące do wyskalowania projektów i redukcji kosztów inwestycji;
- **mechanizmy wsparcia inwestycji**;
- **zapewnienie bezpieczeństwa środowiskowego.**

Wnioski

Analiza przypadków doliny wodorowej Noord-Holand Noord oraz hubu wodorowego Amsterdam-NSCA wskazuje na następujące kluczowe warunki sukcesu regionalnej gospodarki wodorowej:

- Głównym źródłem zielonego wodoru powinna być energia elektryczna z offshore, uzupełniania lokalną produkcją z lądowych farm PV i wiatrowych oraz biomasy.
- Obiecującą opcją jest produkcja wodoru bezpośrednio przy farmach offshore, jednak jest to technologia dopiero rozwijająca się, wymagająca dopracowania i przetestowania.
- Niezbędne są inwestycje w szkieletową infrastrukturę przesyłową i dystrybucyjną, pozwalającą na dostarczenie wodoru do odbiorców regionalnych oraz połączoną z krajowymi i międzynarodowymi rurociągami, zapewniającymi dostęp do źródeł wodoru z jednej strony i krajowych regionów i klastrów przemysłowych z drugiej.
- Oprócz dedykowanej infrastruktury wodorowej można wykorzystywać istniejącą sieć gazociągową i technologię mieszania wodoru z metanem.
- Nawet przy dużych mocach OZE do rozwoju gospodarki wodorowej najprawdopodobniej niezbędny będzie import wodoru, także po 2030 r., na który należy się przygotować.
- Ważnym elementem jest rozwój OZE oraz zwiększenie przepustowości i elastyczności sieci elektroenergetycznych. Towarzyszyć temu może rozwój hubów serwisowo-logistycznych dla farm offshore.

Niezbędna jest identyfikacja kluczowych obszarów gospodarki, które najbardziej potrzebują wodoru i których nie można zdekarbonizować przy wykorzystaniu innych środków, np. elektryfikacji (przemysł chemiczny, rafinerie, paliwa, transport ciężki, kolejowy i lotniczy).

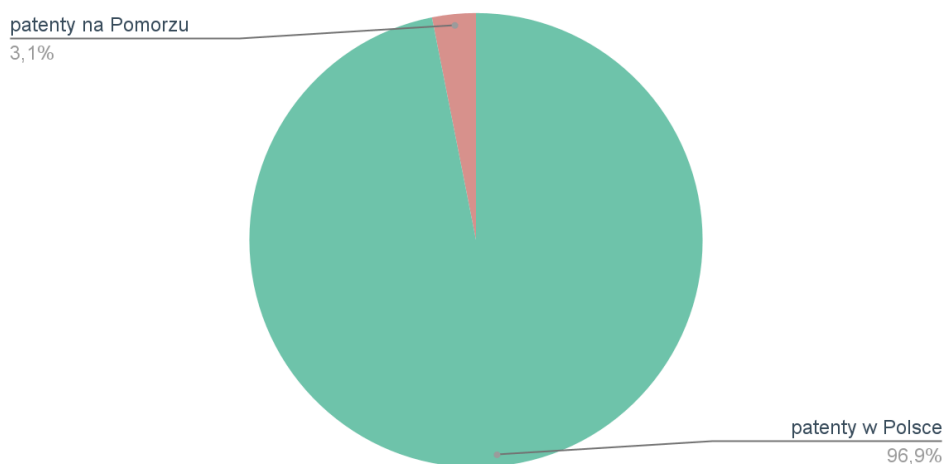
Udział polskich i pomorskich podmiotów w globalnych innowacjach wodorowych

Celem badania patentometrycznego było określenie kierunku rozwoju badań i technologii wodorowych w województwie pomorskim oraz zidentyfikowanie podmiotów, które te technologie rozwijają. Pozwoliło to wskazać istniejące trendy technologiczne oraz odnieść sytuację na Pomorzu do poziomu krajowego⁵.

W ciągu ostatnich 20 lat w Polsce opatentowano 577 technologii z zakresu gospodarki wodorowej, w tym na samym Pomorzu niespełna 18. Oznacza to, że województwo pomorskie odpowiada za niewiele ponad 3 proc. wszystkich krajowych patentów technologii wodorowych (wykres 13). Sygnalizuje to konieczność zwiększenia innowacyjności Pomorza, jeśli region chce zbudować rozwiniętą gospodarkę wodorową.

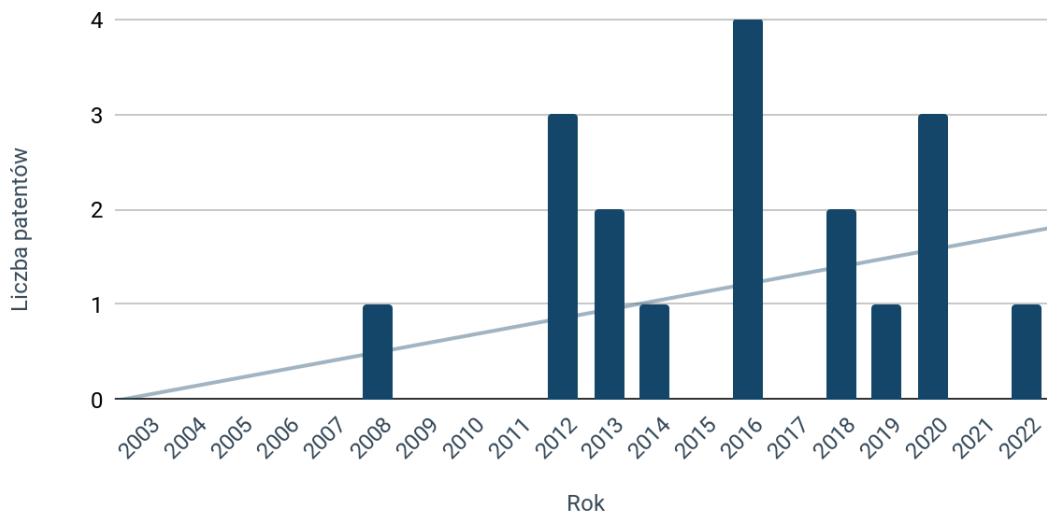
⁵ Patentometria została przeprowadzona w oparciu o bazę patentową WIPO. Klasy IPC dotyczące technologii wodorowych zostały zaczerpnięte z badań patentowych oraz uzupełnione o bazę IPC Green Inventory. Szczegółowy wykaz analizowanych klas znajduje się w załączniku.

Wykres 13. Udział patentów technologii wodorowych w województwie pomorskim w porównaniu do Polski



Liczba patentów dotyczących technologii gospodarki wodorowej na Pomorzu wykazuje tendencję wzrostową (wykres 14), jednak ciężko mówić o uporządkowanym trendzie, ponieważ liczba zgłoszeń charakteryzuje się dużą zmiennością w czasie. W ostatnim dwudziestoleciu 2016 r. okazał się najbogatszy w nowe patenty, gdy zgłoszono 4 nowe technologie.

Wykres 14. Liczba patentów technologii gospodarki wodorowej w latach 2003-2023



W zgłaszaniu patentów w ramach technologii gospodarki wodorowej w województwie pomorskim uczestniczy 11 podmiotów (tabela 1.). Jednak większość z nich stanowią zagraniczne przedsiębiorstwa, które nie mają siedziby na Pomorzu. Najbardziej aktywne podmioty pomorskie to Instytut Maszyn Przepływowych im. Roberta Szewalskiego Polskiej Akademii Nauk oraz firma Ses Hydrogen Energy sp. z o. o., dalej wyróżniają się Hydrogen First sp. z o. o. i Energa SA Pozostałe podmioty mniej konsekwentnie skupiają się na wprowadzaniu nowych patentów.

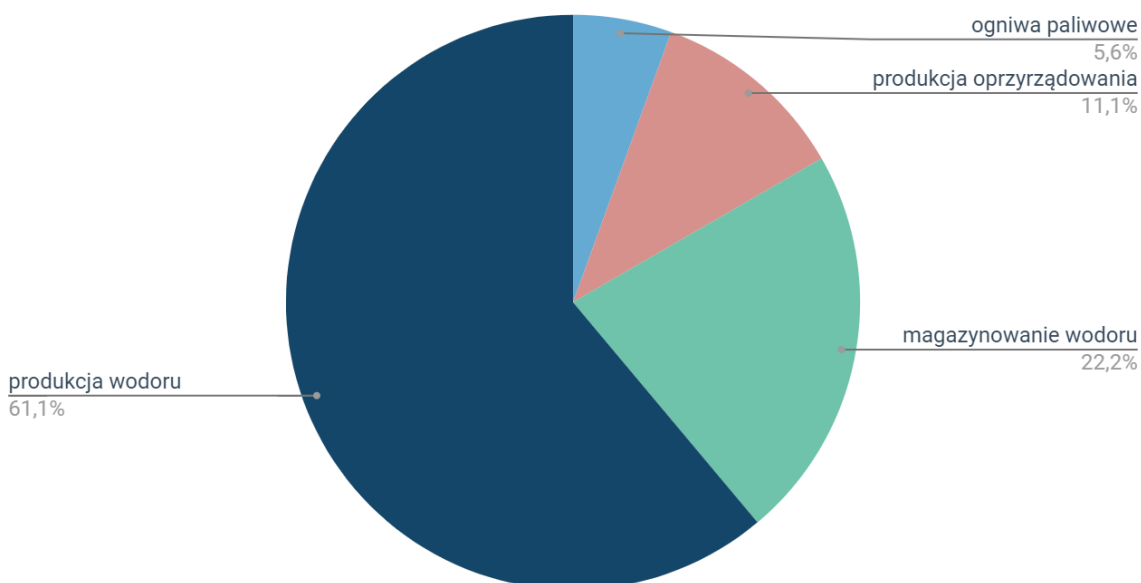
Tabela 1. Lista pomorskich podmiotów zgłaszająca patenty w ramach gospodarki wodorowej

	Podmiot	Rodzaj instytucji	Sektor	Liczba patentów
1	Instytut Maszyn Przepływowych Im. Roberta Szewalskiego Polskiej Akademii Nauk	instytut badawczy	nauka	3
2	Ses Hydrogen Energy spółka z ograniczoną odpowiedzialnością, Gdańsk, PL	przedsiębiorstwo	sektor prywatny	3
3	Bogucki Bohdan, Gdynia, PL (Hydrogen First sp. z o.o.)	przedsiębiorstwo	sektor prywatny	2
4	Instytut Maszyn Przepływowych Im. Roberta Szewalskiego Polskiej Akademii Nauk Energa Spółka Akcyjna, Gdańsk, PL	instytut badawczy grupa kapitałowa	nauka sektor publiczny	2
5	Stamicarbon B.V. acting under the name of MT Innovation Center, Sittard, NL	przedsiębiorstwo	sektor prywatny	2
6	Hexagon Ragasco AS, Raufoss, NO	przedsiębiorstwo	sektor prywatny	1
7	Hille & Müller GmbH, Düsseldorf, DE	przedsiębiorstwo	sektor prywatny	1

8	Lummus Technology LLC, The Woodlands, US	przedsiębiorstwo	sektor prywatny	1
9	Marjanowski Jan, Gdynia, PL,	przedsiębiorstwo	sektor prywatny	1
10	Monolith Materials, Inc., Lincoln, US	przedsiębiorstwo	sektor prywatny	1
11	NPROXX B.V., Heerlen, NL	przedsiębiorstwo	sektor prywatny	1

Biorąc pod uwagę łańcuch wartości gospodarki wodorowej, opatentowane technologie dotyczą w największej mierze produkcji wodoru (O3), następnie magazynowania wodoru (O6), produkcji oprzyrządowania (O4) oraz ogniw paliwowych (inne), co zostało szczegółowo przedstawione na wykresie 15. Nie stwierdzono żadnych pomorskich patentów w zakresie transportu wodoru.

Wykres 15. Udział patentów według roli w gospodarce wodorowej na etapach łańcucha dostaw w latach 2003-2023



Podsumowując, w tworzeniu krajobrazu innowacyjnego technologii wodorowych uczestniczy niewiele pomorskich podmiotów, a wśród nich większość stanowią zagraniczne przedsiębiorstwa. Jest to kolejny wskaźnik obrazujący wczesne stadium rozwoju gospodarki wodorowej w województwie pomorskim – wprawdzie kierunek rozwoju jest wzrostowy, jednak tempo nadal pozostaje stanowczo zbyt wolne, nawet na tle krajowym. Zwiększenie innowacyjności regionu – i doprowadzenie do stanu, w którym będzie ona dyktowana w większym stopniu przez podmioty polskie – mogłoby być jednym z priorytetów władz samorządowych w dążeniu do budowy rozwiniętej gospodarki wodorowej.

Optymistycznym obrazem, który rysuje się dzięki analizie patentometrycznej, jest obecność na Pomorzu podmiotów wykazujących stałe zainteresowanie zgłaszaniem nowych patentów. **Punktem wyjścia do zwiększania innowacyjności regionu**

mogłoby być zatem pogłębiona analiza podejścia do innowacyjności tych podmiotów. Kolejnym krokiem byłoby wypracowanie w porozumieniu z nimi katalogu dobrych praktyk. Powinien on ułatwiać wejście na ścieżkę unowocześniania tym podmiotom, które mniej konsekwentnie skupiają się na wprowadzeniu nowych patentów, a także tym, które jeszcze nie dysponują potencjałem innowacyjności w zakresie gospodarki wodorowej, a być może nie wiedzą nawet, jak go odblokować w swoich przedsiębiorstwach. Zaletą takiego katalogu było również to, że mógłby służyć jako wytyczna również tym podmiotom, które dopiero dołączą do procesu budowy i rozwijania gospodarki wodorowej, a których to – wraz z upływem czasu i zwiększeniem świadomości w odniesieniu do konieczności przejścia transformacji energetycznej – będzie na lokalnym rynku coraz więcej.

Analiza sektora nauki w zakresie przygotowania absolwentów i kadr do pracy w gospodarce wodorowej

Wprowadzenie

W celu analizy i oceny stanu pomorskiego sektora nauki w zakresie przygotowania absolwentów/kadr do pracy w gospodarce wodorowej przyjęliśmy podejście inspirowane **Sektorowymi Ramami Kwalifikacji**. Stanowią one element systemu tworzonych przez Europejską Ramę Kwalifikacji i składające się na nie krajowe ramy kwalifikacji.

Ramy te określają wiedzę, umiejętności oraz kompetencje społeczne na ośmiu poziomach, co służy określeniu efektów kształcenia w systemie szkolnictwa i nauki, szkoleniach, jak również pozwala określać kompetencje pożądane przy rekrutacjach prowadzonych przez pracodawców. Stanowi to odpowiedź na współczesne zapotrzebowanie społeczno-gospodarcze na nieustanne kształcenie i rozwój określonych, przydatnych na rynku, umiejętności. Wdrażany w Polsce Zintegrowany System Kwalifikacji poza uniwersalnymi charakterystykami kwalifikacji wyróżnia charakterystyki drugiego stopnia nabywane w toku kształcenia wyższego lub zawodowego. **Charakterystyki te wiążą się z kompetencjami kierunkowymi, niezbędnymi w danej dziedzinie rynku.** Instytut Badań Edukacyjnych gromadzi i analizuje te kompetencje z perspektywy poszczególnych sektorów rynku z udziałem przedstawicieli branż, tworząc w ten sposób tzw. Sektorowe Ramy Kwalifikacji.

Sektorowe Ramy Kwalifikacji (SRK) to rozbudowane **zestawienia kompetencji ogólnych i szczegółowych pożądanych do realizacji zadań zawodowych w konkretnej branży.** Jako że tworzone są z założenia przez branżę dla branży powstają w języku technicznym zrozumiałym dla przedstawicieli rynku i użytecznym w praktyce. Opisanie kompetencji w języku efektów uczenia się umożliwia zaś ich łatwą

walidację i gwarantuje jakość. Opracowanie SRK niesie korzyści także w zakresie dialogu ekspertów z danej dziedziny i wspólnego namysłu nad przekrojowymi potrzebami i wyzwaniem, które niesie rozwój i przyszłość danej branży. Dotychczas w Polsce opracowano SRK dla następujących sektorów: bankowego, IT, sportu, turystyki, telekomunikacji, budownictwa, usług rozwojowych, zdrowia publicznego, przemysłu mody, motoryzacji, przemysłu chemicznego, handlu, rolnictwa, energetyki, górnictwa, gospodarki odpadami, gospodarki wodno-ściekowej oraz nieruchomości.

Sektor wodorowy nie został do tej pory uwzględniony, aczkolwiek wiele z kompetencji użytecznych dla niego można znaleźć w SRK dla sektora energetycznego, jak również w SRK dla sektora chemicznego.

Posiłkując się szczególnie SRK dla sektora energetycznego i dla sektora chemicznego, jak również opracowaniami zagranicznymi dotyczącymi kwalifikacji dla sektora wodorowego (szczególnie materiałami brytyjskiego Department for Business, Energy & Industrial Strategy, Energy & Utility Skills Group oraz australijskiego LRES Training Management), przygotowaliśmy **roboczą ramę kompetencji dla sektora wodorowego zawierającą podstawowe wyznaczniki sektorowe oraz kluczowe kompetencje pogrupowane wg wyznaczników i wg efektów uczenia** (wiedza – zna i rozumie; umiejętności – potrafi; kompetencje społeczne – jest gotów do).

Na podstawie powstałej w ten sposób mapy kompetencji analizowaliśmy następnie ofertę szkoleniowo-edukacyjną w województwie pomorskim, bazując na źródłach otwartych (opisach kierunków studiów i szkoleń, efektów kształcenia, programach zajęć).

Zidentyfikowane **wyznaczniki sektorowe** to:

- Przygotowanie do pracy w sektorze wodorowym;
- Przeprowadzanie podstawowych czynności w środowisku pracy sektora wodorowego;

- Przestrzeganie polityk środowiskowych i regulacji w sektorze wodorowym;
- Stosowanie regulacji dotyczących bezpieczeństwa i zdrowia w sektorze wodorowym;
- Realizacja transportu i załadunku wodoru.

Dla każdego ze wskaźników przyporządkowano kompetencje w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych. Zrezygnowano natomiast z podziału na poziomy ramy kwalifikacji, co podyktowane było zarówno roboczym charakterem opracowania, który na pierwszym miejscu stawia użyteczność materiału dla dalszej analizy, jak i ograniczeniami w wiedzy źródłowej (bazującej na źródłach wtórnych, a nie na konsultacjach branżowych, który to proces trwa często latami, ale za to jest w stanie osiągnąć nasycenie w zakresie poszczególnych kompetencji i ich poziomów).

Tabela 2. Robocza rama kompetencji dla sektora wodorowego

Przygotowanie do pracy w sektorze wodorowym	
Wiedza (zna i rozumie)	<ul style="list-style-type: none"> ● Jednostki miar i ich zastosowanie w zakresie wykorzystania gazów; ● Źródła energii i transfer ciepła; ● Prawo Charlesa i prawo Boyle'a; ● Zależność między ciśnieniem, objętością i temperaturą; ● Zasady działania w przypadku nieprzewidzianych zdarzeń; ● Istotne dla przemysłu wodorowego regulacje, standardy, procedury mitygacji ryzyka; ● Zasady i praktyki zrównoważonego rozwoju i zrównoważonej energetyki.

<p>Umiejętności (potrafi)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Stosować standardy, procedury, regulacje, wytyczne dot. sektora wodorowego; ● Stosować regulacje dot. zdrowia i bezpieczeństwa; ● Stosować zasady zrównoważonej gospodarki; ● Wypełniać dokumentację; ● Przestrzegać harmonogramu pracy; ● Minimalizować ryzyko poprzez działanie zgodnie z procedurami; ● Utrzymywać miejsce pracy w czystości;
<p>Kompetencje społeczne (jest gotów do)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Efektywnej komunikacji z osobami właściwymi do wykonania określonych zadań; ● Konsultacji z właściwymi osobami.
<p>Przeprowadzanie podstawowych czynności w środowisku pracy sektora wodorowego</p>	
<p>Wiedza (zna i rozumie)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Zasady doboru, stosowania i konserwacji odpowiednich narzędzi pracy; ● Zasady zrównoważonej energetyki i ochrony środowiska, w tym praktyki redukcji odpadów; ● Ryzyka w miejscu pracy; ● Szkodliwe i groźne substancje (toksyczne, łatwopalne etc.); ● Techniki produkcji wodoru (w tym ze źródeł odnawialnych); ● Istotne dla przemysłu wodorowego techniki, plany,

	<p>miary jakości;</p> <ul style="list-style-type: none">• Techniki składowania wodoru;• Istotne procedury i instrukcje dotyczące produkcji, sprzętu, bezpieczeństwa, jak również łańcuch decyzyjny w miejscu pracy;• Najnowsze rozwiązania w zakresie elektrotechniki, elektroniki, automatyki i innych dziedzin wykorzystywane w procesach wytwarzania, magazynowania i dostarczania energii;• Metody strategicznego planowania zapotrzebowania na energię w kraju i w Unii Europejskiej;• Najnowsze osiągnięcia w zakresie wykorzystania odnawialnych źródeł energii;• Mechanizmy rynkowe na krajowych i globalnych rynkach surowców, półproduktów i mediów technologicznych
Umiejętności (potrafi)	<ul style="list-style-type: none">• Identyfikować ryzyko i mu przeciwdziałać;• Dobierać i używać odpowiedni sprzęt ochronny;• Czyścić, sprawdzać i przechowywać odpowiednio narzędzia pracy;• Wypełniać dokumentację służbową;• Przeprowadzać kontrolę bezpieczeństwa i jakości;• Opracowywać nowe technologie montażu i budowy nietypowych urządzeń, instalacji

	<p>oraz sieci energetycznych;</p> <ul style="list-style-type: none">• Tworzyć nowe rozwiązania, w tym wykorzystujące sztuczną inteligencję, służące do komputerowych analiz urządzeń, instalacji i sieci energetycznych;• Prognozować zapotrzebowanie na energię w skali kraju w perspektywie krótko- i długoterminowej;• Opracowywać nowe metody badania parametrów nośników energii i czynników roboczych;• Planować proces produkcji, przetwarzania i dystrybucji wodoru;• Opracowywać i wdrażać procedury zapewniania prawidłowości przebiegu procesów technologicznych;• Wdrażać wyniki prac B+R;• Projektować rozwiązania organizacyjne wpływające na poprawę wydajności i jakości pracy.
<p>Kompetencje społeczne (jest gotów do)</p>	<ul style="list-style-type: none">• Raportowania nieprzewidzianych incydentów odpowiednim osobom;• Efektywnej komunikacji;• Inicjowania i rozwijania współpracy środowiska branżowego, w tym środowiska naukowego, zmierzającej do transferu nowych rozwiązań w zakresie technologii wodorowych;• Inicjowania działań na rzecz podnoszenia jakości wytwarzanych produktów oraz świadczonych usług

w sektorze energetyki;

- Przyjmowania odpowiedzialności za realizację celów wyznaczonych przez międzynarodową politykę energetyczną;
- Tworzenia wzorców proekologicznych w realizacji procesów związanych z wytwarzaniem, magazynowaniem i dostarczaniem energii;
- Podejmowania decyzji dotyczących procesów związanych z wytwarzaniem, magazynowaniem i dostarczaniem energii pod presją czasu i w sytuacjach stwarzających szczególne zagrożenie dla zdrowia lub życia ludzkiego, mienia i środowiska.

Przestrzeganie polityk środowiskowych i regulacji w sektorze wodorowym

Wiedza (zna i rozumie)

- Przyczyny zanieczyszczeń środowiska (chemiczne, zanieczyszczenie wody etc.);
- Normy środowiskowe w środowisku pracy przemysłowej w sektorach użyteczności publicznej;
- Zaawansowane sposoby transportu wodoru;
- Korzystne dla środowiska materiały i sprzęt;
- Korzystne dla środowiska zarządzanie odpadami;
- Regulacje i standaryzacje środowiskowe;
- Dokumenty, procedury i polityki środowiskowe w miejscu pracy;
- Podmioty odpowiadające za regulacje środowiskowe.

<p>Umiejętności (potrafi)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Stosować wyznaczniki ochrony środowiska oraz procedury właściwe dla miejsca pracy; ● Stosować odpowiednie standardy i wytyczne przemysłowe; ● Stosować odpowiednie wymogi bezpieczeństwa i ochrony zdrowia; ● Stosować zasady i praktyki zrównoważonej energetyki; ● Wypełniać odpowiednie raporty; ● Kontrolować i minimalizować ryzyko szkodliwych dla środowiska incydentów; ● Identyfikować potencjalne i bieżące ryzyka dla środowiska; ● Sporządzać zalecenia w celu minimalizacji ryzyka; ● Prowadzić przegląd regulacji kontrolnych oraz zaleceń dot. wykorzystania sprzętu
<p>Kompetencje społeczne (jest gotów do)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Przestrzegania ustalonych polityk i procedur środowiskowych.
<p>Stosowanie regulacji dotyczących bezpieczeństwa i zdrowia w sektorze wodorowym</p>	
<p>Wiedza (zna i rozumie)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Odpowiednie rodzaje gaśnic w zależności od materiału płonącego; ● Oznaczenia bezpieczeństwa w miejscu pracy; ● Hierarchię ryzyk w miejscu pracy i ich wyznaczników;

	<ul style="list-style-type: none">● Procedury oceny i kontroli ryzyka;● Sytuacje awaryjne w miejscu pracy;● Substancje chemiczne w miejscu pracy i ich klasyfikacje;● Wymogi do pracy z gazami, w tym dot. radzenia sobie z ogniem;● Reakcyjność wodoru z metalami● Wymogi i procedury dotyczące pracy w miejscu niebezpiecznym;● Odpowiednie prawodawstwo oraz dokumentację w miejscu pracy;● Zasady pracy z gazami oraz elektrycznością.
Umiejętności (potrafi)	<ul style="list-style-type: none">● Stosować zasady ochrony zdrowia i bezpieczeństwa w miejscu pracy;● Dbać o sprzęt wykorzystywany do pracy;● Izolować sprzęt i instalacje energetyczne;● Wypełniać odpowiednią dokumentację;● Radzić sobie z wypadkami w miejscu pracy (np. pożary etc.);● Przestrzegać i stosować procedury bezpieczeństwa;● Tworzyć nowe rozwiązania wpływające na poprawę efektywności i bezpieczeństwa sieci energetycznych;● Tworzyć nowe rozwiązania wpływające na poprawę efektywności i bezpieczeństwa

	<p>urządzeń i instalacji energetycznych;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tworzyć nowe rozwiązania w zakresie systemów automatyki zabezpieczeniowej
Kompetencje społeczne (jest gotów do)	<ul style="list-style-type: none"> • Uczestnictwa w regularnych konsultacjach; • Raportowania odpowiednim osobom o zachodzących wypadkach i zdarzeniach nieprzewidzianych
Realizacja transportu i załadunku wodoru	
Wiedza (zna i rozumie)	<ul style="list-style-type: none"> • Sposoby transportu wodoru; • Technologie składowania skompresowanego wodoru; • Ciśnienie składowanego wodoru; • Ryzyko zagotowania podczas transportu; • Czynniki powodujące wypadki podczas transportu/przesyłu wodoru; • Efektywne techniki jazdy; • Czynniki dotyczące przygotowania do transportu; • Czynniki opóźniające transport; • Właściwości wodoru; • Właściwe procedury, legislacje i wymogi organizacyjne; • Techniki załadunku, rozładunku oraz bezpiecznej dostawy wodoru.
Umiejętności (potrafi)	<ul style="list-style-type: none"> • Stosować wymagane zasady w celu minimalizacji ryzyka związanego z transportem wodoru;

	<ul style="list-style-type: none">• Wypełniać odpowiednią dokumentację oraz dochowywać czynności po zakończeniu dostawy;• Odpowiednio pozycjonować tubę/zbiornik podczas załadunku i rozładunku;• Przekazywać wodór do systemów składających;• Odpowiednio identyfikować produkt i właściwe dla niego mechanizmy przesyłowe;• Wprowadzać działania mitygacyjne, priorytetyzować zadania i właściwie interpretować instrukcje;• Stosować się do oczekiwań konsumenta w zakresie dostawy;• Modyfikować działania zależnie od sytuacji;• Przewidywać ryzyka transportowe i wprowadzać działania zapobiegawcze;• Pracować systematycznie z dbałością o szczegóły;• Dobierać właściwy personel i sprzęt do wykonania zadania;• Stosować efektywne techniki jazdy.
Kompetencje społeczne (jest gotów do)	<ul style="list-style-type: none">• Efektywnej komunikacji ze współpracownikami;• Współdziałania przy realizacji przesyłu transgranicznego energii oraz utrzymywania i promowania kultury współpracy w ramach europejskiego rynku energii;

- Tworzenia wzorców etycznego postępowania w zakresie poszanowania własności intelektualnej, kultury współpracy i konkurencji w procesach wytwarzania, magazynowania i dostarczania energii.

Zmapowanie kompetencji w oparciu o wyznaczniki sektorowe (patrz tabela 2.) pozwoliło na ich analizę, a w efekcie pogrupowanie na zespoły kompetencji, dzięki czemu powstała matryca umożliwiająca analizę poszczególnych kierunków studiów i szkoleń dostępnych w województwie pomorskim. Zidentyfikowano następujące **grupy kompetencji**:

- kompetencje techniczno-produkcyjne;
- kompetencje dotyczące kwestii środowiskowych;
- kompetencje menedżerskie;
- kompetencje dotyczące regulacji i ekonomii;
- kompetencje innowacyjne i informatyczne;
- kompetencje dotyczące zdrowia i bezpieczeństwa;
- kompetencje polityczne i strategiczne;
- kompetencje dotyczące transportu.

W toku analizy kierunków studiów i szkoleń brano pod uwagę występowanie treści mieszczących się w wyszczególnionych grupach kompetencji w zakresie objętym przez kompetencje zmapowane w roboczej ramie kwalifikacji. Nie analizowano natomiast kierunków studiów i szkoleń pod kątem realizacji szczegółowych kompetencji. Wiąże się to zarówno z roboczym charakterem ramy (nie jest celowe tworzenie rekomendacji w oparciu o jej szczegółowy zakres – jest to wyłącznie narzędzie

analityczne), jak i z celem uzyskania przejrzystych wniosków umożliwiających sformułowanie rekomendacji.

Wyniki analizy oferty szkoleniowo-edukacyjnej prezentuje tabela 3. Uwzględniono w niej kierunki studiów i szkolenia realizujące przynajmniej jeden obszar kompetencji kluczowych dla sektora wodorowego i skrzyżowano ze zidentyfikowanymi grupami kompetencji.

TABELA 3. Grupy kompetencji rozwijanych w ramach poszczególnych kierunków studiów i szkoleń

Legenda: TP – techniczno-produkcyjne; RE – dotyczące regulacji i ekonomii; Ś – dotyczące kwestii środowiskowych; II – innowacyjne i informatyczne; ZB – dotyczące zdrowia i bezpieczeństwa; PS – polityczne i strategiczne; T – dotyczące transportu; M – menedżerskie

Stopień studiów	Uczelnia	Kierunki studiów i szkolenia / kompetencje	TP	RE	Ś	II	ZB	PS	T	M
Studia I i II stopnia	Gdańska Szkoła Wyższa	Zarządzanie i inżynieria produkcji: Inżynieria ochrony środowiska		tak	tak					tak
Studia I i II stopnia	Gdański Uniwersytet Medyczny	Zdrowie środowiskowe			tak		tak			
Studia I i II stopnia	Politechnika Gdańska, Wydział Chemiczny	Zielone technologie		tak	tak					
Studia I i II stopnia	Politechnika Gdańska, Wydziały: Elektrotechniki i Automatyki, Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa, Inżynierii	Energetyka	tak		tak	tak		tak		tak

	Lądowej i Środowiska									
Studia I i II stopnia	Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska	Inżynieria Środowiska	tak		tak	tak				
Studia I i II stopnia	Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska	Transport							tak	tak
Studia I i II stopnia	Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa	Transport i logistyka				tak			tak	tak
Studia I i II stopnia	Uniwersytet Gdański, Wydział Ekonomii i Wydział Chemii	Biznes i technologia ekologiczna	tak	tak	tak			tak		tak
Studia I i II stopnia	Uniwersytet Gdański, Wydział Chemii	Biznes Chemiczny	tak	tak						tak
Studia I i II stopnia	Uniwersytet Gdański, Wydział Chemii	Ochrona Środowiska			tak					
Studia I i II stopnia	Uniwersytet Morski w Gdyni, Wydział Mechaniczny	Mechanika i Budowa Maszyn (MiBM)	tak							

Studia I i II stopnia	Uniwersytet Morski w Gdyni, Wydział Nawigacyjny	Transport								tak	
Studia I i II stopnia	Uniwersytet Morski w Gdyni, Wydział Zarządzania i Nauk o Jakości	Zarządzanie		tak							tak
Studia I stopnia	Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki	Technologie wodorowe i elektromobilność (WEiA)	tak			tak	tak				
Studia I stopnia	Sopocka Akademia Nauk Stosowanych	Zarządzanie i inżynieria produkcji		tak							tak
Studia I stopnia	Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii	Gospodarka Wodna i Ochrona Zasobów Wód	tak	tak	tak				tak		tak
Studia I stopnia	Uniwersytet Morski w Gdyni, Wydział Mechaniczny	Eksploatacja i Diagnostyka Systemów Technicznych (EiDST)	tak								
Studia I stopnia	Uniwersytet Pomorski w Słupsku	Fizyka Techniczna (inż.), ścieżka: Ekotechnologie – OZE	tak		tak						
Studia I stopnia	Uniwersytet Pomorski w Słupsku	Ochrona Środowiska, ścieżka: Ekoenergetyka			tak						

Studia I stopnia	Uniwersytet Pomorski w Słupsku	Ochrona Środowiska, ścieżka: Biomonitoring i Zrównoważony Rozwój			tak					
Studia II stopnia	Uniwersytet Morski w Gdyni, Wydział Elektryczny	Elektrotechnika – OZE i Elektromobilność	tak		tak					
Studia podyplomowe / szkolenia	Akademia Bezpieczeństwa firmy Automatic Systems Engineering (ASE)	Wprowadzenie w technologie wodorowe	tak							
Studia podyplomowe / szkolenia	Akademia Bezpieczeństwa firmy Automatic Systems Engineering (ASE)	Zielony wodór z elektrolizera w aspekcie jakościowym i ilościowym	tak							
Studia podyplomowe / szkolenia	Akademia Bezpieczeństwa firmy Automatic Systems Engineering (ASE)	Zasady bezpieczeństwa na instalacjach wodorowych						tak		
Studia podyplomowe / szkolenia	Akademia Bezpieczeństwa firmy Automatic Systems Engineering (ASE)	Bezpieczeństwo i higiena pracy przy prowadzeniu prac w przestrzeniach zagrożonych wybuchem wodoru						tak		

Studia podyplomowe / szkolenia	Akademia Bezpieczeństwa firmy Automatic Systems Engineering (ASE)	Bezpieczeństwo procesowe na instalacjach wodorowych. Systemy detekcji wodoru					tak		
Studia podyplomowe / szkolenia	Akademia Bezpieczeństwa firmy Automatic Systems Engineering (ASE)	Ogniwo paliwowe jako element infrastruktury wodorowej	tak					tak	tak
Studia podyplomowe / szkolenia	Akademia Bezpieczeństwa firmy Automatic Systems Engineering (ASE)	Dobór i montaż urządzeń w wykonaniu przeciwwybuchowym w atmosferach gazowych wodorowych					tak		
Studia podyplomowe / szkolenia	Akademia Bezpieczeństwa firmy Automatic Systems Engineering (ASE)	Aspekty bezpieczeństwa przy projektowaniu stacji tankowania wodorem					tak		
Studia podyplomowe / szkolenia	Powiślańska Szkoła Wyższa	Logistyka i transport							tak tak
Studia podyplomowe	Sopocka Akademia Nauk Stosowanych	Technologie energii odnawialnych	tak	tak				tak	

/ szkolenia										
Studia podyplomowe / szkolenia	Uniwersytet Morski w Gdyni Wydział Elektryczny	Technika Wodorowa i OZE	tak		tak	tak			tak	
Studia podyplomowe / szkolenia	Orlen/ grupa uczelni w tym Politechnika Gdańska	Akademia Wodorowa/Akademia H2	tak			tak				tak

Interpretacja i analiza wyników

Dzięki zastosowaniu podejścia opartego na ramie kwalifikacji, analizie poddaliśmy nie tylko kierunki i szkolenia bezpośrednio odwołujące się do zagadnień związanych z wodorem, lecz także te, które dotyczą innych kluczowych kompetencji cząstkowych, np. związanych z kwestiami ochrony środowiska, zarządzania innowacjami czy transportem.

W sumie zidentyfikowaliśmy 20 kierunków studiów I stopnia, 14 II stopnia oraz 3 oferty studiów podyplomowych i 9 szkoleń prowadzonych na 8 uczelniach oraz w jednej firmie szkoleniowej. Pełne zestawienie pomorskiej oferty edukacyjno-szkoleniowej zawarte jest w tabeli nr 2.

W województwie pomorskim zagadnieniom związanym z wodorem bezpośrednio poświęcony jest jedynie jeden kierunek studiów I stopnia (Technologie wodorowe i elektromobilność na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej) oraz jedno studia podyplomowe Technika Wodorowa i Odnawialne Źródła Energii (Wydział Elektryczny Uniwersytetu Morskiego w Gdyni). Oferowanych jest także osiem typów szkoleń w ramach Akademii Bezpieczeństwa firmy Automatic Systems Engineering (ASE):

- Wprowadzenie w technologie wodorowe;
- Zielony wodór z elektrolizera w aspekcie jakościowym i ilościowym;
- Zasady bezpieczeństwa na instalacjach wodorowych;
- Bezpieczeństwo i higiena pracy przy prowadzeniu prac w przestrzeniach zagrożonych wybuchem wodoru;
- Bezpieczeństwo procesowe na instalacjach wodorowych. Systemy detekcji wodoru;
- Ogniwo paliwowe jako element infrastruktury wodorowej;

- Dobór i montaż urządzeń w wykonaniu przeciwybuchowym w atmosferach gazowych wodorowych;
- Aspekty bezpieczeństwa przy projektowaniu stacji tankowania wodorem.

Należy także wspomnieć o programie edukacyjnym Akademia Wodorowa/Akademia H₂, organizowanym w Szczecinie przez Orlen przy współdziałaniu m.in. Politechniki Gdańskiej. Program Akademii koncentruje się na zagadnieniach z zakresu kompetencji techniczno-produkcyjnych, jednakże obecne są w nim także tematy transportowe, jak również zajęcia z zakresu wykorzystania innowacji i nowoczesnych technologii w branży wodorowej.

Zidentyfikowane kierunki studiów i szkolenia zostały poddane pogłębionej analizie przez pryzmat opracowanej roboczej ramy kwalifikacji dla gospodarki wodorowej. Pogłębiony charakter analizy polegał na odniesieniu efektów kształcenia opisanych dla każdej oferty przez prowadzącą ją jednostkę do kompetencji określonych przez nas jako tworzące profil kompetencyjny związany z gospodarką wodorową.

Tam, gdzie nie były wskazane efekty kształcenia (szczegółowo rozwijane kompetencje), staraliśmy się wywnioskować je z programów kształcenia, opisów kierunków i szkoleń, tematów i treści oferowanych zajęć. Poskutkowało to niemożliwymi do uniknięcia różnicami w poziomie szczegółowości porównywanych ofert – przy niektórych byliśmy w stanie ustalić, w jaki sposób rozwijają daną kompetencję, podczas gdy przy innych jedynie określić zero-jedynkowo, czy dotyczą danego obszaru kompetencyjnego.

Zastosowanie takiego podejścia pozwala na odniesienie i porównanie konkretnych kompetencji, określonych wcześniej jako kluczowe z perspektywy rozwoju gospodarki wodorowej, do oferty edukacyjno-szkoleniowej w województwie pomorskim. Wyniki takiej analizy pozwalają ocenić, na ile oferta edukacyjno-szkoleniowa obecna w województwie pomorskim pozwala na rozwój poszczególnych kompetencji istotnych dla funkcjonowania gospodarki wodorowej. Pozwala wskazać najmocniej obecne

obszary kompetencyjne i – po przeciwnej stronie – te najmniej lub w ogóle nieobecne w ofercie. Pozwala ocenić kompleksowość poszczególnych ofert, a także ich komplementarność względem siebie. Niejednokrotnie zdarza się bowiem, że różne kompetencje rozwijane są w różnych jednostkach tej samej uczelni, ale nie są zintegrowane w postaci jednej oferty edukacyjnej. **Przeprowadzona analiza może stanowić wsparcie dla osób odpowiedzialnych za tworzenie programów kształcenia na pomorskich uczelniach w tworzeniu kompleksowej oferty odpowiadającej na potrzeby rozwoju kompetencji związanych z gospodarką wodorową.**

Z przedstawionego zestawienia wynika, że najczęściej rozwijany zestaw kompetencji to **kompetencje techniczno-produkcyjne**. Zidentyfikowaliśmy je w 15 przypadkach. Są one w miarę równo rozłożone pomiędzy studia I i II stopnia oraz studia podyplomowe i szkolenia. Dobrym przykładem tak ukierunkowanego kształcenia jest opis kierunku Technologie wodorowe i elektromobilność, oferowanego na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej: „Absolwent będzie posiadał wiedzę z sieci i systemów elektroenergetycznych, elektrochemii, elektromobilności, techniki wysokich napięć, zabezpieczania i ochrony urządzeń elektrycznych, bezpieczeństwa funkcjonalnego w instalacjach wodorowych, elektroniki i energoelektroniki, maszyn i napędu elektrycznego, trakcji elektrycznej, sterowania i sterowników programowalnych, instalacji elektrycznych oraz przemysłowych sieci informatycznych.” Jednak – tak jak powiedzieliśmy wcześniej – nie tylko kierunki stricte „wodorowe” dostarczają kompetencji istotnych dla tego obszaru. Kierunek Inżynieria środowiska (Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska PG) pozwala na rozwinięcie kompetencji „projektowania, planowania, realizacji, modernizacji i eksploatacji urządzeń i obiektów technicznych z podstawowego zakresu inżynierii środowiska”, które bez wątpienia mogą być przydatne w gospodarce wodorowej.

Drugą grupą najczęściej rozwijanych kompetencji są te dotyczące **kwestii środowiskowych**, występujące w 14 przypadkach, jednak zdecydowanie najczęściej (8 razy) na studiach I i II stopnia, a tylko 3 razy w ofercie podyplomowo-szkoleniowej. Jest to dość zaskakujące, biorąc pod uwagę popularność tematów związanych ze zrównoważonym rozwojem w gospodarce i polityce. Co więcej, w ofertach dotyczących bezpośrednio wodoru kompetencje środowiskowe występują tylko w przypadku kierunku Technika Wodorowa i Odnawialne Źródła Energii na Wydziale Elektrycznym Uniwersytetu Morskiego w Gdyni, gdzie obecne są właśnie poprzez treści związane z OZE. Poza tym można je znaleźć głównie na kierunkach dotyczących ochrony i inżynierii środowiska.

Trzecią pod względem popularności grupą kompetencji są **kompetencje menedżerskie** (10 wystąpień), obecne zwłaszcza na kierunkach studiów 1 i 2 stopnia Uniwersytetu Gdańskiego, Uniwersytetu Morskiego w Gdyni, Politechniki Gdańskiej oraz Gdańskiej Szkoły Wyższej. Co warto odnotowania, kompetencje te nie są realizowane na kierunkach stricte wodorowych. Jest to o tyle istotne, że **kompetencje menedżerskie diagnozuje się jako najbardziej newralgiczne w europejskim sektorze wodorowym, co powinno skłaniać do uwzględniania ich w kierunkowych programach kształcenia.**

Pozostałe z wyróżnionych przez nas kompetencji związanych z gospodarką wodorową obecne są w ofercie w mniej więcej tym samym stopniu (6-8 wystąpień), jednak należy zwrócić uwagę na kompetencje dotyczące bezpieczeństwa wodoru.

Są one przedmiotem kształcenia prawie wyłącznie na szkoleniach organizowanych przez Akademię Bezpieczeństwa, a w ofercie studiów podyplomowych lub I i II stopnia występują tylko na kierunku zdrowie środowiskowe prowadzonym przez Gdański Uniwersytet Medyczny oraz na kierunku „wodorowym” PG (Technologie wodorowe i elektromobilność). Stanowi to istotny deficyt, jeśli wziąć pod uwagę konieczność

mitygacji ryzyk związanych z magazynowaniem, przesyłem i wykorzystaniem wodoru w rozwoju gospodarki wodorowej.

Jeśli przyjrzeć się poszczególnym kierunkom studiów, można zauważyć, że żadna z ofert nie obejmuje wszystkich ośmiu wyszczególnionych grup kompetencji. Co zaskakujące, najwięcej z nich wcale nie występuje na kierunkach stricte „wodorowych”, ale na studiach I stopnia z Gospodarki Wodnej i Ochrony Zasobów Wód Uniwersytetu Gdańskiego (5 grup kompetencji: techniczno-produkcyjne, regulacyjno-ekonomiczne, środowiskowe, menedżerskie i polityczno-strategiczne) oraz Energetyce na PG (5 grup: techniczno-produkcyjne, środowiskowe, innowacyjno-informatyczne, polityczno-strategiczne i menedżerskie).

Kierunki „wodorowe” Politechniki Gdańskiej i Uniwersytetu Morskiego w Gdyni obejmują odpowiednio 3 i 4 grupy kompetencji wodorowych, co może być przyczyną zawężenia kształcenia na tych kierunkach do wybranych aspektów gospodarki wodorowej. Jak pokazuje nasza analiza, możliwe jest dość proste rozwiązanie tego problemu – brakujące kompetencje są bowiem rozwijane na tych samych uczelniach w ramach innych kierunków studiów. Przykładowo, kierunki na Uniwersytecie Morskim w Gdyni pokrywają łącznie 7 na 8 spośród wyszczególnionych grup kompetencji – brakuje jedynie wspomnianych już kwestii dot. zdrowia i bezpieczeństwa; podobnie jest na Politechnice Gdańskiej, gdzie analizowane kierunki łącznie również „pokrywają” wszystkie potrzebne dla pracy w sektorze wodoru kompetencje. **Daje to możliwość stosunkowo łatwego połączenia ofert lub skorzystania z zajęć oferowanych na innych kierunkach i wydziałach tych samych uczelni, by stworzyć kompleksową ofertę odpowiadającą na potrzeby rozwoju gospodarki wodorowej w regionie.**

Analiza tzw. wskaźników pokrewieństwa między kierunkami oferowanymi na Politechnice Gdańskiej, przygotowana jako wytyczne dla kandydatów na studia II

stopnia, pokazuje zastanawiająco niewielkie pokrewieństwo kierunku „Technologie wodorowe i elektromobilność” z innymi oferowanymi na tej uczelni⁶. Absolwenci tego kierunku mają pierwszeństwo o stopniu 2 (na 10) przy rekrutacji na Automatykę, robotykę i systemy sterowania, a także na Elektrotechnikę i Energetykę, ale już nie na Zielone technologie. Ten brak zintegrowania studiów wodorowych z innymi kierunkami może skutkować ograniczonym charakterem oferty kształcenia niezbędnych kompetencji, wykraczających poza kwestie techniczno-inżynierskie.

Trzecia z największych pomorskich uczelni, Uniwersytet Gdański, ma zaś już teraz w swojej ofercie kierunki pokrywające większość wyróżnionych kompetencji wodorowych, co wydaje się być dobrym punktem wyjścia do przygotowania w przyszłości dedykowanej oferty pod kątem gospodarki wodorowej. Dzięki wykorzystaniu potencjału powstałego w 2020 r. Związku Uczelni Gdańskich im. D. Fahrenheita mogłaby ona korzystać z już istniejących zasobów na PG i być uzupełnieniem oferowanego kierunku wodorowego.

Jeśli chodzi o jednostki kształcenia ponadpodstawowego (technika, szkoły zawodowe), przeanalizowano ponad 100 takich jednostek. Zlokalizowano 28 jednostek oferujących kursy mieszczące się w zakresie określonym przez pożądane kompetencje wodorowe. Dominują wśród nich kursy realizujące kompetencje produkcyjno-techniczne (kierunki elektryczne, mechaniczne, rzadziej energetyczne) oraz kompetencje dotyczące transportu (często kierunki logistyczne). Jedynie 6 jednostek oferuje bardziej wyspecjalizowane kursy, które oprócz kompetencji produkcyjno-technicznych, pokrywają także kompetencje dotyczące środowiska oraz dotyczą bezpośrednio energetyki odnawialnej. Są to następujące kierunki kształcenia: technik urządzeń i systemów energetyki odnawialnej (Zespół Szkół Agrotechnicznych i Ogólnokształcących im. Stanisława Staszica w Swarzędzie), technik ochrony

6

<https://cdn.files.pg.edu.pl/main/Rekrutacja/Akty%20prawne/Zasady%20rekrutacji/2023.2024/POKREWIE%20C5%83STWO%20II%20STOPIE%20C5%83.pdf>

środowiska (Zespół Szkół Agrotechnicznych im. Władysława Reymonta w Słupsku), technik ochrony środowiska z elementami energii odnawialnej/technologii wody (Centrum Kształcenia Zawodowego i Ustawicznego nr 2 w Gdańsku), technik energetyki odnawialnej (Zespół Szkół Rolniczych Centrum Kształcenia Zawodowego im. Józefa Wybickiego w Bolesławowie), technik urządzeń i systemów energetyki odnawialnej (Zespół Szkół Ekologiczno-Transportowych w Gdyni) oraz technik urządzeń i systemów energetyki odnawialnej (Zespół Szkół Energetycznych w Gdańsku).

Analiza SWOT

Silne strony

Położenie geograficzne (nad Morzem Bałtyckim):

- potencjał do budowy farm wiatrowych na morzu i na lądzie, a zatem do produkcji wodoru ze źródeł odnawialnych (zasoby wiatru na Morzu Bałtyckim to jeden z najtańszych zasobów odnawialnych w całej UE);
- dostęp do zasobów wodnych;
- potencjał wykorzystania kawern solnych;
- porty, które potrzebują dekarbonizacji, potencjalnie w oparciu o wodór; ponadto w przyszłości mogą powstawać tam terminale do importu (a może też eksportu) LH2, amoniaku, metanolu, bioLNG i innych zielonych paliw;
- potencjalnie pozytywne oddziaływanie wodoru na strefy beztlenowe Morza Bałtyckiego;
- potencjał do udziału w łańcuchach przesyłu i magazynowania wodoru w regionie Morza Bałtyckiego;
- potencjalna lokalizacja elektrowni jądrowej na terenie Województwa Pomorskiego i możliwość wykorzystania jej do produkcji tzw. fioletowego wodoru.

Inicjatywy wodorowe w tym Pomorska Dolina Wodorowa, Bursztynowa Dolina Wodorowa, konferencja PCHET, które ułatwiają integrację i wymianę doświadczeń między interesariuszami gospodarki wodorowej na Pomorzu.

Obecność firm zainteresowanych rozwojem gospodarki wodorowej, realizowane przez nie pierwsze projekty zmierzające do rozwoju gospodarki wodorowej,

funkcjonowanie tych firm na różnych odcinkach łańcucha wartości gospodarki wodorowej.

Potencjał narracyjny jako fundament pod przekonanie społeczeństwa o konieczności budowy gospodarki wodorowej na Pomorzu i jej korzyściach:

- opowieść o regionie, który dzięki rozwojowi gospodarki wodorowej stanie się eksporterem energii, miejscem atrakcyjnym dla lokalizacji (relokacji) zakładów przemysłowych;
- opowieść o regionie, który dzięki zielonej transformacji może ograniczyć negatywne skutki zmian klimatu (Pomorze jest jednym z regionów najbardziej narażonych na skutki zmian klimatu).

Synergia z planami państwa w zakresie wsparcia energetyki na morzu zgodnie z projektami Krajowego Planu na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030 czy Polityką Energetyczną Polski 2040.

Oferta edukacyjna obejmująca zagadnienia związane z rozwojem gospodarki wodorowej i potencjał kształcenia kadr dla gospodarki wodorowej.

Uwarunkowania demograficzne – młoda i dobrze wykształcona populacja, atrakcyjność regionu w kontekście przyciągania ludzi z branży IT, powiązana z silnym potencjałem transformacji cyfrowej.

Pierwsze propozycje projektów wodorowych, m.in.:

- wodorowa komunikacja autobusowa w Gdyni, Gdańsku, Tczewie, Wejherowie;
- Hy-Way to Hel;
- H2Global;
- NeptHyne;

- Hub wodorowy w Porcie Gdynia.

Obecność silnych interesariuszy zainteresowanych rozwojem gospodarki wodorowej, zwłaszcza:

- Przemysł petrochemiczny – szczególnie Orlen i strategia wodorowa firmy do 2030 r. wraz z projektem Bursztynowej Doliny Wodorowej oraz projektem LOTOS Green H2;
- Rafineria Gdańska
- Porty;
- PERN W Dębogórze;
- PGE Energetyka Kolejowa;
- PGE Energetyka Ciepła;
- Elektrociepłownie.

Potencjał przemysłowy i badawczy, np. Lotosu w Grupie Orlen.

Zainteresowanie lokalnych samorządów rozwojem gospodarki wodorowej (np. Regionalny Program Strategiczny w zakresie mobilności i komunikacji Województwa Pomorskiego).

Silna tożsamość lokalna ułatwiająca współpracę na linii biznes – samorząd – nauka.

Funkcjonowanie silnej branży nowych technologii i sektora B+R – wysoka innowacyjność gospodarki regionu.

Bardzo dobra infrastruktura stacyjna na terenie Trójmiasta i okolic, potencjalna możliwość ich adaptacji do paliw wodorowych.

Synergia między projektami wodorowymi a strategią rozwoju województwa, co może stanowić podbudowę pod silniejszą współpracę samorządu i przedsiębiorców.

Pozytywne podejście pomorskich przedsiębiorców do regulacji prawnych dotyczących polityki energetyczno-klimatycznej – regulacje są postrzegane jako pozytywne lub neutralne.

Możliwość dostępu do funduszy unijnych umożliwiających rozwój gospodarki wodorowej; działalność Europejskiego Banku Wodoru.

Słabe strony

Niepewność związana z inwestowaniem w wodór:

- wysoki próg wejścia w inwestycje wodorowe wynikający z ryzyka związanego z inwestowaniem w rodzącą się branżę;
- ograniczona efektywność partnerstw publiczno-prywatnych;
- brak szczegółowych regulacji prawnych na szczeblu centralnym w zakresie rozwoju gospodarki wodorowej, które utrudniają proces podejmowania decyzji w urzędach niższego szczebla administracji;
- niewystarczające regulacje na poziomie krajowym, które utrudniają funkcjonowanie interesariuszy gospodarki wodorowej;
- brak lokalnych źródeł finansowania dla projektów wodorowych.
- ograniczone fundusze na rozwój gospodarki wodorowej związane m.in. z zablokowanym KPO.

Niewystarczająca świadomość potencjalnych interesariuszy gospodarki wodorowej z sektora MŚP odnośnie do regulacji prawnych dotyczących polityki energetyczno-klimatycznej, w tym odnoszących się do gospodarki wodorowej (np. Polska Strategia Wodorowa), a także wciąż zbyt niskie zainteresowanie wśród nich wykorzystaniem wodoru.

Potencjalne rozbieżności interesów i oczekiwań dot. modelu rozwoju gospodarki wodorowej między dużymi graczami rynkowymi (model scentralizowany) a pozostałymi interesariuszami gospodarki wodorowej (model rozproszony).

Słabo rozwinięta infrastruktura przesyłowa (zarówno w kierunkach zachód-wschód, jak i północ-południe), która utrudnia budowę gospodarki wodorowej. Deficyty w rozwoju systemu elektroenergetycznego.

Niewystarczające nakłady na badania i rozwój w obszarze technologii i systemów wodorowych (zbyt małe środki publiczne).

Mała obecność przemysłu, który mógłby stanowić motor rozwoju gospodarki wodorowej.

Brak regulacji, które zachęcałyby do szerszych inwestycji podmioty zagraniczne.

Brak działań informacyjno-dialogowych kierowanych do społeczeństwa na temat wodoru – potencjalna podatność społeczeństwa na kampanie dezinformacyjne związane z transformacją energetyczną i wykorzystaniem wodoru.

Wciąż niewystarczająca oferta edukacyjna w regionie w stosunku do potrzeb związanych z rozwojem gospodarki wodorowej. Konkurencja w sektorze uczelni wyższych z innymi uczelniami krajowymi.

Mała liczba biogazowni w regionie.

Brak wystarczającej ilości wielkoskalowych źródeł energii, w tym OZE.

Brak wystarczających zasobów wykwalifikowanej kadry pracowniczej, które mogłyby napędzać rozwój gospodarki wodorowej na Pomorzu.

Wciąż niewystarczająca gotowość samorządu województwa do wdrażania gospodarki wodorowej, np. w komunikacji miejskiej, kolejowej.

Wciąż ograniczona liczba kluczowych odbiorców wodoru.

Brak przepisów prawnych jednoznacznie określających zasady budowy i zabezpieczania infrastruktury wodorowej.

Niewykorzystany potencjał współpracy międzynarodowej między dolinami lokalnymi i międzynarodowymi.

Brak stacji tankowania wodoru.

Bardzo wczesny etap rozwoju gospodarki wodorowej na świecie – brak sprawdzonych wzorców, dobrych praktyk i potwierdzenia zasadności tego kierunku rozwoju; ryzyko powstania „bańki wodorowej”.

Brak wdrożonej technologii produkcji wodoru z wody morskiej bez desalinizacji. Niedojrzałość – często wciąż nieopłacalność – innych technologii produkcji wodoru połączona z niepewnością co do ich skalowalności.

Szanse

Wsparcie Unii Europejskiej dla rozwoju gospodarki wodorowej i rola wodoru w planach dekarbonizacyjnych Unii Europejskiej

Rosnące zainteresowanie transportu ciężkiego, kolejowego oraz żeglugi napędem wodorowym.

Środki na rozwój gospodarki wodorowej przewidziane w Krajowym Planie Odbudowy i plany rozwoju gospodarki wodorowej przez państwo:

- Polska Strategia Wodorowa;
- Projekty tzw. konstytucji dla wodoru, które mają na celu usprawnienie rozwoju gospodarki wodorowej w Polsce;
- Wsparcie państwa dla energetyki na morzu zgodnie z projektem Krajowego Planu na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030 i Polityki Energetycznej Polski 2040.
- plany rozlokowania elektrowni jądrowej na Pomorzu.

Projekty dekarbonizacyjne i plany wykorzystania wodoru przez dużych graczy rynkowych, np. Orlen.

Plany rozwoju infrastruktury przesyłowej, np.:

- projekty rozwoju infrastruktury krajowej Gaz-Systemu;
- European Hydrogen Backbone.

Perspektywy eksportu nadwyżek, np. do krajów sąsiadujących – szczególnie zainteresowane importem wodoru są Niemcy.

Polityka klimatyczna Unii Europejskiej, presja ekonomiczna i prawna na szybką dekarbonizację gospodarki – szczególnie naciski na dekarbonizację biznesu, które mogą zwiększyć zainteresowanie rozwojem gospodarki wodorowej tych przedsiębiorców, którzy będą musieli wykazać swoim klientom zaangażowanie w redukcję śladu węglowego.

Zwiększenie zainteresowania kierunkami studiów związanymi z transformacją energetyczną wśród studentów – potencjał wypromowania się przez pomorskie uczelnie jako wiodące ośrodki akademickie w zakresie gospodarki wodorowej.

Postępy w efektywności technologii produkcji wodoru, które obniżają – i w przyszłości najprawdopodobniej będą nadal obniżać – koszt produkcji wodoru.

Planowane zmiany w polityce energetycznej Polski, decyzje o konsekwentnym odchodzeniu od rosyjskich surowców energetycznych. Plany rozwoju infrastruktury wodorowej przez państwo.

Rozwój energetyki prosumenckiej i lokalnych społeczności energetycznych.

Prognozowany utrzymujący się wysoki poziom cen energii w Polsce, który może napędzać zainteresowanie alternatywnymi źródłami.

Potencjał produkcji wodoru z biogazu/biometanu i turkusowego wodoru z gazu ziemnego przy wykorzystaniu terminali FSRU.

Zagrożenia

Brak spójnej polityki w zakresie sposobów i tempa odejścia od węgla. Możliwość ograniczenia tempa transformacji energetycznej ze względów politycznych.

Ewentualne wyjście Polski z Unii Europejskiej lub różnicowanie tempa integracji europejskiej, co mogłoby poważnie ograniczyć tempo transformacji energetycznej.

Tendencje centralizacyjne – dążące do ograniczenia samorządności – w państwie i potencjał przeniesienia ich na model rozwoju gospodarki wodorowej (scentralizowany zamiast rozproszony).

Zwiększenie uzależnienia rozwoju gospodarki wodorowej od decyzji politycznych i dotacji państwowych.

Dalsze blokowanie przez Komisję Europejską środków dla Polski (np. KPO), które mogłyby finansować transformację energetyczną, w tym rozwój gospodarki wodorowej.

Konkurencja ze strony zagranicznych dostawców wodoru (np. państwa bliskowschodnie, w których koszt wyprodukowania wodoru z OZE jest niższy).

Niepewności związane z kryteriami klasyfikowania wodoru jako zeroemisyjnego.

Konkurencja w przemyśle stoczniowym ze strony zagranicznych portów (np. problem rentowności niskoemisyjnych statków).

Ryzyka płynące z niejednoznacznej sytuacji bezpieczeństwa Polski, które mogą utrudnić rozwój gospodarki wodorowej:

- nasilające się konflikty u granic mogą zintensyfikować dezinformację dotyczącą transformacji energetycznej;
- perspektywa zakończenia rosyjskiej agresji na Ukrainę i nacisków zachodnich sojuszników Polski, zwłaszcza Niemiec, na powrót do współpracy surowcowej z Rosją, również w obszarze wodoru;
- rozwój projektów wodorowych w Ukrainie i zwiększone zainteresowanie importerów tamtym kierunkiem.

Opór mieszkańców lokalnych i ekoaktywistów przed budową farm wiatrowych (np. zabijanie ptaków i nietoperzy oraz wymieranie rzadkich gatunków ptaków).

Konkurencja dla wodoru ze strony alternatyw czy samochodów elektrycznych, które ostatecznie mogą doprowadzić do kolejnej „zimy wodorowej” – wstrzymania lub ograniczenia inwestycji ze względu na większą atrakcyjność inwestycyjną innych rozwiązań.

Udziałowiec mniejszościowy Rafinerii Gdańskiej, który nie gwarantuje rozwoju technologii wodorowych, gdyż posiada duże złoża ropy naftowej, która stanowi bezpośrednią konkurencję dla wodoru.

Ewentualne opóźnienia w budowie farm wiatrowych na morzu, a także perspektywa małego udziału polskiego biznesu w ich tworzeniu.

Przedłużanie się kryzysu gospodarczego, co powstrzymywałoby przedsiębiorstwa przed inwestycjami.

Możliwe konflikty przestrzenne wokół miejsc lokowania źródeł energii odnawialnej do produkcji wodoru.

Ograniczenie przestrzenne w produkcji energii odnawialnej do celów produkcji zielonego wodoru.

Potencjalne spory o sposoby wykorzystania energii elektrycznej z offshore'u.

Ryzyko konfliktów o wykorzystywanie wody do produkcji wodoru.

Analiza PESTLE

Polityczne

- Członkostwo Polski w Unii Europejskiej i polityka ukierunkowana na zmniejszenie śladu węglowego, a także rola, jaką wodór odgrywa w planach strategicznych Unii Europejskiej (Europejski Zielony Ład, Strategia Wodorowa EU, REPowerEU, Fit for 55).
- Strategiczne znaczenie wodoru w politykach transformacji energetycznej wielu krajów zachodu.
- Polityka władz polskich – i konsensus wokół niej – zmierzająca do ograniczania importu surowców energetycznych z Rosji.
- Brak konsensusu wśród wiodących sił politycznych w Polsce co do tempa dekarbonizacji i sposobów transformacji energetycznej.
- Wzrastająca świadomość znaczenia bezpieczeństwa energetycznego wśród decydentów.
- Świadomość potencjalnego znaczenia wodoru dla gospodarki Pomorza wśród różnych interesariuszy gospodarki wodorowej na Pomorzu.
- Plany rozwoju energetyki atomowej, farm offshore-owych, terminali FSRU

Ekonomiczne

- Środki finansowe na transformację energetyczną, zwłaszcza na budowę gospodarki wodorowej, przewidziane m.in. w ramach KPO (na technologie wytwarzania, magazynowania i transportu wodoru).
- Dążenia wiodących aktorów rynku energetycznego – Grupa Orlen, PGE Energetyka Kolejowa, PGE Energetyka Ciepła – i wiodących podmiotów lokalnego rynku (np. Port w Gdyni) do zmniejszania śladu węglowego.
- Oczekiwania zagranicznych partnerów biznesowych polskich przedsiębiorstw w zakresie obliczania śladu węglowego działalności gospodarczej związane

z trendem i regulacjami ESG oraz branie pod uwagę skali emisji w procesach decyzyjnych w biznesie.

- Lokalne programy i inicjatywy umożliwiające rozwój gospodarki wodorowej, np. Fundusze Europejskie dla Nowoczesnej Gospodarki, możliwości dofinansowania z Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR), Narodowego Centrum Nauki (NCN) oraz Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW).
- Zainteresowanie inwestowaniem w polski wodór podmiotów zagranicznych, plany dotyczące importu wodoru innych państw (zwłaszcza Niemcy).
- Dostępność atrakcyjnego cenowo wodoru z innych państw, w których koszt jego wytworzenia jest niższy, np. ze względu na warunki środowiskowo-klimatyczne.
- Ceny uprawnień do emisji CO₂ i system ETS.
- Kryzys energetyczny związany z agresją Rosji na Ukrainę, skutkujący zaburzeniami w ciągłości dostaw oraz niespotykaną wcześniej niestabilnością cen surowców energetycznych, przede wszystkim gazu.
- Zmiana struktury międzynarodowego rynku surowców i paliw.
- Reforma unijnego rynku energii, opartego na regule merit order.
- Rosnący popyt na energię elektryczną, związany m.in. z dekarbonizacją gospodarki (elektryfikacja wielu procesów technologicznych).
- Rosnące koszty energii oraz paliw.

Społeczne

- Świadomość i akceptacja społeczna co do konieczności dekarbonizacji gospodarki i transformacji energetycznej.
- Społeczny odbiór wodoru – jego bezpieczeństwa, przydatności w procesach dekarbonizacji i transformacji energetycznej, jego potencjału w rozwoju gospodarczym kraju i regionu.

- Coraz szersze postrzeganie gospodarki wodorowej jako „branży przyszłości”, wyrażone m.in. wzrastającym zainteresowaniem tematyką okołowodorową w ofercie edukacyjnej uczelni wyższych.
- Miejsce wodoru w regionalnych strategiach i planach transformacji gospodarczej.
- Ekosystem podmiotów gospodarczych, publicznych, naukowych zaangażowanych w rozwój gospodarki wodorowej.

Technologiczne

- Konieczność przestawienia produkcji z szarego wodoru na wodór bezemisyjny.
- Trend spadku cen zielonego wodoru, który zwiększa atrakcyjność biznesową branży.
- Potencjalny dostęp do technologii wytwarzania wodoru – farmy wiatrowe, energetyka jądrowa – na Pomorzu.
- Brak rozwiniętej infrastruktury dystrybucyjnej na Pomorzu.
- Projekty rozwoju infrastruktury przesyłowej – krajowe (Gaz-System) i międzynarodowe (np. European Hydrogen Backbone).
- Inicjatywy i fora współpracy ułatwiające integrację interesariuszy gospodarki wodorowej z różnych ogniw łańcucha wartości i ich ewentualną współpracę.
- Wdrożenia w zakresie technologii wodorowych.
- Szereg czynników technologicznych, który uwarunkuje rozwój gospodarki wodorowej w przyszłości, w szczególności: efektywność elektrolizy, sprawność magazynów wodoru, możliwość produkcji wodoru z wody morskiej, bezpieczeństwo technologii magazynowania i transportu wodoru, możliwość mieszania wodoru z gazem.

Prawne

- Międzynarodowe zobowiązania w zakresie dekarbonizacji i transformacji energetycznej

- Polska Strategia Wodorowa, Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030, Plan Rozwoju Elektromobilności.
- Brak szczegółowych regulacji prawnych, które ułatwiłyby procesy inwestycyjne w ramach gospodarki wodorowej, a także usprawniłyby realizację projektów.
- Regulacje dot. klasyfikacji wodoru jako zeroemisyjnego – dopuszczalność wodoru produkowanego z gazu przy użyciu CCS czy produkowanego z energii elektrycznej pochodzącej z elektrowni atomowej.

Środowiskowe

- Zmiany klimatu napędzające potrzeby dekarbonizacji i transformacji energetycznej.
- Warunki środowiskowe i geologiczne w województwie pomorskim.
- Dostępność wody do produkcji wodoru, zwłaszcza potencjał do produkcji wodoru z wody morskiej.

Część II – scenariusze

Scenariusze otoczenia

Poniższe scenariusze zarysowują cztery obrazy rozwoju gospodarki wodorowej do 2040 r., które:

- są różne od siebie wzajemnie;
- mają zbliżony poziom prawdopodobieństwa;
- nie mają ewidentnego nacechowania typu optymistyczny/pesymistyczny/średni;
- są realistyczne.

Scenariusze przedstawiają szerokie spektrum możliwych przyszłości rozwoju gospodarki wodorowej – zwracają uwagę na generalne uwarunkowania i wyzwania, z jakimi może zmagać się również gospodarka wodorowa na Pomorzu.

Scenariusz 1 – Wodór walczy o uwagę

Do 2040 r. gospodarka wodorowa rozwinęła się, ale wodór nie stał się kluczem do transformacji energetycznej; jest po prostu jednym z jej kilku elementów.

Jest on stosowany w transporcie ciężkim, ale nie jest to powszechne, bo część pojazdów porusza się dzięki paliwom syntetycznym, a kolej towarowa jest wciąż elektryfikowana. Wodór nie zajął też transportu osobowego – przeważającą część nowych pojazdów stanowią samochody elektryczne. Wodoru nie stosuje się również powszechnie w ciepłownictwie i przemyśle. Na rynku są dostępne ograniczone instrumenty wsparcia dla gospodarki wodorowej, a infrastruktura jest rozwijana przede wszystkim przez największych graczy rynkowych.



Polityczne

- Samorządy dysponują ograniczonymi instrumentami wsparcia gospodarki wodorowej.
- Władze są silnie nastawione na dekarbonizację, która przyspiesza.

Ekonomiczne

- Liczba odbiorców wodoru na rynku jest ograniczona.
- Kapitał zagraniczny jest zainteresowany inwestowaniem w polski wodór.
- Import wodoru z innych kierunków geograficznych nie jest atrakcyjny cenowo.

Społeczne

- Społeczeństwo wciąż obawia się wodoru.
- Społeczeństwo odczuwa koszty transformacji energetycznej, więc jest niechętnie jej przyspieszaniu. Nastawienie społeczeństwa częściowo ogranicza dekarbonizacyjne aspiracje decydentów.

Technologiczne

- Rozwijane są przede wszystkim europejskie sieci przesyłu wodoru.
- Efektywność elektrolizerów wzrosła, ale nie osiągnęła poziomu, który można byłoby określić przełomowym.

Prawne

- Cele dekarbonizacyjne są ambitniejsze w porównaniu do tych z 2023 r.
- Skutecznie wdrażana jest krajowa strategia dekarbonizacji gospodarki, w której wodór odgrywa ważną rolę, ale jest traktowany za ledwie jako jeden ze środków.

Środowiskowe

- Zmiany klimatu wymuszają dekarbonizację w jeszcze większym stopniu.
- Wskutek zmian klimatu znacząco pogorszył się problem z dostępem do wody w Polsce. W tej sytuacji zdecydowano, że wodór może być produkowany wyłącznie z wody morskiej.

Scenariusz 2 – Wodorowe eldorado zza szyby

Rzeczywistość w 2040 r. potwierdziła optymistyczne prognozy co do roli wodoru w transformacji energetycznej. Jest on nie tylko uważany za najlepsze paliwo do transportu ciężkiego, lecz także święci triumfy na rynku samochodów osobowych – większość nowo kupowanych pojazdów jest zasilanych nim. Wodór jest również stosowany w ciepłownictwie i kogeneracji. Ze względu na jego ogromne znaczenie istnieje szeroki system wsparcia dla gospodarki wodorowej i rozwinięta infrastruktura. To wodorowe eldorado zakłóca jednak jeden czynnik – technologie wytwarzania wodoru są drogie, oparte na zagranicznej myśli technicznej, co ogranicza konkurencyjność polskich podmiotów.

Polityczne

- Samorządy dysponują szerokimi instrumentami wsparcia rozwoju gospodarki wodorowej.
- Dekarbonizacja znacząco przyspieszyła i jest ambitniejsza niż w 2023 r.

Ekonomiczne

- Na rynku funkcjonuje wielu odbiorców wodoru.
- Kapitał zagraniczny jest zainteresowany przede wszystkim sprzedażą własnych technologii i finansowaniem inwestycji we własne technologie.



- Import wodoru z innych kierunków geograficznych jest atrakcyjny cenowo.

Społeczne

- Społeczeństwo nie tylko akceptuje wodór, lecz także uważa, że jest to jedna z największych szans polskiej transformacji energetycznej.
- Społeczeństwo silnie popiera dekarbonizację i uważa, że powinna ona nastąpić jak najszybciej.

Technologiczne

- Rozwija się i europejska, i polska infrastruktura przesyłowa.
- Efektywność elektrolizerów znacząco wzrosła.

Prawne

- Cele dekarbonizacyjne są znacząco bardziej ambitne niż najbardziej progresywne postulaty z 2023 r.
- Skutecznie wdrażana jest krajowa strategia dekarbonizacji gospodarki, w której wodór odgrywa kluczową rolę.
- System ETS obejmuje ciepłownictwo systemowe.

Środowiskowe

- Zmiany klimatu są znacznie bardziej dotkliwe, niż spodziewano się w 2023 r., wymuszają dekarbonizację w jeszcze większym stopniu.
- Nadzieje pokładane w produkcję wodoru z wody morskiej okazały się płonne, co w połączeniu z problemami z zasobami wody w kraju ograniczyło możliwości produkcji wodoru.

Scenariusz 3 – Wodór dla wybranych

W 2040 r. wodór jest stosowany wyłącznie w wybranych sektorach gospodarki, przede wszystkim w portach i transporcie ciężkim. Jest wytwarzany przez największe podmioty na rynku i dostarczany do wąskiej grupy odbiorców, przede wszystkim tych, którzy dekarbonizują się, bo wymagają tego od nich klienci zagraniczni.

Te uwarunkowania powodują, że możliwość zaistnienia w gospodarce wodorowej ściśle zależy od współpracy z dużymi podmiotami.

Polityczne

- Unia Europejska formalnie stała się „Europą wielu prędkości”, a polityka klimatyczna jest jednym z obszarów zróżnicowanej integracji.
- Samorządy nie posiadają instrumentów wsparcia gospodarki wodorowej.

Ekonomiczne

- Na rynku funkcjonuje stosunkowo niewielu odbiorców wodoru.
- Kapitał zagraniczny inwestuje w wodór wyłącznie w partnerstwach z największymi podmiotami.
- Import wodoru z innych kierunków geograficznych jest atrakcyjny cenowo.

Społeczne

- Społeczeństwo nie jest przekonane do wodoru – ma wątpliwości co do jego bezpieczeństwa.
- Społeczeństwo nie jest usatysfakcjonowane tempem dekarbonizacji, chciałoby szybszej, nawet kosztem wyrzeczeń.

Technologiczne

- Rozwój przesyłu w oparciu o istniejące gazociągi (brak inwestycji w rozbudowę infrastruktury).
- Wbrew nadziejom efektywność elektrolizerów nie wzrosła istotnie.

Prawne

- Cele dekarbonizacyjne zostały złagodzone.
- Polska posiada strategię dekarbonizacji gospodarki, ale jest ona powszechnie uważana za przestarzałą i nieodpowiadającą skali wyzwań.

Środowiskowe

- Zmiany klimatu generują coraz wyższe koszty.
- Ocena wpływu gospodarki wodorowej na środowisko nie jest już tak pozytywna – głównie dlatego, że na świecie wciąż produkuje się zbyt dużo wodoru szarego.

Scenariusz 4 – Wodorowe doliny, wodorowe społeczności

W 2040 r. trudno mówić o jednej gospodarce wodorowej. Są sektory, w których wodór stosuje się powszechnie (porty, transport ciężki). Jednak, co do zasady, jest on wytwarzany lokalnie i na potrzeby lokalnych społeczności i nisz rynkowych – tych, które się go nie obawiają. Zawiodły również ambitne plany rozbudowy infrastruktury przesyłowej – wciąż brakuje dobrej infrastruktury, którą wodór mógłby być transportowany.

Polityczne

- Unia Europejska tkwi w paraliżu decyzyjnym – niektórzy członkowie decydują się na jej opuszczenie.

- Wsparcie samorządowe dla rozwoju gospodarki wodorowej jest uzależnione od środków przyznawanych przez władze centralne.

Ekonomiczne

- Na rynku funkcjonuje sporo lokalnych odbiorców wodoru.
- Kapitał zagraniczny jest zainteresowany sprzedażą własnych technologii i finansowaniem inwestycji we własne technologie.
- Import wodoru z innych kierunków geograficznych nie jest atrakcyjny cenowo.

Społeczne

- Społeczeństwo obawia się wodoru – jest on postrzegany jako niebezpieczny wskutek wypadków, do których dochodziło w przeszłości.
- Społeczeństwo popiera aktualne – powolne – tempo dekarbonizacji, bo nie jest gotowe na większe wyrzeczenia.

Technologiczne

- Inwestycje w rozwój infrastruktury wodorowej zostały zahamowane w związku z obawami społeczeństwa, funkcjonują lokalne huby wodorowe.
- Efektywność elektrolizerów wydatnie wzrosła.

Prawne

- Brak strategii dekarbonizacji gospodarki.
- Brak zmian w zakresie celów dekarbonizacyjnych.

Środowiskowe

- Zmiany klimatu generują coraz wyższe koszty, jednak wciąż nie są one tak

wysokie, aby skłonić społeczeństwo do większych wyrzeczeń.

- Ocena wpływu gospodarki wodorowej na środowisko jest wciąż pozytywna.

Ceny wodoru, kwestia podaży i popytu

Istotne koszty transformacji wodorowej

W strategiach UE harmonogram transformacji energetycznej został rozłożony na 30 lat, co wynika z długości cyklu inwestycyjnego w przedsiębiorstwach infrastrukturalnych oraz czasu amortyzacji technologii bazowych. To ważna przesłanka dla autorów strategii wodorowych. Dopasowanie harmonogramu inwestycji do normalnego cyklu inwestycyjnego pozwala na uniknięcie generowania tzw. kosztów osieroconych będących skutkami zmian w prawie gospodarczym.

Szczególną uwagę należy poświęcić zadaniom wymagającym czasu i znaczących nakładów, co do których można zaliczyć np.:

- 1) zastąpienie źródeł wytwórczych zasilanych paliwami kopalnymi systemami OZE;
- 2) zastąpienie silników spalinowych urządzeniami zeroemisyjnymi,
- 3) wdrożenie procesów spalania i redukcji opartych na zielonym wodorze (eliminacja paliw kopalnych).

Inwestycje tego typu powinny być planowane i strukturyzowane ze świadomością i celem osiągnięcia poziomów kosztów określonych powyżej. W przeciwnym razie mogą stać się źródłem strat, które odbiją się na przedsiębiorstwach oraz możliwościach rozwojowych gospodarki lokalnej.

Czynnikami różnicującymi, które przesądzą o konieczności poszukiwania optymalnych lokalnie strategii wodorowych, są:

- 1) gęstość zaludnienia i jego zmienność terytorialna,
- 2) poziom rozwoju gospodarczego, a w szczególności infrastruktury sieciowej,
- 3) poziom energochłonności gospodarki,
- 4) regionalna specjalizacja gospodarcza,
- 5) stopień koncentracji działalności gospodarczej,

- 6) warunki klimatycznie,
- 7) ukształtowanie terenu,
- 8) otoczenie prawne wpływające na koszty OZE i GH2.

Koszty produkcji i dostawy energii elektrycznej

GH2 może być produkowany w procesie elektrolizy wody lub gorącej pary, ale **energia elektryczna musi pochodzić z zeroemisyjnego źródła energii, czyli z OZE lub elektrowni jądrowej.**

Współczesny elektrolizer potrzebuje od 50 do 60 kWh ee na wytworzenie 1 kg GH2. Ponieważ ciepło spalania 1 kg GH2 wynosi 39,4 kWh, sprawność procesu elektrolizy określana w procentach waha się w granicach 65-79 proc.

Z technicznego punktu widzenia koszt produkcji 1 MWh energii elektrycznej (ee) z OZE powinien spaść do poziomu poniżej 20 dol., a wynikający stąd koszt produkcji GH2 – do poziomu poniżej 2 dol./kg (czyli poniżej 50 dol. za MWh). Redukcja tych kosztów do wskazanych poziomów to główny i wymierny cel trwającej właśnie transformacji energetycznej. Jest realistyczny, gdyż oparty na prawach ekonomii skali i krzywych uczenia będących efektem postępu technologicznego wielkoseryjnej produkcji przemysłowej. W produkcji elektronicznej koszt jednostkowy produkcji spada o ok. 30 proc. przy każdym podwojeniu globalnej produkcji. W branżach mniej dynamicznych i o niższej spodziewanej stopie zwrotu, spadek kosztu jednostkowego może być mniejszy – np. 20 proc. przy światowym podwojeniu produkcji. Można to nazwać prawem, ale w swej istocie jest to mechanizm ekonomiczny wynikający z kosztów pieniądza inwestowanego w nową, bardziej efektywną technologię produkcji. Ponieważ znamy obecne koszty produkcji OZE i elektrolizerów oraz tempo inwestycji w rozwój produkcji, możemy oszacować, że koszty ee i GH2 spadną do wskazanych poziomów około roku 2040. W różnych gospodarkach tempo spadku tych kosztów będzie różne ze względu na różnice

w prawie gospodarczym i podatkowym. **Misją każdej lokalnej strategii wodorowej jest stała i jak najszybsza redukcja omawianych kosztów, aby zwiększyć, a przynajmniej utrzymać konkurencyjność lokalnej działalności gospodarczej.**

Cena zakupu ee zmienia się w bardzo szerokich granicach zarówno w ciągu doby, jak i w różnych porach roku. Przyczyną tych wahań jest fluktuacja popytu na ee. W obecnym systemie elektroenergetycznym elektrownie działają średnio ok. 50 proc. czasu. Jedne działają niemal ciągle, ale część z nich bardzo rzadko. Można to zilustrować stwierdzeniem, że statystycznie w Polsce jedna elektrownia o mocy 1 GW pracuje mniej niż godzinę rocznie. W praktyce oznacza to, że elektrownie rezerwowe oczekujące na szybkie włączenie w momencie szczytu popytu na ee przez większość czasu stoją w pogotowiu. Rolę tę pełnią głównie elektrownie gazowe, których mamy w Polsce ok. 4 GW. Koszt wybudowania elektrowni gazowej to suma ok. 2000 dol./kW zainstalowanej mocy. Dlatego rynek mocy, czyli mechanizm utrzymywania stabilności KSE (Krajowego Systemu Elektroenergetycznego), jest drogi. Konsekwencją tego sposobu działania sieci elektroenergetycznej są wielokrotnie wyższe ceny w szczytach popytu w relacji do średnich kosztów produkcji. W Polsce ceny hurtowe ee przekroczyły stabilnie poziom 110 Euro/MWh i są najwyższe w UE. To przekłada się na ceny energii dla przedsiębiorstw (por. w szczególności taryfy C). **To efekt monopolizacji i polityki blokowania rozwoju energetyki OZE.**

Mimo to już dzisiaj koszt techniczny produkcji ee z OZE jest niższy od analogicznego kosztu ee z węgla brunatnego i innych paliw kopalnych. Aby fakt ten przełożył się na niskie ceny ee dla użytkownika końcowego, konieczna jest zmiana systemu stabilizacji KSE – oparcie go na bilansowaniu obciążeniem. Obecny system stabilizacji jest oparty na założeniu, że większość popytu na ee nie może być przesunięta w czasie. To założenie już dzisiaj jest wątpliwe, a w gospodarce wodorowej ponad 90 proc. popytu na ee nie będzie krytyczna czasowo.

Prognozowany spadek kosztów produkcji ee z OZE to suma działania trzech czynników:

- 1) wzrost popytu na ee z OZE, uruchamiający ekonomię skali i powodujący dalszy spadek kosztów ee z OZE, aż do poziomu ok. 10 dol./MWh, – ciepłownictwo i klimatyzacja (oparte głównie na elektrycznych pompach ciepła) oraz elektromobilność i przemysł (elektryfikacja przemysłu – elektryfikacja 4.0),
- 2) likwidacja kosztów utrzymywania rynku mocy i pełne wykorzystanie całej zainstalowanej mocy wszystkich OZE,
- 3) radykalne zmniejszenie kosztów bilansowania sieci, gdyż bilansowanie obciążeniem może być realizowane przez ustanowienie wirtualnej sieci w ramach IIoT (przemysłowego internetu rzeczy), w której sterowanie urządzeniami pobierającymi prąd będzie się odbywać na podstawie taryf dynamicznych i innych sygnałów rynkowych, nadzorujących w sposób ciągły optymalne wykorzystanie zasobów KSE.

Tempo tego spadku zależy od jakości regulacji tworzących rynkowe relacje pomiędzy wszystkimi uczestnikami rynku energii i wodoru. **Samorządy lokalne mają do odegrania kluczową rolę w tym procesie, gdyż produkcja wodoru i bilansowanie największym obciążeniem będą najtańsze, gdy będą realizowane lokalnie.**

Zgodnie z szacunkami raportów znajdujących się w dyspozycji MKiŚ oraz danych pochodzących z polskiej strategii wodorowej, Polska będzie potrzebować po roku 2040 ok. 10 mln t zielonego wodoru. Do osiągnięcia takiego poziomu produkcji potrzeba ponad 500 TWh ee (obecna produkcja ee brutto to niecałe 180 TWh). To oznacza, że w gospodarce wodorowej popyt na ee będzie tak duży, że popyt krytyczny czasowo spadnie do poziomu poniżej 10 proc. rocznego zapotrzebowania na ee. Zatem odpowiedni miks energii wiatrowej, słonecznej i wodnej pozwoli na całkowite

zaspokojenie popytu na wodór i ee, bez konieczności utrzymywania rynku mocy.

Upraszczając, istota nowego systemu polega na tym, że:

- do produkcji GH2 potrzebujemy tak dużo OZE, że nawet w dolinach podaży – w nocy, zimą przy słabym wietrze będzie dostatecznie wysoki poziom mocy w KSE, że zaspokojony będzie popyt krytyczny czasowo,
- przez większość czasu podaż ee będzie wielokrotnie wyższa od popytu krytycznego.

Zatem moc systemów OZE powinna zapewniać zaspokojenie krajowego popytu na GH2 oraz pozwalać na eksport do krajów o wyższych kosztach produkcji. Wtedy system bilansowania obciążeniem na uniknięcie istotnych kosztów magazynowania energii elektrycznej w akumulatorach elektrochemicznych. **W tym scenariuszu wzrostu produkcji GH2 Polska znalazłaby się w grupie krajów o najwyższym poziomie gospodarki wodorowej.**

Na cenę zakupu ee składa się koszt samej ee, jak i jej dostawy do elektrolizera. Generalnie można stwierdzić, że najniższe koszty techniczne wytwarzania ee mają elektrownie fotowoltaiczne, wiatrowe i wodne. Jednak lokalne uwarunkowania polityczne, prawne, klimatyczne i techniczne powodują, że ee z OZE jest trudno dostępna i znacznie droższa, niż wynika to z poziomu kosztów technicznych. Główną przyczyną tego stanu rzeczy jest słabość rynku energii i zacofania technologicznego sieci elektroenergetycznych. Brak cyfryzacji tych sieci utrudnia inwestycje w OZE, gdyż ich efektywne wykorzystanie systemowe wymaga przejścia na system bilansowania sieci oparty na sterowaniu obciążeniem. System ten powinien działać już na poziomie lokalnym, by lokalne wahania podaży ee z OZE kompensowane były regulacją popytu i w niewielkim stopniu obciążały system bilansowania KSE.

Na koniec rozważań o możliwościach redukcji kosztów ee jako sposobu na redukcję kosztów produkcji GH2 należy podkreślić rolę cyfryzacji. **Obecna transformacja**

technologiczna energetyki jest stymulowana przez megatrend zwany cyfryzacją.

Współczesne systemy OZE to produkty elektroniki, technologii informacyjnych i teleinformatyki. Możliwość cyfrowego i bezobsługowego sterowania obciążeniem systemu jest możliwe tylko poprzez sieć teleinformatyczną klasy przemysłowej (dzisiaj 5G, a po roku 2030 6G). Obiekty sterowane to odbiorniki energii elektrycznej sterowane poprzez interfejsy IoT. Zatem cały system bilansowania obciążeniem to sieć cyfrowa klasy przemysłowej.

Cyfryzacja to również proces społeczny prowadzący do zmiany stosunków społecznych, w tym do wzrostu znaczenia gospodarczego społeczności lokalnych. Dlatego budowa gospodarki wodorowej jako jeden z nurtów cyfryzacji będzie w istotnej części zależeć od kultury i kompetencji społeczności lokalnych.

W niniejszym dokumencie przedstawiliśmy 4 scenariusze rozwoju gospodarki wodorowej. W czwartym, „Wodorowe doliny, wodorowe społeczności” do roku 2040 nadrobimy czas w zakresie modernizacji elektroenergetyki i przygotujemy się kompetencyjnie i infrastrukturalnie do rozpoczęcia dekady wyścigu mającego na celu komercjalizację produktów i technologii zasilanych wodorem w tempie, które pozwoli w roku 2050 znaleźć się w gronie krajów najwyżej rozwiniętych, neutralnych dla środowiska, dysponującymi własną infrastrukturą pozwalającą na zasilanie całej gospodarki w energię po konkurencyjnych kosztach.

Scenariusz 4 jest oparty na następujących fundamentach, które są atutami:

- 1) mamy bardzo korzystne warunki wiatrowo-słoneczne, które pozwalają na opłacalne inwestycje w OZE i szybką redukcję kosztów produkcji i dystrybucji ee;
- 2) potencjał energetyczny dla OZE mamy wsparty istniejącym już popytem na wodór (w roku 2021 wyprodukowaliśmy 1,3 mln t);

- 3) mamy dostęp do rynków krajów najwyżej rozwiniętych co pozwala wykorzystać powyższe atuty do rozwoju własnej bazy produkcji wodoru i osiągnięcia samowystarczalności w tym zakresie;
- 4) powyższe trzy atuty tworzą fundament dla projektu strategicznego, jakim powinna być budowa bezpieczeństwa energetycznego regionu.

W pozostałych trzech scenariuszach będzie trudno osiągnąć ten cel, głównie ze względu na bariery polityczne, społeczne i kompetencyjne, których nie zdołamy pokonać. **Będzie to miało negatywny wpływ na poziom cen wodoru, które – w przypadku cen detalicznych dla wodoru czystego – mogą wahać się w przedziałach od 3 do 7 dol./kg. Takie uwarunkowania oznaczałyby, że bardzo trudno byłoby zbudować lokalnie rozwiniętą gospodarkę wodorową. Utrzymanie konkurencyjności gospodarki byłoby w tych warunkach związane – co do zasady - z importem GH₂ z krajów, które lepiej zrealizowały swoje strategie wodorowe.**

Popyt na wodór produkowany ze źródeł zeroemisyjnych

Idea zastąpienia paliw kopalnych wodorem pozyskiwanym z OZE powstała już 20 lat temu. Przeprowadzone badania podstawowe, opracowane technologie produkcji oraz opracowane koncepcje przestawienia gospodarki zależą głównie od uwarunkowań lokalnych wymienionych powyżej oraz kosztów rozwiązań alternatywnych. Przykładowo, jeszcze 20 lat temu wydawało się, że wodór będzie używany do magazynowania energii oraz zasilania i ogrzewania nieruchomości. Dzisiaj elektryfikacja z wykorzystaniem OZE oferuje bardziej efektywne energetycznie i ekonomiczniejsze rozwiązania. Jednak spadek kosztów GH₂ do poziomu 1 dol./kg i rozwój stacjonarnych ogniw paliwowych opartych na membranach ceramicznych (SOFC), mogą spowodować powrót do poprzedniej koncepcji.

Przechodząc od przekładów do bardziej ogólnych aspektów techniczno-ekonomicznych, można stwierdzić, że popyt na GH₂ będzie rósł wraz z:

- rozwojem zasilanych wodorem środków transportu;
- wymianą linii i procesów produkcyjnych na nowe, wykorzystujące wodór;
- wchodzeniem w życie regulacji ograniczających i zakazujących korzystania z paliw kopalnych, odchodzeniem od gazu, przyspieszonym przez przyjęty po agresji Rosji na Ukrainę REPowerEU.

Cena detaliczna 1 kg GH₂ o czystości (99,999 proc.) w Polsce kształtuje się na poziomie 70 zł/kg GH₂ brutto (>14 euro brutto). Jest to suma kosztów ee, amortyzacji linii produkcyjnej oraz kosztów sprężania i dystrybucji GH₂. Cena 1 kW elektrolizera waha się od 500 do 2000 dol. i zależy od konkretnej technologii i wielkości instalacji. Najniższe koszty jednostkowe mają elektrolizery alkaliczne o mocy powyżej 100 MW, a najdroższe są elektrolizery o mocy 1 MW produkujące wodór o najwyższej czystości. Wodór o najwyższej czystości potrzebny jest do zasilania ogniw paliwowych z membranami typu PEM. Ogniwa paliwowe wytwarzają z wodoru energię elektryczną ze sprawnością wyższą niż silniki spalinowe, więc służą do zasilania silników elektrycznych w pojazdach transportu kołowego (ciężarówki, autobusy, lokomotywy, ciągniki), których masowa produkcja właśnie rusza, w tym również w Polsce. Trzeba przyjąć, że rozwinie się również produkcja wodorowych samochodów dostawczych przeznaczonych do przewozów towarów i osób na duże odległości, jeśli koszty te staną się niższe od kosztów realizacji tych zadań pojazdami elektrycznymi z elektrochemicznymi magazynami energii.

Do prawidłowej oceny popytu na GH₂ przeznaczonego do zasilania środków transportu trzeba przyjąć, że 40-tonowy ciągnik z naczepą (popularnie określany jako TIR), zużywa ok. 40 l oleju napędowego na 100 km. Analogiczny zestaw napędzany wodorem będzie zużywał ok. 12 kg GH₂. TIR-y dalekiego zasięgu posiadają zbiorniki paliwa o pojemności do 1500 l, co oznacza, że mogą realizować usługi transportowe, tankując paliwo tam, gdzie jest tańsze. Zbiorniki na wodór nie pozwalają

na pokonywanie tak dużych odległości bez tankowania. To oznacza konieczność rozproszenia stacji tankowania.

Przy planowaniu miejsc i infrastruktury do ładowania i tankowania wodorem samochodów elektrycznych, należy stale brać pod uwagę, że samochód osobowy z napędem wodorowym potrzebuje od 0,8 do 1 kg GH₂ na 100 km. Analogiczny samochód z napędem elektrycznym zasilany z akumulatora potrzebuje od 15 do 20 kWh na 100 km. Obecnie ceny obu typów samochodów o podobnej jakości i wielkości są podobne. Zatem o decyzjach konsumenckich będą decydować takie parametry, jak sposób użytkowania i liczba samochodów w rodzinie. Przejazdy lokalne (tzw. wokół „komina”) będą obsługiwane przez samochody bateryjne. Samochody wodorowe będą tak długo istotną częścią rynku, jak długo nie nastąpi przynajmniej 10-krotnie zwiększenie gęstości wagowej energii w bateriach. Samochody wodorowe mogą odejść do historii dopiero, gdy gęstość ta przekroczy umowny poziom 5 kWh/kg akumulatora. Dla porównania, gęstość wagowa energii w benzynie wynosi ponad 11 kWh/kg. Wiedza ta pozwala na systematyczne dopasowywanie sieci stacji ładowania i tankowania do struktury lokalnego popytu na energię elektryczną i wodór.

Przygotowując program przechodzenia na wodór, trzeba wziąć pod uwagę, że w okresie do roku 2030 rozwijać się będzie głównie produkcja wodorowych autobusów i ciężarówek, bo już teraz mają przewagę technologiczną i eksploatacyjną nad rozwiązaniami opartymi na bateriach akumulatorów elektrochemicznych. Ten rozwój będzie zwiększał popyt na wodór o najwyższej czystości.

Ciepło opałowe wodoru wynosi 33,3 kWh/kg i jest znacznie niższe od ciepła spalania (39,4 kWh/kg), więc używanie go w ciepłownictwie może mieć ograniczoną racjonalność. W strukturze sieci stabilizowanej obciążeniem magazynowanie wodoru celem późniejszego przetworzenia na ee oddawaną do systemu też nie wygeneruje istotnego popytu. Wydaje się, że najszybciej będzie rósł popyt na GH₂ o niższej czystości, potrzebny w procesach wysokotemperaturowych. Można go produkować

w elektrolizerach alkalicznych. Będzie używany w petrochemii, przy produkcji nawozów sztucznych, cementu i w zakładach metalurgicznych. W tych sektorach popyt już jest i będzie dynamicznie rósł, aż do całkowitego przejścia tych branż na GH2.

Dlatego każde województwo powinno w pierwszej kolejności zinwentaryzować zakłady korzystające z energochłonnych technologii.

Obecnie w Europie cena detaliczna wodoru sprężonego do ciśnienia 700 barów, wynosząca 70 zł/kg (15 euro/kg), jest wypadkową kosztów produkcji oraz koncepcji rozwoju gospodarki wodorowej, jaką realizują firmy, które zaangażowały się w budowę sieci stacji tankowania wodoru do samochodów.

Aby zilustrować skalę wyzwania, podamy kilka przykładów liczbowych. Petrochemia Gdańska komunikuje, że planuje rozwój produkcji wodoru do poziomu pow. 1 mln t z perspektywą podwojenia tej produkcji do roku 2040. Polska produkuje ok. 8,5 mln t stali. Przejście na wodór oznacza, że na wytop każdej tony nowej stali potrzebne jest ok. 90 kg, a do produkcji stali w oparciu o złom ok. 50 kg na każdą tonę. To oznacza, że przestawienie polskich stalowni na wodór wygeneruje popyt na poziomie ponad 0,5 mln t GH2 rocznie. Przystawienie produkcji nawozów sztucznych na wodór również wygeneruje popyt na poziomie ok. 0,5 mln t GH2. Jest on istotnie niższy w elektrolizerach dużej mocy. Ocenia się, że popyt na elektrolizery jest obecnie zaspokojony na poziomie poniżej 10 proc. Jest to rynek producenta. Wraz ze wzrostem skali produkcji światowej cena ta będzie spadać do poziom ok. 100 dol./kW po roku 2050. **Spadek cen ee i jej dystrybucji oraz cen elektrolizerów będzie odbywał się współbieżnie, co oznacza, że koszt ee do roku 2050 będzie nadal głównym składnikiem kosztów produkcji GH2.** Wraz ze wzrostem skali produkcji GH2 spadać będą koszty sprężania i dystrybucji.

Koszty dystrybucji zielonego wodoru

Ponieważ całkowity koszt (LCOE – Levelised Cost of Energy) przesyłu jednostki energii w postaci ee jest znacznie niższy niż koszt przesyłu równoważnej ilości energii w postaci GH₂, warunkiem redukcji kosztów jego produkcji jest lokalizacja w pobliżu OZE. Istotnym konsumentem GH₂ będą samochody ciężarowe, więc popyt na wodór będzie również rozproszony.

Aby koszty dystrybucji wodoru jak najmniej obciążały jego cenę detaliczną, rodzaj transportu (ciężarówka lub rurociąg), poziom ciśnienia i miejsce sprężania powinny być dopasowane do wolumenu dziennego zapotrzebowania, dystansu oraz ciśnienia potrzebnego użytkownikowi. Koszty sprężania GH₂ są również ściśle powiązane z cenami energii elektrycznej. Skroplenie wodoru wymaga obecnie min. 12 kWh/kg, natomiast rozwój tej technologii pozwoli na dwukrotną redukcję tej energii. Sprężenie do ciśnienia 700 bar wymaga ok. 3 kWh/kg, a do ciśnienia 350 bar – ok. 2 kWh/kg. W oparciu o te dane można prowadzić stały monitoring wpływu tych kosztów na końcową cenę wodoru.

Dopasowanie technologii transportu i dystrybucji do uwarunkowań lokalnych będzie miało decydujący wpływ na konkurencyjność wodoru generowanego lokalnie wobec wodoru przywożonego z innych miejsc produkcji.

Erozja cen wynikająca z krzywych uczenia

W analizie porównawczej różnych ścieżek wzrostu wskazano, że tempo redukcji kosztów wielkoskalowej produkcji seryjnej jest pochodną mechanizmów wpływających na podejmowanie decyzji inwestycyjnych. Pojedyncze decyzje są wynikiem dominującego lokalnie poglądu o przyszłości danej technologii i średniego oczekiwanego czasu zwrotu z inwestycji, ale średnia światowa tych decyzji zależy od globalnego poziomu konkurencyjności danej branży.

Inwestycje w szybko zmieniającym się otoczeniu technologicznym bardzo konkurencyjnej branży (do takich należą m.in. informatyka, elektronika, usługi wirtualne) uważane są za ryzykowne. W tym wypadku decyzje inwestycyjne podejmowane są w oparciu o prognozy max. 5 lat, więc decyzja o inwestycji w nową technologię jest podejmowana wtedy, gdy oczekiwany wzrost produktywności z inwestycji w konkretną technologię jest znaczny, a popyt głęboko niezaspokojony. W tego typu branżach tempo spadku kosztów produkcji jednostkowej może przekroczyć nawet 30 proc. przy każdym podwojeniu globalnej skali produkcji.

W branżach o długim oczekiwanym czasie zwrotu i niskim poziomie konkurencyjności, inwestycje w nowe technologie podejmowane są rzadziej, głównie z powodu zużycia istniejącego parku maszynowego lub istotnego przełomu technologicznego. Są to na ogół branże kapitałochłonne, o wysokim progu wejścia na rynek i niskim poziomie konkurencyjności m.in. ze względu na wysoki poziom uzależnienia od polityki danego państwa i regionu. W tego typu branżach, redukcja kosztów jednostkowych produkcji kształtuje się na poziomie poniżej 20 proc. przy każdym podwojeniu produkcji.

Nie można tego mechanizmu ująć w prawo opisywane wzorem matematycznym, gdyż nawet w skali globalnej na sumę decyzji inwestycyjnych wpływają czynniki niepoddające się opisowi matematycznemu, jak ogólna atmosfera polityczna świata, poziom ufności, wielkość i znaczenie globalne konfliktów społecznych, nastrojów itp.

W wypadku inwestycji w projekty niemające cech produkcji seryjnej bardzo często koszt produkcji jednostkowej w kolejnych projektach jest coraz wyższy. Z taką sytuacją mamy do czynienia np. z inwestycjami w wielkie elektrownie jądrowe. Wiedza ta jest główną przyczyną dużego zainteresowania możliwościami uruchomienia reaktorów typu SMR i MMR, gdyż otwiera to możliwość uruchomienia produkcji seryjnej.

Oprócz ewolucyjnej redukcji kosztów produkcji zdarzają się też skokowe zmiany sytuacji wynikające ze zdarzeń nagłych (rewolucje, wojny światowe, wielkie przełomowe

wynalazki), czyli takich, które w bardzo krótkim czasie zmieniają modele biznesowe lub/i reguły gry rynkowej.

Koncepcja systemowego zastąpienia paliw kopalnych wodorem elektrolitycznym jest również bardzo stara. Nie dokonano w dziedzinie technologii produkcji wodoru w OZE odkrycia, które można byłoby nazwać przełomowym. Komercjalizacja technologii produkcji ee z OZE (energii wiatru i promieniowania słonecznego – turbiny wiatrowe i elektrownie PV) trwa już kilkadziesiąt lat. Nie dysponujemy też żadną nową wiedzą, które inspirowałaby do prac nad przełomową technologią produkcji wodoru lub/i ee.

Dlatego prognozowanie erozji cen wodoru w oparciu o krzywe uczenia związanych z rozwojem ewolucyjnym znanych już technologii produkcji ee i wodoru elektrolitycznego jest jedyną uzasadnioną metodą.

We wszystkich czterech scenariuszach należy korzystać z mechanizmów określających stromość krzywych, dość precyzyjne wiążący koszt jednostkowy produkcji wodoru z globalną skalą jego produkcji w oparciu o OZE.

Jednak naniesienie tej wiedzy na oś czasu obarczone jest błędem wynikającym z trudnych do przewidzenia zmian społecznych i politycznych. Mówiąc wprost, zmienne polityczne (np. brak wystarczającego wsparcia dla dekarbonizacji) czy społeczne (np. obawy o „wybuchowość” wodoru) – przedstawione w scenariuszach – mogą w istotny sposób zaważyć na ilościowych prognozach, czynionych wyłącznie na podstawie czynników technicznych.

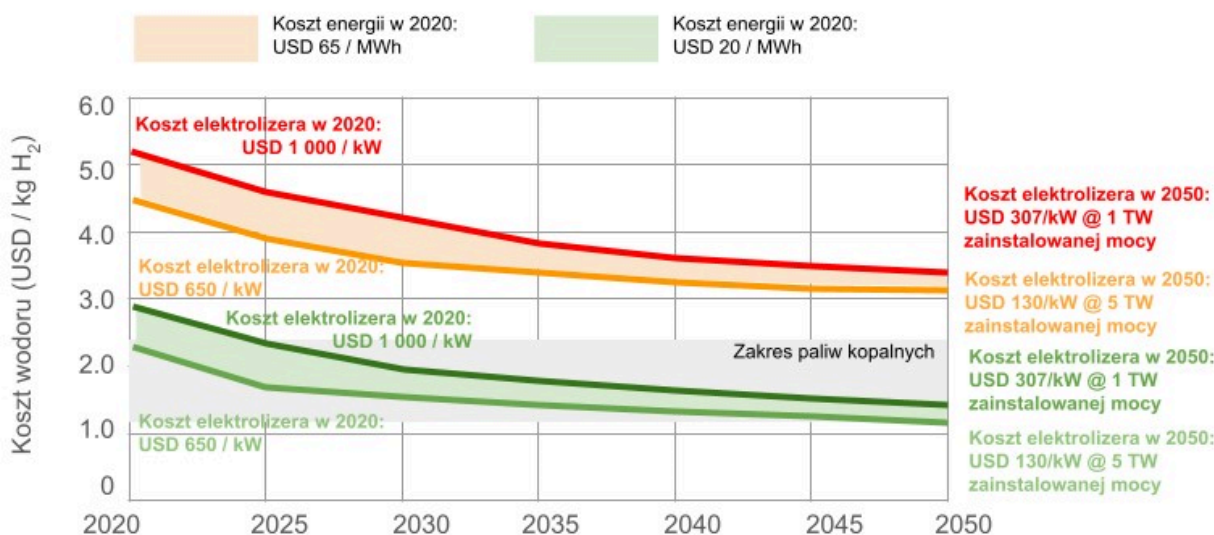
Transformacja energetyczna jest nieuchronna, natomiast jej tempo może być zmienne i bardzo różne. Proces transformacji energetycznej wspomagany jest przez systemy innowacji i politycznie przyspieszane inwestycje w nową sieć infrastruktury energetycznej. Tempo inwestycji w gospodarkę wodorową i energetykę opartą na OZE zależą będzie od wielu czynników, z których trzy najważniejsze to:

- katastrofa klimatyczna,

- katastrofa środowiskowa objawiająca się m.in. wymieraniem gatunków,
- zagrożenia wynikające z rodzaju i nasilenia konfliktów w polityce światowej, wojen, uzależnienia państw wysokorozwiniętych od państw – głównych dostawców paliw kopalnych itp.

Przedstawione powyżej scenariusze rozwoju gospodarki wodorowej różnią się głównie różnymi uwarunkowaniami polityczno-społecznymi. Zakładają różne tempo i skalę reakcji na trzy grupy zagrożeń. Percepcja społeczna zagrożeń w większym stopniu zależy od dynamiki ich narastania, a w mniejszym od poziomu zagrożenia dla naszej egzystencji w perspektywie okresowej. Dlatego największy wpływ na zmiany tempa inwestycji w gospodarkę wodorową będzie miała ich dynamika. Różnice w tempie zmian otoczenia prawnego i technicznych kosztów produkcji, i wynikające stąd zmiany modeli biznesowych (ekonomicznych), są (i będą w najbliższych dwóch dekadach) pochodną trudno przewidywalnych procesów społecznych i politycznych.

Wykres 16. Erozja kosztów produkcji wodoru w miarę wzrostu skali produkcji elektrolizerów



Źródło: IRENA (2020), *Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

Powyższy wykres ilustruje ramy erozji kosztów produkcji wodoru w miarę wzrostu skali produkcji elektrolizerów. Zawiera on informację, że uruchomione już inwestycje w produkcję seryjną elektrolizerów pozwolą na zaspokojenie popytu. Obecne ceny elektrolizerów oderwały się od kosztów produkcji tych urządzeń, gdyż popyt na nie wielokrotnie przekracza podaż. Stan ten ulegnie stabilizacji najpóźniej do roku 2030, co będzie efektem rozpoczętych inwestycji w nowe moce produkcyjne. Jeśli w roku 2030 popyt będzie wyższy od prognozowanego, to ceny te będą nieco wyższe, a jeśli będzie nadpodaż, to będą nieco niższe od tych na wykresie. **Wykres 16. jest również ilustracją faktu, że koszt wodoru w większym stopniu zależy od ceny energii elektrycznej niż od cen elektrolizerów.** Warto zwrócić uwagę, że w wielu krajach koszt produkcji ee z OZE już kształtuje się na poziomie 30 dol./MWh.

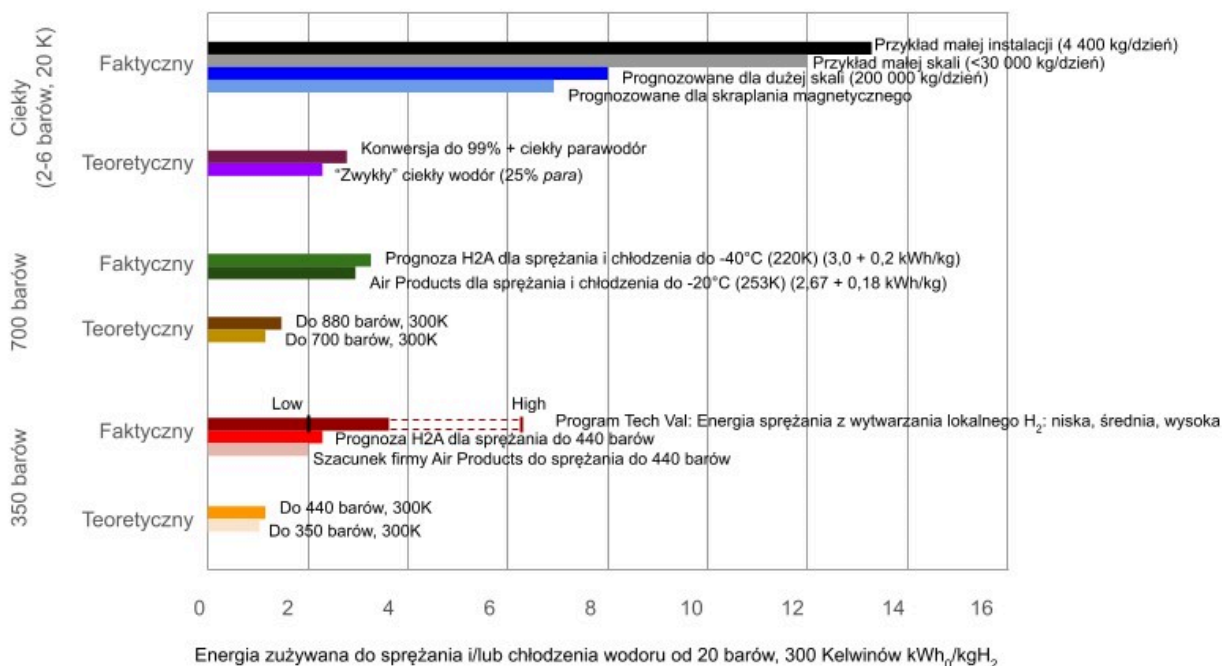
Zatem po zakończeniu inwestycji w nowy system bilansowania, mogą już przed rokiem 2030 wejść w strefę kosztów produkcji wodoru z gazu w procesie reformingu parowego.

Województwo pomorskie ma bardzo korzystne warunki lokalne (wietrzność) i ekonomiczne (popyt lokalny generowany przez petrochemię, cementownię oraz porty) pozwalające na szybki rozwój gospodarki wodorowej. Głównym problemem jest blokada polityczna nałożona na inwestycje w OZE i i systemy bilansowania obciążeniem. Największy wpływ na koszt produkcji wodoru w województwie pomorskim będzie miała polityka rozwoju sieci elektroenergetycznych. Wynikiem obecnej polityki jest całkowite zablokowanie innowacyjnych kierunków rozwoju tych sieci, co spowodowało, że cena hurtowa ee w Polsce podniosła się do poziomu 110 Euro, podczas gdy w np. w Danii wynosi 65 euro i w wyniku realizowanej przez ten kraj polityki energetycznej spadnie do roku 2040 do poziomu ok. 20 dol./MWh. Są też kraje, w których ten poziom osiągnięto już w 2020 r.

Obecnie przy koszcie ee 65 Euro/MWh koszt GH2 to ok. 6 Euro/kg. Przy koszcie energii na poziomie 90 Euro, koszt GH2 to ok. 10 euro/kg. Cena detaliczna na stacjach GH2 wynosi 69 zł/kg.

Jeśli rząd Polski zainwestuje w wielkie elektrownie jądrowe, z której LCOE będzie co najmniej 130 dol./MWh, to jednostkowe koszty bilansowania obciążeniem będą w Polsce będą znacznie wyższe niż w UE. W konsekwencji ceny ee z OZE będą znacznie wyższe niż w UE. To tworzyłoby ryzyko, że po 2035 roku produkcja wodoru w Polsce byłaby nieopłacalna, więc polski przemysł musiałby przestawić się na wodór z importu, a w konsekwencji konkurencyjność Pomorza spadłaby. W tym scenariuszu Polska stałaby się importerem wodoru.

Wykres 17. Energia zużywana do sprężenia i/lub chłodzenia wodoru od 20 barów, 300 Kelwinów kWh/kgH₂



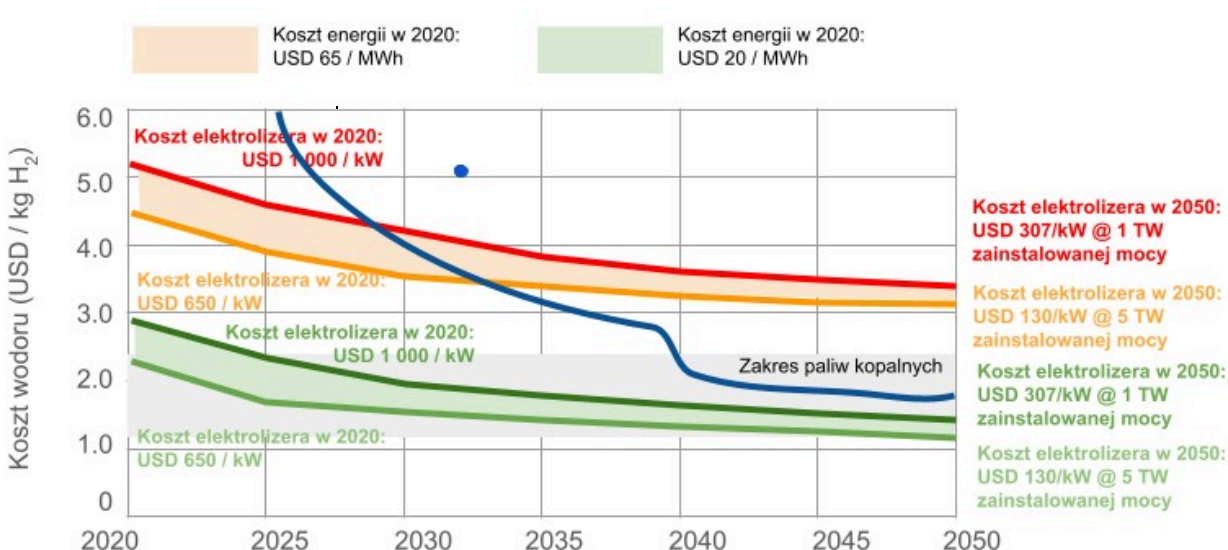
Źródło: Energy requirements for hydrogen gas compression and, liquefaction as related to vehicle storage needs, DOE Hydrogen and Fuel Cells Program Record.

Spadek kosztów ee to również spadek kosztów sprężenia i/lub skraplania wodoru (stanowi głównych składnik kosztu transportu masowego). Koszty transportu GH₂ będą spadać w podobnym tempie jak koszty produkcji. Jeśli różnice kosztów ee w poszczególnych krajach UE będą rosnąć, to opłacalny stanie się import wodoru. Jeśli w roku 2040 w kraju sąsiednim koszt produkcji wodoru spadnie do poziomu 2,5 dol./MWh, to jego cena w Polsce będzie na tyle niska, by był konkurencyjny w stosunku do technologii paliwowych. **To oznacza, że mimo wadliwej polityki energetycznej, maksymalne opóźnienie rozwoju gospodarki wodorowej**

w stosunku do najwyżej rozwiniętych krajów UE nie przekroczy 10 lat (jeśli Polska nadal będzie jej członkiem).

Powyższe informacje pozwalają nakreślić krzywą spadku kosztów cen GH2 w województwie pomorskim do 2040, jak również do roku 2050, co przedstawia poniższy wykres.

Wykres 18. Prognoza spadku cen wodoru w województwie pomorskim (i potencjalnych wahań, wywołanych np. negatywnym wpływem czynników społeczno-politycznych) nałożona na erozję kosztów produkcji wodoru w miarę wzrostu skali produkcji elektrolizerów



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z IRENA (2020), *Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi

Jak wspomnieliśmy, zaburzenia dla wyrysowanej krzywej mogą pochodzić z szeregu czynników społeczno-politycznych, które będą zaburzały czysto techniczne dominanty cen GH2 w województwie pomorskim.

Scenariusze gospodarki wodorowej na Pomorzu

Poniższe scenariusze obrazują **możliwe kształty gospodarki wodorowej na Pomorzu w przedstawionych wyżej scenariuszach otoczenia i przy obecnym potencjale województwa pomorskiego**, zdefiniowanym na wcześniejszych etapach projektu. Są one ekspercką analizą tego, co wydaje się najbardziej prawdopodobne w takich uwarunkowaniach, nie zaś dążeniem do przedstawienia najbardziej pożądanego stanu. Wartością scenariuszy ma być **wzmocnienie procesu rekomendacyjnego** – zwrócenie uwagi na to, co województwo pomorskie powinno zrobić, aby w takich scenariuszach otoczenia zbudować gospodarkę wodorową w regionie, na jakich silnych stronach powinno oprzeć swoje działania, a jakie słabe strony wyeliminować. **Celem procesu scenariuszowego** jest zatem wsparcie procesu wypracowywania rekomendowanych działań dla województwa pomorskiego, które będą jak najmniej podatne na zmienne okoliczności zewnętrzne – wskazanie inicjatyw niezbędnych do budowy fundamentów gospodarki wodorowej.

W związku z tym **każdy ze scenariuszy musiał stanowić jakieś wyzwanie dla województwa pomorskiego**, musiał stawiać przed władzami samorządowymi problem, który należałoby rozwiązać. Warto również wyraźnie podkreślić, że choć scenariusze opisują stan bazowy – wpisują się w scenariusze otoczenia i przekładają zarysowane w nich warunki na województwo pomorskie – celem strategii powinno być wykroczenie „poza nie” – zaprojektowanie działań, które umożliwią realizację scenariuszy jak najbardziej korzystnych z punktu widzenia województwa pomorskiego.

Scenariusz 1 – Wodór w Pomorskiem walczy o uwagę

W 2040 r. wodór odgrywa ograniczoną rolę w gospodarce Pomorza. Jest to pokłosie jego wciąż zbyt wysokiej ceny. Na ten stan rzeczy złożyło się kilka szczegółowych czynników. Po pierwsze, rozwój OZE był hamowany brakiem inwestycji w cyfryzację

sieci i ochroną inwestycji w wielką elektrownie jądrowe (co zdecydowało o wysokich kosztach produkcji wodoru). Po drugie, prawo utrudniło inwestycje kapitału prywatnego i obywateli w OZE i cyfryzację sieci lokalnej, a więc również w system elektrolizy wodoru, magazynowania i lokalnego bilansowania sieci elektroenergetycznej obciążeniem. Po trzecie, ograniczono prawnie możliwości rozwoju lokalnych społeczności energetycznych i energetyki obywatelskiej. Po czwarte, brak możliwości rozwoju lokalnej energetyki, zwiększył poziom lokalnej apatii, spowolnił rozwój powszechnych kompetencji energetycznych oraz utrwalił społeczny mit o wybuchowości wodoru. W konsekwencji, ograniczony postęp technologiczny i niski poziom cyfryzacji sieci, ograniczył możliwości wykorzystania produktywności technologicznej elektrolizerów i zahamował rozwój innowacyjności społeczności lokalnych.

W efekcie wodór w województwie pomorskim pochodzi przede wszystkim z morskich farm wiatrowych i jest wykorzystywany głównie w portach, przemyśle ciężkim, na lotniskach i w transporcie publicznym. Ważnymi odbiorcami wodoru są największe podmioty na rynku, które wykorzystują go zwłaszcza na własne potrzeby – to im jest też podporządkowane funkcjonowanie lokalnej doliny wodorowej. Na terenie województwa funkcjonują nieliczne wyspy energetyczne, oparte na lokalnej produkcji wodoru, ale ich udział w bilansie energetycznym jest niewielki. Na Pomorzu udało się zrealizować część projektów, o których debatowano w 2023 r. – przede wszystkim PDA Support, który ostatecznie zaowocował szerszym wykorzystaniem wodoru w transporcie publicznym, NeptHyne czy Hy-Way to Hel, a w porcie Gdynia powstał sprawnie funkcjonujący hub wodorowy. Wodór został też wdrożony w części gospodarki komunalnej (śmieciarki w miejskich zakładach oczyszczania).

Wodór jest produkowany z instalacji offshore, a lokalnie głównie z biomasy. Wciąż wytwarza się także dużo niebieskiego wodoru. Nie spełniły się jednak założenia co do możliwości produkcji wodoru z elektrowni jądrowej – energia, która z niej pochodzi, została całkowicie rozdysponowana w Krajowym Systemie

Elektroenergetycznym. Na terenie województwa istnieją też przedsiębiorstwa, które produkują wodór dzięki wykorzystaniu elektrolizerów, jednak utrudnieniem dla ich funkcjonowania – skutkującym zawężeniem tego rynku – są ograniczenia w dostępie do wody. Nierzadko zdarza się więc, że dla powodzenia przedsięwzięć wodorowych na Pomorzu niezbędna jest współpraca z partnerami zagranicznymi. W takich warunkach trudno zbudować lokalny łańcuch wartości gospodarki wodorowej, który obejmowałby jej wszystkie ogniwa.

To, że wodór nie stał się kluczem do transformacji energetycznej, położyło się cieniem na infrastrukturze przesyłowej. Pomorze, co prawda, znajduje się na trasie wodorociągu z Finlandii, jednak nie mogło liczyć na rozbudowę krajowej infrastruktury w pomyślny dla siebie sposób – została ona zaprojektowana tak, aby przede wszystkim spełniać potrzeby największych podmiotów na rynku. Brakuje regionalnej sieci dystrybucji wodoru, która dostarczałaby ten gaz do mniejszych lokalnych odbiorców.

W takich uwarunkowaniach – dodatkowo podsycanych niekorzystnymi dla samorządności tendencjami w polityce krajowej – samorząd województwa ma ograniczone możliwości w zakresie wsparcia gospodarki wodorowej. Skupia się zatem na integracji lokalnych interesariuszy i łączeniu ich z największymi graczami gospodarki wodorowej, a także partnerami zagranicznymi.

Scenariusz 2 – Pomorskie wodorowe eldorado zza szyby

W 2040 r. postronny obserwator mógłby uznać wodór za wizytówkę województwa pomorskiego. Na terenie Pomorza funkcjonuje rozwinięta infrastruktura stacji tankowania wodoru, jest on wykorzystywany nie tylko w portach i transporcie ciężkim, lecz także w transporcie publicznym i ciepłownictwie, a do jego produkcji służy bogata infrastruktura – od lokalnych hubów, przez morskie farmy wiatrowe, po elektrownię jądrową.

Dzięki licznym programom wsparcia z UE i budżetu centralnego samorząd województwa dysponuje środkami, które umożliwiły powstanie lokalnych społeczności energetycznych, a lokalna dolina wodorowa umożliwia nie tylko integrację interesariuszy, lecz także ich współpracę projektową. Ponadto, dzięki działaniom zainicjowanym jeszcze w pierwszej połowie lat 20. XXI wieku, województwo pomorskie zbudowało efektywny system kształcenia, który przyczynił się do budowy kompetencji i kadr niezbędnych w gospodarce wodorowej.

To wrażenie potęguje rozbudowana infrastruktura przesyłowa. Województwo nie tylko jest niezbędną częścią europejskich projektów, lecz także istotnym węzłem krajowej sieci szkieletowej, dzięki której realizacja pomorskich aspiracji w zakresie uzyskania statusu nowego „serca” polskiego systemu energetycznego jest na wyciągnięcie ręki. Do roku 2030 rozwój gospodarki wodorowej wspierany był importem oraz wykorzystywaniem niebieskiego wodoru jako gazu przejściowego. Jednak po uzyskaniu masy krytycznej mocy zainstalowanej w morskich farmach wiatrowych oraz wzrostowi efektywności jego produkcji województwo stało się samowystarczalne energetycznie.

Nadwyżki energii z województwa pomorskiego są eksportowane za granicę, zwłaszcza do Niemiec, a także rozsyłane po kraju do odbiorców przemysłowych. Coraz częściej słychać głosy o tym, że przemysł wkrótce nie będzie miał innego wyboru, jak tylko przenieść się „na północ”. Przede wszystkim jednak regionalna sieć dystrybucyjna, podłączona pod krajową sieć przesyłową, dostarcza wodór licznym lokalnym odbiorcom w województwie. Wodór służy jako paliwo, magazyn energii oraz alternatywa dla gazu ziemnego. Przyczynia się to do intensywnej transformacji energetycznej firm z województwa Pomorskiego i powstania zielonej gospodarki w regionie.

Ten idylliczny obraz gospodarki wodorowej na Pomorzu zaburza jeden fakt – nie jest ona do końca „pomorska”, ponieważ została zbudowana w dużej mierze na kapitale

zachodnim. Co prawda, na terenie województwa funkcjonują lokalni interesariusze gospodarki wodorowej, którym zdarza się realizować wspólne projekty, jednak nader często przegrywają oni konkurencję z podmiotami zagranicznymi lub są przez nie przejmowani. Z jednej strony wynika to z tego, że technologie wytwarzania wodoru muszą być importowane, z drugiej zaś, że o ile samo województwo szybko dostrzegło szanse wynikające z budowy gospodarki wodorowej, o tyle jej rozwój był długo hamowany przez niepewność na poziomie krajowym. I chociaż dzięki silnemu społecznemu poparciu dla dekarbonizacji udało się częściowo nadrobić zapóźnienie, konkurencyjność polskich podmiotów wciąż pozostawia wiele do życzenia.

Scenariusz 3 – Pomorski wodór dla wybranych

Porty, transport ciężki, transport publiczny – to główne podmioty i sektory, które wykorzystują wodór na terenie województwa pomorskiego w 2040 r. Środek ciężkości polskiej polityki klimatycznej miał charakter jądrowy, a niższe koszty energii z pierwszych SMR-ów i MMR-ów zmniejszyły problem presji dekarbonizacyjnej na polską gospodarkę. W efekcie gaz ziemny wciąż jest wykorzystywany, nawet jeśli w ograniczonym stopniu, nadal produkuje się też szary wodór, bo zielony wodór, który można byłoby produkować w Polsce i na Pomorzu, pozostaje zbyt drogi. W takiej sytuacji za jedno z rozwiązań na zwiększenie dostępności zielonego wodoru uznano jego import z krajów, w których ze względu na politykę energetyczną koszt wyprodukowania zielonego wodoru jest dużo niższy. Stworzyło to szansę dla pomorskich portów – w tych warunkach odgrywają one rolę hubów importowych.

Redystrybucją wodoru, w tym w województwie pomorskim, zajmują się największe podmioty na rynku, działające w obszarze energetyki i przemysłu. Pozostały one wierne celom dekarbonizacyjnym, aby zachować swą zdolność do konkurowania na poziomie międzynarodowym, i dostarczają wodór jego nielicznym odbiorcom na Pomorzu – wspomnianym portom, firmom transportowym czy miejskim przedsiębiorstwom

transportu publicznego. Ten obraz negatywnie przekłada się na stan gospodarki wodorowej na Pomorzu – możliwość zaistnienia w niej jest ściśle zależna od współpracy z dużymi podmiotami, najczęściej w roli ich podwykonawców. W takich uwarunkowaniach podstawową rolą samorządu stało się kształtowanie warunków do współpracy największych interesariuszy gospodarki wodorowej z jej lokalnymi aktorami. Na marginesie znalazły się starania samorządu dotyczące pozyskiwania inwestycji zagranicznych – podmioty spoza Polski wiedzą, że wszelkie inwestycje w „polski wodór” najlepiej koordynować z największymi podmiotami rynkowymi.

Rzeczywistość mogłaby wyglądać inaczej, gdyby nie doszło do negatywnej kumulacji kilku czynników. Części z nich trudno było zapobiec – tak było np. z ograniczonymi postępami w zakresie zwiększenia efektywności elektrolizerów. Na niektóre jednak można było spróbować odpowiedzieć. Chodzi tutaj przede wszystkim o czynniki społeczne. Najważniejszym z nich było fiasko w próbach przekonania polskiego społeczeństwa co do bezpieczeństwa wodoru. Innym zaś nieudane dążenia do wypracowania zaplecza kompetencyjnego do rozwoju gospodarki wodorowej, nawet jeśli częściowo było one skutkiem negatywnego wpływu otoczenia, zwłaszcza odwrótu od dekarbonizacji czy wolniejszego, niż sądzono, rozwoju gospodarki wodorowej. Nawet negatywne skutki zmian klimatu, coraz bardziej odczuwalne również na Pomorzu, nie pomogły w wypracowaniu spójnej narracji, która pomogłaby przekonać społeczeństwo do rozbudowy gospodarki wodorowej.

Scenariusz 4 – Pomorskie wodorowe doliny i wodorowe społeczności

W 2040 r. województwo pomorskie może pochwalić się relatywnie rozwiniętą na tle kraju i dobrze funkcjonującą gospodarką wodorową, zwłaszcza na poziomie lokalnym. Wodór jest stosowany w portach i transporcie ciężkim, w tym publicznym,

choć niewielka infrastruktura przesyłowa sprawia, że wodór z energii elektrycznej z offshore wykorzystywany jest głównie przez kilku dużych odbiorców. Jednak na terenie Pomorza funkcjonują lokalne społeczności energetyczne, produkujące wodór na miejscu z farm OZE oraz biomasy. Włączone są w to lokalne firmy, które funkcjonują na różnych ogniwach łańcucha wartości gospodarki wodorowej, w tym jego produkcji. Część gmin województwa pomorskiego uważa, że dzięki zastosowaniu wodoru udało im się zwiększyć własną niezależność energetyczną przez wdrożenie paradygmatu energetyki rozproszonej. Na tym pozytywnym obrazie cieniem kładzie się jednak niewystarczająco rozwinięta infrastruktura przesyłowa. Powoduje ona, że lokalne huby wodorowe odgrywają niewielką rolę.

Taki stan gospodarki wodorowej był wynikiem szeregu czynników. Bez wątplenia przełomowym były przeobrażenia technologiczne, zwłaszcza wdrożenie systemów taryf dynamicznych czasu rzeczywistego i bilansowanie obciążeniem. Rozwój gospodarki wodorowej byłby jednak niemożliwy bez rozsądnej polityki władz samorządowych, która obejmowała silny lobbing na poziomie centralnym, aby środki na rozwój gospodarki wodorowej trafiły na Pomorze, a także służące temu, aby sektor offshore działał również na potrzeby regionalnej gospodarki (głównie na potrzeby portu i transportu publicznego). Nie bez znaczenia była również dobra gospodarka przestrzenna, która zabezpieczała rozbudowę infrastruktury OZE na lądzie na potrzeby produkcji wodoru, a także działania podejmowane w obszarze edukacji, które umożliwiły zarówno zwiększenie kompetencji z zakresu transformacji energetycznej i gospodarki wodorowej lokalnych urzędników, jak i wykształcenie kadr niezbędnych w gospodarce wodorowej. Kolejnym atutem okazała się lokalna dolina wodorowa, dzięki której poszczególni interesariusze mogli wzmocnić swą synergię projektową.

Gospodarka wodorowa byłaby zapewne jeszcze bardziej rozwinięta, gdyby nie czynniki społeczne. Wciąż nie udało się wyeliminować silnego oporu wobec szerszego

wykorzystania wodoru, co zaważyło na kształcie krajowej infrastruktury.

Trudne warunki gospodarcze skutkowały ograniczonym poparciem społecznym dla dekarbonizacji – był to kolejny czynnik, który negatywnie zaważył na rozbudowie infrastruktury i zasadniczo budowie gospodarki wodorowej w Polsce.

Wyzwania i ryzyka w scenariuszach

Scenariusze dla województwa pomorskiego wskazują na szereg wyzwań, które mogą utrudnić rozwój gospodarki wodorowej na Pomorzu, a także zarysowują podstawowe ryzyka, jakie mogą wiązać się z ich niewłaściwym zaadresowaniem. Cele strategiczne i szczegółowe, które można odnaleźć w kolejnej części raportu, zostały sformułowane tak, aby mimo wysokiej zmienności otoczenia województwo mogło skutecznie wykorzystywać szanse i neutralizować zagrożenia dla rozwoju gospodarki wodorowej uwidocznione w scenariuszach. Skuteczna realizacja celów może więc pozwolić województwu pomorskiemu na uzyskanie stanu bliższego ambicjom wyrażonym w wizji nawet przy niesprzyjających warunkach otoczenia.

Scenariusz 1 wskazuje na **podstawową barierę** – relatywnie wysoką cenę zielonego wodoru, która może być pokłosiem szeregu czynników, np. innych priorytetów transformacji energetycznej na poziomie centralnym, niedojrzałego systemu regulacyjnego czy barier społecznych. W takiej sytuacji najrozsądniejszą opcją strategiczną dla województwa pomorskiego byłoby ograniczenie gospodarki wodorowej do minimum – **rozwinienia jej w tych kluczowych dla gospodarki regionu obszarach, w których trudno wyobrazić sobie dekarbonizację bez wykorzystania wodoru**. Podejmowanie działań, które wykraczałyby ponad to rodziłoby ryzyko przeinwestowania, a tym samym – **niespełnienia podstawowego założenia, w którym rozwój gospodarki wodorowej ma sprzyjać poprawie dobrobytu na Pomorzu**.

Scenariusz ten obrazuje również, jak ważne dla budowy „zdrowej” gospodarki wodorowej jest stworzenie lokalnego łańcucha wartości gospodarki wodorowej i zabieganie o interesy województwa pomorskiego na poziomie krajowym. Jest to zasadniczo wynikiem zaburzeń, jakie decyzje podejmowane centralnie mogą wnieść do planów lokalnych.

Scenariusz 2 przedstawia wizję przyszłości, w której wodór jest jednym z kluczowych zasobów w transformacji energetycznej. Jednocześnie jednoznacznie podkreśla on, że **nawet w tak dogodnych warunkach gospodarka wodorowa nie zaistnieje bez wsparcia samorządu**. Działania województwa powinny obejmować przede wszystkim wsparcie dla lokalnych interesariuszy – choćby w zakresie finansowania czy zabiegania o dobre otoczenie regulacyjne – wsparcie funkcjonowania realnie działającej doliny wodorowej – nie tylko integrującej interesariuszy, lecz także usprawniającej ich współpracę projektową – zabieganie o zmiany w systemie kształcenia czy o udział Pomorza w europejskich i krajowych projektach infrastrukturalnych. Scenariusz ten dobitnie uświadamia także, że **funkcjonowanie farm wiatrowych jest kluczowym warunkiem funkcjonowania rozwiniętej gospodarki wodorowej w regionie**. Wszelkie opóźnienia w ich budowie, rozwoju czy włączaniu w produkcję wodorową najprawdopodobniej negatywnie zaważą na wodorowych aspiracjach województwa i możliwościach ich realizacji – choćby dlatego, że będą skutkowały wyższymi cenami zielonego wodoru.

Jednocześnie scenariusz ten obrazuje, że nawet w bardzo sprzyjających rozwojowi gospodarki wodorowej uwarunkowaniach nie można lekceważyć znaczenia szkodliwych dla niej czynników zewnętrznych i kosztów, które mogą wygenerować. **Niepewności dot. kierunków transformacji energetycznej na poziomie centralnym mogą skutkować zapóźnieniem w rozwoju gospodarki wodorowej względem państw wysokorozwiniętych**. Chociaż mało prawdopodobne jest, aby to ewentualne zapóźnienie uniemożliwiło budowę gospodarki wodorowej, z dużym

prawdopodobieństwem umniejszy korzyści z jej funkcjonowania dla Pomorza.

W takiej sytuacji korzystne byłoby rozważenie przez województwo skali zaangażowania w gospodarkę wodorową i, ponownie, rozwijanie jej przede wszystkim w tych obszarach i w taki sposób, który będzie sprzyjać zwiększaniu dobrobytu w województwie pomorskim.

Scenariusz 3 obrazuje rzeczywistość, w której **presja dekarbonizacyjna jest lżejsza i negatywnie oddziałuje na rozwój gospodarki wodorowej**. Jest to również wizja przyszłości, w której cena zielonego wodoru jest na tyle wysoka, że atrakcyjny jest jego import z innych kierunków geograficznych. **Dobłą wiadomością dla Pomorza może być to, że nawet w takich okolicznościach mogłoby ono wykorzystać swe silne strony** – obecność portów – do wzmocnienia własnej pozycji w gospodarce wodorowej. **Najważniejszym wyzwaniem stawianym przez ten scenariusz jest silna, wręcz dominująca, rola największych podmiotów polskiego sektora energetycznego** – tych, które należą do Skarbu Państwa, w związku z czym mają szczególne przełożenie na decydentów na poziomie centralnym, a które to jednocześnie muszą się dekarbonizować, aby zachować swą konkurencyjność międzynarodową. W najmniej sprzyjających warunkach, sugerowanych przez ten scenariusz, te podmioty mogą zdominować gospodarkę wodorową, lekceważąc uwarunkowania i aspiracje podmiotów lokalnych. **Byłaby to sytuacja** – dla wielu dzisiaj niewyobrażalna – **w której de facto trudno byłoby mówić o gospodarce wodorowej**. Raczej mówiłoby się o branży wodorowej, a podmioty w niej funkcjonujące każdorazowo musiałyby uwzględniać w swych modelach biznesowych działanie „gigantów rynkowych”.

W takim scenariuszu samorząd miałby bardzo ograniczone możliwości w zakresie rozwoju „gospodarki wodorowej”. **W zasadzie sprowadzałyby się one do lobbingu na poziomie centralnym i facylitacji współpracy między podmiotami centralnymi a lokalnymi** – jest to wizja rodząca szczególne ryzyka wynikające z uzależnienia siły rzeczniczej regionów od czynników o charakterze politycznym i wybitnie podatnym

na fluktuacje zależne od wyników wyborczych, jak np. zakres samorządności czy relacje władz lokalnych z centralnymi. Scenariusz ten uwydatnia także znaczenie czynników „miękkich” w rozwoju gospodarki wodorowej, wśród których należy wymienić przede wszystkim przekonanie społeczeństwa do bezpieczeństwa wodoru, zmiany w edukacji czy stworzenie atrakcyjnej dla obywateli narracji, która wskazywałaby na korzyści z rozwoju gospodarki wodorowej i mobilizowałaby ich poparcie dla niej.

Scenariusz 4 przedstawia obraz w zasadzie najbardziej rozwiniętej gospodarki wodorowej ze względu na szereg sprzyjających czynników, z których kluczowe to niska cena zielonego wodoru i rozwój infrastruktury. **Nawet ta wizja przyszłości jasno wskazuje jednak, że realizacja aspiracji wodorowych na Pomorzu byłaby niemożliwa bez interwencji organów samorządowych** – lobbingu na poziomie centralnym, gospodarki przestrzennej sprzyjającej rozwojowi gospodarki wodorowej, rozwoju farm wiatrowych i zabieganiu o jej prace na rzecz regionalnej gospodarki, zmian w edukacji czy sprawnie działającej doliny wodorowej. Ten scenariusz pokazuje też koszty niedbałości o czynniki społeczne, w tym przypadku połączone z negatywnymi efektami związanymi z reakcją społeczeństwa na zbyt wysokie koszty transformacji energetycznej. Chociaż dziś wiele osób przyjmuje kontynuację unijnej polityki klimatycznej za pewnik, w planowaniu strategicznym warto uwzględnić, że **jakiegokolwiek zaburzenia w jej zakresie najprawdopodobniej będą miały wpływ na bodźce rozwojowe gospodarki wodorowej.**

Podsumowując, scenariusze rozwoju gospodarki wodorowej na Pomorzu wskazują na kilka fundamentalnych kwestii:

- kluczowe znaczenie cen zielonego wodoru dla rozwoju gospodarki wodorowej;
- podobnie istotną wagę farm wiatrowych;
- wpływ czynników zewnętrznych na rozwój gospodarki wodorowej – niektóre z nich są niezależne od władz województwa (np. przemiany technologiczne

i jej wpływ na wzrost efektywności elektrolizerów), ale **część stanowi doskonałą przestrzeń do wykazania aktywności samorządu, przede wszystkim:**

- a) zabieganie o interesy województwa pomorskiego na poziomie centralnym;
- b) dbanie o zmiany w systemie edukacji, aby zagwarantować odpowiednią jakość kadr dla rozwijającej się gospodarki wodorowej;
- c) w zakresie czynników społecznych – chodzi tutaj o niwelowanie wszystkich barier, które mogą zaburzyć pozornie oczywisty spadek cen wodoru wynikający choćby z krzywych uczenia.

Scenariusze zdają się sugerować, że uwzględnienie przez województwo pomorskie w planowaniu strategicznym wszystkich tych czynników powinno umożliwić mu budowę gospodarki wodorowej na Pomorzu, a jednocześnie uniknąć ryzyka przeinwestowania, gdyby okazało się, że przyszłość gospodarki wodorowej jest nieco mniej korzystna, niż mogłoby się to wydawać w 2023 r.

Rekomendacje

Celem analizy scenariuszowej było zidentyfikowanie najbardziej „odpornych na przyszłość” działań – tych, które mogą przybliżyć województwo pomorskie do uruchomienia hubu/hubów zielonej energii, a w związku z tym stworzyć dobre warunki do rozwoju gospodarki wodorowej, niezależnie od warunków otoczenia.

Działania w ramach tego zadania pozwoliły na wypracowanie **kluczowych rekomendacji dla województwa pomorskiego:**

- Ukierunkowanie działań na realizację podstawowego celu – zapewnienie dostępności taniego wodoru;
- Budowa silnej współpracy lokalnych interesariuszy gospodarki wodorowej, która zwiększałaby synergię między podmiotami funkcjonującymi na różnych ogniwach łańcucha wartości gospodarki wodorowej, a co za tym idzie – możliwości ich współpracy projektowej.
- Prowadzenie intensywnych działań nastawionych na budowę świadomości społecznej w zakresie transformacji energetycznej, a w szczególności potencjału związanego z budową zielonej gospodarki na Pomorzu – aby zapewnić społeczne poparcie dla transformacji gospodarczej i budowy gospodarki wodorowej.
- Zwiększanie świadomości lokalnych przedsiębiorców, zwłaszcza z sektora MŚP, odnośnie do konieczności przeprowadzania transformacji zielonej i potencjalnych korzyści z nią związanych.
- Zbudowanie – systematycznie aktualizowanego – systemu monitoringu zapotrzebowania na wodór i branż, w których zastosowanie wodoru przyniesie największe korzyści.

- Wspieranie działań gmin zmierzających do zwiększenia ich bezpieczeństwa energetycznego przez budowę energetyki rozproszonej.
- Wyłonienie liderów gospodarki wodorowej, którzy mogliby być siłą napędową transformacji i innowacji w oparciu o wodór w regionie.
- Budowa platformy współpracy i wymiany informacji między lokalnym biznesem a największymi podmiotami na rynku zaangażowanymi w rozwój gospodarki wodorowej.
- Wykorzystanie w planowaniu działań z zakresu gospodarki wodorowej zasobów województwa pomorskiego – potencjału energetyki wiatrowej, kawern solnych, bliskości morza.
- Wzmocnienie lokalnego systemu edukacji, aby zapewnić kadry dla rodzącej się gospodarki wodorowej, i zwiększyć innowacyjność w zakresie rozwiązań wodorowych.
- Zwiększenie świadomości urzędników samorządowych w zakresie gospodarki wodorowej.
- Wykorzystanie w pełni potencjału dofinansowań – krajowych i międzynarodowych – na rozwój gospodarki wodorowej.
- Zabieganie o włączenie województwa pomorskiego w krajowe i międzynarodowe projekty infrastrukturalne dotyczące rozwoju gospodarki wodorowej.

Jednocześnie rezultaty procesu scenariuszowego sugerują, że **realizacja tych rekomendacji sprzyjałaby budowie na Pomorzu gospodarki wodorowej.**

Dodatkowo jednak pozwolił on uwypuklić kilka interwencji dla województwa pomorskiego, które mogą okazać się niezbędne. Uwagę zwraca przede wszystkim konieczność zadbania o interesy województwa pomorskiego na szczeblu centralnym – chodzi tutaj zarówno o lobbing dotyczący odpowiedniego otoczenia regulacyjnego i finansowego, które sprzyjałoby rozwojowi gospodarki wodorowej, jak i zapewnienie, że interesy Pomorza w zakresie rozwoju gospodarki wodorowej będą rozumiane

na szczeblu centralnym, a sam region będzie postrzegany jako kluczowy w krajowych planach wodorowych. Wyraźniejszego podkreślenia wymaga też szereg czynników społecznych – świadomość lokalnej społeczności dot. dekarbonizacji, transformacji energetycznej, bezpieczeństwa technologii wodorowych, a także konieczność zmian w systemie edukacji – które mogą poważnie zaważyć na tempie i zakresie gospodarki wodorowej. Analiza scenariuszowa zdaje się również wskazywać, że fundamentalne znaczenie ma odpowiednia realizacja przez województwo funkcji wspierania lokalnej przedsiębiorczości – chodzi tutaj o takie tworzenie warunków do rozwoju działalności w zakresie gospodarki wodorowej, które sprzyjałoby zwiększaniu konkurencyjności lokalnych firm i ich poziomowi innowacyjności, co ostatecznie powinno także zaowocować ich bardziej podmiotową pozycją wobec największych podmiotów na rynku.

Część III – wizja, misja, cele

Wizja

W 2040 r., dzięki wspólnemu wysiłkowi lokalnych interesariuszy, w województwie pomorskim funkcjonuje dobrze rozwinięta gospodarka wodorowa – jest ona zbudowana na zielonym wodorze produkowanym na Pomorzu, głównie na potrzeby strategicznych sektorów regionalnej gospodarki, i dzięki wkładowi w rozwój społeczno-gospodarczy regionu cieszy się szerokim społecznym poparciem.

Misja

1. Samorząd terytorialny województwa pomorskiego wspiera integrację, wymianę doświadczeń i **współpracę projektową interesariuszy** gospodarki wodorowej na Pomorzu w taki sposób, aby ułatwić wykorzystanie synergii między podmiotami znajdującymi się na różnych ogniwach łańcucha gospodarki wodorowej i zwiększyć ich szansę na realizację projektów wodorowych.
2. Samorząd terytorialny województwa pomorskiego pobudza **aktywność gospodarczą** ukierunkowaną na **dekarbonizację** gospodarki regionu w oparciu o wodór. Dąży do zwiększenia świadomości społecznej oraz wiedzy odnośnie do korzyści z wodoryzacji gospodarki, wspiera projekty dekarbonizacyjne, w tym kreowanie rynku pracy w najbardziej emisyjnych obszarach.
3. Samorząd terytorialny województwa pomorskiego zabiega o przyciąganie **inwestycji** krajowych i zagranicznych w taki sposób, aby stale zwiększać dojrzałość gospodarki wodorowej na Pomorzu, utrzymanie i rozbudowę dostępności lokalnej i regionalnej infrastruktury dystrybucyjnej i znaczenie

Pomorza w krajowej i międzynarodowej infrastrukturze przesyłowej,
z poszanowaniem dla kształtowania i utrzymania ładu przestrzennego.

4. Samorząd terytorialny **identyfikuje i promuje rozwój kluczowych sektorów regionalnej gospodarki**, przy których zastosowanie wodoru będzie najbardziej optymalnym narzędziem dekarbonizacji w świetle podaży wodoru. W tych działaniach buduje na specyficznych dla regionu atutach środowiskowych, przestrzennych i społecznych.
5. Samorząd terytorialny **koordynuje i pobudza działania w obszarze kształcenia kompetencji i kadr** niezbędnych do budowy gospodarki wodorowej.

Cele strategiczne

1. Budowa do 2040 r. w województwie pomorskim zielonej gospodarki przez wspieranie transformacji energetycznej, stymulowanie dekarbonizacji lokalnych przedsiębiorstw, a także stworzenie sprzyjających warunków dla wielkoskalowych inwestycji.
2. Włączenie regionu w kształtującą się centralną gospodarkę wodorową przy jednoczesnym rozwijaniu lokalnej rozproszonej energetyki, opartej na lokalnej produkcji wodoru.
3. Zapewnienie dostępności taniego wodoru i OZE na potrzeby regionalnej gospodarki.
4. Promocja Województwa Pomorskiego i lokalnych podmiotów wobec największych – krajowych i zagranicznych – interesariuszy gospodarki wodorowej w taki sposób, aby w 2040 r. województwo pomorskie było postrzegane

jako kluczowy element krajowego i międzynarodowego łańcucha wartości wodoru oraz ważny element krajowej i europejskiej infrastruktury wodorowej.

5. Budowa wśród społeczeństwa regionu świadomości z korzyści związanych z rozwojem gospodarki wodorowej na Pomorzu, a co za tym idzie – budowa lokalnych kompetencji wodorowych.

Cele szczegółowe i kamienie milowe

1. **Zbudowanie w województwie pomorskim zielonej gospodarki przez wspieranie transformacji energetycznej i starań dekarbonizacyjnych lokalnych przedsiębiorstw, a także wielkoskalowych inwestycji.**
 - 1.1. Budowa **do końca 2025 r.** systemu wsparcia dla MŚP w zakresie dekarbonizacji obejmującego następujące elementy:
 - a) Docieranie do MŚP z informacjami o konieczności i korzyściach z dekarbonizacji;
 - b) Usługi związane z liczeniem śladu węglowego;
 - c) Gotowe schematy działań dekarbonizacyjnych możliwych do zastosowania;
 - d) Upowszechnianie wiedzy o możliwości zastosowania wodoru w transformacji energetycznej przez prezentowanie przedsiębiorcom gotowych schematów zastosowania wodoru (case studies, best practices), a także metodyk zarządzania ryzykiem w inwestycjach wodorowych.
 - 1.2. Uruchomienie **do 2032 r.** przestrzeni inwestycyjnych, które będą wspierały zieloną gospodarkę i będą ukierunkowane na rozwój przedsięwzięć

biznesowych zgodnych ze standardami niskoemisyjnej gospodarki, w tym ESG, np. w postaci:

- a) Zielonych Stref Ekonomicznych z wykorzystaniem zielonych instrumentów finansowych;
- b) Wodorowych Parków Naukowo-Technologicznych.

1.3. Zbudowanie **do 2030 r.** systemu wsparcia rozwoju energetyki odnawialnej:

- a) Przeprowadzenie inwentaryzacji zasobów, potencjału i zapotrzebowania na energię elektryczną, ciepłą i chłód oraz paliwa w województwie w celu ustalenia prognozowanej wielkości zapotrzebowania na OZE i wodorów (stworzenie modelu miksu energetycznego) – **do 2024 r.**
- b) Analiza dostępności gruntów na terenie województwa, które mogłyby być przeznaczone na potrzeby inwestycji w farmy wiatrowe i fotowoltaiczne – **do 2024 r.**
- c) Przygotowywanie założeń do planów zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe oraz samych planów uwzględniających kierunki rozwoju w zakresie rozwoju OZE i gospodarki wodorowej (na mocy ustawy Prawo Energetyczne) – **działanie ciągłe, do 2030 r.** Działanie to umożliwi uwzględnienie przez przedsiębiorstwa energetyczne zapotrzebowania gmin na przyłączenie odpowiedniej ilości OZE do sieci elektroenergetycznej.
- d) Zadbanie o zgodność planów rozwoju przedsiębiorstw energetycznych z opracowanymi założeniami z punktu c.

- e) Przełożenie założeń i planów zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe na tworzone miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego.
 - f) Lobbowanie na rzecz tworzenia „obszarów przyspieszonych inwestycji w OZE” na terenie województwa pomorskiego (zgodnie z Dyrektywą PE RED III), w których zatwierdzanie nowych instalacji OZE nie mogłoby trwać dłużej niż 12 miesięcy.
 - g) Promowanie linii bezpośrednich i cable pooling w rozwoju OZE.
- 1.4.** Wspieranie w sposób ciągły realizacji kluczowych projektów związanych z dekarbonizacją w oparciu o wodór, szczególnie:
- a) PDA Support w Gdańsku, Gdyni, Tczewie i Wejherowie;
 - b) Hub wodorowy w Gdyni;
 - c) NeptHyne;
 - d) Hy-Way to Hel;
 - e) Hestor;
 - f) Rozważenie wodoryzacji i budowy zielonej infrastruktury wokół portów lotniczych na terytorium województwa pomorskiego – projektem pilotażowym mogłoby zostać lotnisko w Gdańsku, którego województwo pomorskie jest udziałowcem;
 - g) Innych projektów o kluczowym znaczeniu dla województwa pomorskiego, obejmujących zwłaszcza rozwój infrastruktury czy wodoryzację transportu publicznego i ciężkiego.

- 1.5. Pełne wykorzystanie potencjału Pomorskiej Doliny Wodorowej przez samorząd, umożliwiające sięgnięcie po finansowanie unijnie przeznaczone na rozwój regionalnych gospodarek wodorowych (zadanie o charakterze ciągłym).
2. **Włączenie regionu w kształtującą się centralną gospodarkę wodorową przy jednoczesnym rozwijaniu lokalnej rozproszonej energetyki, opartej na lokalnej produkcji wodoru.**
 - 2.1. Budowa synergii między działaniami rządu i samorządu w obszarze budowy infrastruktury wodorowej i włączenie się samorządu w tworzenie infrastruktury przesyłowej na potrzeby kluczowych sektorów regionalnej gospodarki wodorowej (porty, transport, rafinerie). Jest to zadanie o **charakterze ciągłym**, jednak próby wypracowania porozumienia i uzgadniania planów infrastrukturalnych między samorządem a rządem powinny zostać zainicjowane jak najwcześniej.
 - 2.2. Umożliwienie włączania się mniejszych podmiotów w centralne projekty wodorowe, realizowane przez największe podmioty na rynku przez:
 - a) Stworzenie ogólnodostępnej bazy wiedzy o projektach wodorowych i możliwościach w zakresie gospodarki wodorowej lokalnych interesariuszy – ten cel powinien zostać zrealizowany **w 2024 r.**
 - b) Stworzenie przy Pomorskiej Dolinie Wodorowej platformy współpracy i dialogu umożliwiającej wymianę informacji i doświadczeń oraz nawiązywanie współpracy między największymi podmiotami na rynku a lokalnymi interesariuszami. Platforma mogłaby mieć zarówno wymiar instytucjonalny (grup roboczych i spotkań), jak i wirtualny (intranet) – ten cel powinien zostać zrealizowany **w 2024 r.;**

- c) Tworzenie warunków do budowania konsorcjów przez lokalnych interesariuszy gospodarki wodorowej funkcjonujących na różnych ogniwach łańcucha gospodarki wodorowej, aby budować ich synergię projektową, a przez to zwiększać ich atrakcyjność dla największych podmiotów gospodarki wodorowej – jest to **cel ciągły**, który powinien być realizowany w oparciu o powyższe działania.

2.3. Wspieranie lokalnej produkcji i wykorzystania wodoru, zwłaszcza na potrzeby lokalnego ciepłownictwa i transportu publicznego.

- a) Wykorzystanie potencjału produkcji wodoru z innych źródeł, np. odpadów i biometanu;
- b) Wykorzystanie i upowszechnianie modelu lokalnych społeczności energetycznych (spółdzielni i klastrów energetycznych).

3. Zapewnienie dostępności taniego wodoru i OZE na potrzeby regionalnej gospodarki.

3.1. Zainicjowanie i zbudowanie **do 2026 r.** trwałej platformy współpracy między samorządem a lokalnymi interesariuszami gospodarki wodorowej, aby:

- a) **Już w 2026 r.** dysponować pełną – i stale aktualizowaną – wiedzą odnośnie do dostępności wodoru w województwie pomorskim, a także przyszłych potrzeb infrastrukturalnych związanych z koniecznością transportu wodoru do nowych odbiorców;
- b) Wspierać mniejsze, regionalne przedsiębiorstwa w celu wzmacniania konkurencji na rynku wodorowym (zadanie ciągłe);

- c) Monitorować i włączać potencjalnych nowych interesariuszy gospodarki wodorowe (zadanie ciągłe);
 - d) Wspierać rozwój lokalnego rynku usług wodorowych, np. Produkcji elektrolizerów, serwisowania itd. Taki lokalny rynek powinien powstać **do 2035 r.**
- 3.2.** Wzmocnienie **do 2030 r.** roli samorządu jako interesariusza w branży badań i rozwoju, zwłaszcza w kontekście podnoszenia efektywności technologicznej. Uwzględnienie w planach Funduszy Europejskich dla Pomorza 2021-2027 działań typu B+R z zakresu gospodarki wodorowej na potrzeby biznesu w celu budowania potrzeb i potencjału nabywczego.
- 3.3.** Uzgadnianie z ośrodkami B+R potrzeb w zakresie rozwoju technologii wodorowych i wspieranie projektów ukierunkowanych na zaspokajanie potrzeb pomorskich przedsiębiorstw.
- 3.4.** Budowanie samowystarczalności gmin dzięki rozproszonym źródłom produkcji wodoru, a przez to – wzmacnianie ich bezpieczeństwa energetycznego (**zadanie ciągłe**, za kamień milowy powinien służyć stale zwiększający się wskaźnik gmin funkcjonujących w oparciu o taki model).
- 3.5.** Uwzględnianie **od 2025 r.** technologii wodorowych w przetargach publicznych na terenie województwa pomorskiego.
- 3.6.** Umieszczenie **od 2028 r.** rozwiązań z zakresu gospodarki wodorowej w regionalnych programach rozwojowych określających priorytety gospodarcze (np. Regionalne Inteligentne Specjalizacje i ich ewentualni następcy).

- 3.7.** Stworzenie do **2026 r.** przejrzystego i dostępnego dla przedsiębiorców systemu udogodnień dla inwestycji wodorowych, w tym w szczególności wspieranie ich przez kredyty, ulgi podatkowe i misje gospodarcze.
- 3.8.** Wspieranie budowy regionalnego systemu transportu i dystrybucji wodoru, stanowiącego część krajowej infrastruktury wodorowej, dostarczającego wodór do odbiorców z kluczowych sektorów regionalnej gospodarki (np. porty, rafinerie, transport publiczny, ciężki i kolejowy).
- 3.9.** Stworzenie **do 2030 r.** warunków do odbioru energii z OZE oraz tworzenie dogodnych warunków do rozwoju infrastruktury energetycznej w województwie pomorskim (zadanie o charakterze ciągłym).
- 4. Promocja Województwa Pomorskiego i lokalnych podmiotów wobec największych – krajowych i zagranicznych – interesariuszy gospodarki wodorowej w taki sposób, aby w 2040 r. województwo pomorskie było postrzegane jako kluczowy element krajowego i międzynarodowego łańcucha wartości wodoru oraz ważny element krajowej i europejskiej infrastruktury wodorowej.**
- 4.1.** Wyłonienie w **2024 r.**, np. w drodze konkursu organizowanego przez Urząd Marszałkowski, lokalnych liderów gospodarki wodorowej i stworzenie do **2026 r.** systemu, w ramach którego liderzy mogliby popularyzować gospodarkę wodorową w regionie województwa pomorskiego przez:
- a) Turystykę wodorową – programy mogłyby ruszyć już w **2025 r.**, zaraz po zdefiniowaniu liderów i wypracowaniu replikowalnego modelu takich wizyt;

- b) Przekazywanie przez liderów dobrych praktyk dla firm chcących zaistnieć w gospodarce wodorowej – programy mogłyby ruszyć **w 2026 r.**, po zebraniu i przeanalizowaniu pierwszych doświadczeń z turystyki wodorowej;
 - c) Parowanie liderów gospodarki wodorowej z podmiotami, które mogłyby funkcjonować na innych ogniwach łańcucha wartości gospodarki wodorowej w celu budowania synergii między nimi i zwiększenia skalowalności wspólnych projektów (zadanie o **charakterze ciągłym**, które mogłoby być realizowane przez samorząd od 2026 r.).
- 4.2.** Przeprowadzenie do **2030 r.** działań budujących markę województwa w oparciu o łatwą dostępność taniej zielonej energii i produkowanego z niej wodoru.
 - 4.3.** Wykorzystanie lokalnych uwarunkowań (porty, kawerny) do zapewnienia, że **w 2040 r.** województwo pomorskie będzie postrzegane jako główny hub logistyczny (import-eksport) gospodarki wodorowej w Polsce.
 - 4.4.** Zapewnienie udziału województwa pomorskiego w tworzącej się europejskiej infrastrukturze wodorowej, przede wszystkim w drugim wodorociągu do Niemiec i lądowym wodorociągu z Finlandii.
 - 4.5.** Zapewnienie udziału województwa pomorskiego w krajowych projektach infrastruktury przesyłowej, realizowanych przez podmioty centralne (Gaz-System).
- 5. Budowa wśród społeczeństwa regionu świadomości z korzyści związanych z rozwojem gospodarki wodorowej na Pomorzu, a co za tym idzie – budowa lokalnych kompetencji wodorowych.**

- 5.1.** Zdefiniowanie **do 2030 r.** specjalizacji w zakresie gospodarki wodorowej, które pomogłyby zwiększyć pozycję województwa pomorskiego na rynku wodorowym, a także wzmocnić atrakcyjność inwestycyjną regionu.
- 5.2.** Docieranie do przedsiębiorstw z terenu województwa pomorskiego z celowanymi informacjami dotyczącymi zarówno korzyści z dekarbonizacji, jak i potencjału zastosowania wodoru. Jest to zadanie o charakterze ciągłym, jednak pierwsze materiały informacyjne powinny być wypracowane i rozpowszechnione najpóźniej w **2025 r.**
- 5.3.** Edukowanie kadry urzędniczej, aby świadomiej odpowiadała na potrzeby rodzącej się gospodarki niskoemisyjnej i wodorowej. Ten cel powinien zostać zrealizowany w ramach następujących działań:
- a) Stworzenie w Urzędzie Marszałkowskim zespołu odpowiedzialnego za rozwój gospodarki niskoemisyjnej i wodorowej w województwie pomorskim – cel powinien zostać zrealizowany na początku **2024 r.**
 - b) Przeszkolenie urzędników z zakresu funkcjonowania gospodarki niskoemisyjnej i wodorowej (szkolenie holistyczne, uwzględniające aspekty techniczne, ekonomiczne, polityczne, bezpieczeństwa itd.) – cel do zrealizowania w latach **2024-2025.**
 - c) Zainicjowanie programów wsparcia dla pozostałych urzędów z województwa pomorskiego realizowanych przez zespół z Urzędu Marszałkowskiego. Programy powinny ruszyć najpóźniej na początku **2026 r.**
- 5.4.** Koordynacja działań edukacyjnych w zakresie gospodarki niskoemisyjnej i wodorowej, w taki sposób, aby:

- a) Edukacja dot. zielonych technologii i gospodarki wodorowej, włącznie z jej technicznymi aspektami, była zapewniona już na poziomie szkół ponadpodstawowych – ten cel powinien zostać zrealizowany do **2028 r.**
- b) Uczelnie wyższe kształciły absolwentów, których sylwetka w pełni odpowiada potrzebom gospodarki wodorowej (wyeliminowanie sytuacji, w której pełny zakres kompetencji można uzyskać wyłącznie w przypadku studiowania kilku kierunków) – działania w tym zakresie powinny zostać podjęte jak najszybciej, jednak ze względu na obowiązujące w edukacji wyższej cykle wprowadzania zmian nowe programy powinny być uruchomione najpóźniej od początku roku akademickiego **2025/2026.**

Działania edukacyjne powinny zostać wsparte realizacją następujących celów:

- Zmapowanie potrzeb biznesu w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji absolwentów szkół średnich i wyższych niezbędnych do budowy – i rozwoju – gospodarki niskoemisyjnej i wodorowej. Działania w tym zakresie powinny zostać podjęte już w **2024 r.**
- Opracowanie sektorowej ramy kwalifikacji w zakresie gospodarki wodorowej i wprowadzenie jej do Zintegrowanego Systemu Kwalifikacji.
- Budowa systemu, w ramach którego potrzeby sygnalizowane przez przedsiębiorców byłyby na bieżąco na poziomie samorządowym i wdrażane w regionalnym systemie edukacyjnym. Budowa systemu, który by to umożliwił, powinna zostać ukończona w **2026 r.**

5.5. Edukowanie w sposób ciągły społeczeństwa odnośnie do potencjalnie pozytywnego wpływu rozwoju gospodarki niskoemisyjnej i wodorowej na regionalną gospodarkę województwa pomorskiego przez:

- a) Kampanie informacyjno-edukacyjne – pierwsze kampanie powinny zostać zaprojektowane jak najwcześniej, już w **2024 r.**
- b) Ekspozycje i materiały edukacyjne obejmujące tematykę dekarbonizacji i zastosowania wodoru adresowane do dzieci w wieku szkolnym – cel powinien zostać zrealizowany do **2027 r.**
- c) Wypracowanie atrakcyjnej narracji dot. potencjału zastosowania wodoru w gospodarce województwa pomorskiego, bazującej na silnej lokalnej tożsamości i akcentującej atuty regionu – ten cel powinien zostać zrealizowany po konsultacjach z liderami gospodarki wodorowej i innymi jej interesariuszami, idealnie w **2026 r.**
- d) Prowadzenie dialogu publicznego umożliwiającego włączanie społeczności lokalnych w procesy decyzyjne mające na celu zapewnienie akceptacji społecznej i zapobieżenie protestom i konfliktom społecznym związanym z bezpieczeństwem technologii wodorowych.

Zakończenie

Budowa i rozwój gospodarki wodorowej stanowi dużą szansę dla województwa pomorskiego. W najkorzystniejszym scenariuszu może doprowadzić do radykalnej zmiany sytuacji gospodarczej Pomorza – spowodować, że region stanie się pożądanym miejscem lokalizacji zakładów przemysłowych, „sercem” polskiego systemu energetycznego na miarę dzisiejszego Śląska, a także kluczowym elementem europejskiej infrastruktury przesyłowej.

Województwo pomorskie posiada wiele atutów, które mogą wesprzeć je w realizacji wodorowych ambicji. Bliskość Morza Bałtyckiego i związany z nią potencjał energetyki wiatrowej, obecność istotnych dla gospodarki regionu podmiotów, które muszą się dekarbonizować, aby zachować swą konkurencyjność, możliwości, jakie zrodzi rozlokowanie na terytorium województwa elektrowni jądrowej, samorząd zdający sobie sprawę z potencjału wodoru, lokalna tożsamość, która umożliwia stworzenie atrakcyjnej społecznie opowieści o nadchodzącej transformacji energetycznej w oparciu o wodór, czy wreszcie załóżki rodzącego się ekosystemu wodorowego w postaci funkcjonowania interesariuszy gospodarki wodorowej – to tylko niektóre z silnych stron Pomorza ułatwiających planowanie rozwoju regionu w oparciu o wykorzystanie wodoru.

Jednocześnie jednak rezultaty badań i analiz podjętych w ramach projektu „Pomorskie na lekkim gazie – kierunki i scenariusze rozwoju gospodarki wodorowej do 2030 z perspektywą do 2040” wskazują, że dużym **błędem byłoby myślenie, że Pomorze jest skazane na wodorowy sukces.** Niska świadomość małych i średnich przedsiębiorstw odnośnie do konieczności budowy zielonej gospodarki – bez której stworzenie sprawnie funkcjonującej gospodarki wodorowej będzie niemożliwe

(!) – wciąż niewystarczająca innowacyjność lokalnego biznesu, luka kompetencyjna, którą trzeba wypełnić jak najszybciej, różnice interesów między największymi graczami rynku wodorowego a interesariuszami lokalnymi, czy wewnętrzne spory lokalnych interesariuszy gospodarki wodorowej – wszystkie te czynniki stanowią istotne bariery, których przewyciężenie jest niezbędne, aby województwo pomorskie wykorzystało stojącą przed nim szansę.

W myśleniu o formowaniu gospodarki wodorowej województwo pomorskie powinno też uwzględniać czynniki i okoliczności, które zaważą na ogólnym obrazie gospodarki wodorowej do 2030 i 2040 r. Większość z nich została ujęta w scenariuszach, które były integralną częścią tego projektu. Wystarczy tutaj wspomnieć choćby o podejściu władz centralnych w Polsce do transformacji energetycznej, jej tempie na poziomie unijnym, modelu rozwoju gospodarki wodorowej, jaki przyjmie się w kraju, dostępności technologii wodorowych i alternatyw w stosunku do nich, możliwości korzystania przez województwa pomorskie z funduszy niezbędnych do finansowania rozwoju gospodarki wodorowej, które mogą być pokłosiem stosunków politycznych wewnątrz kraju, skali uprawnień i władztwa, jakimi będą cieszyć się w Polsce samorzady, czy społecznym odbiorze wodoru. Wszystkie te czynniki, których przyszły kształt jest obecnie niepewny, zweryfikują ostatecznie myślenie o wodorze i skali jego zastosowania w gospodarkach przyszłości.

Istnieją również inne – mniej oczywiste i trudne do uwzględnienia w planowaniu strategicznym – czynniki, które mogą zaważyć na tempie rozwoju gospodarki wodorowej. Trwały brak funduszy z KPO, wyjście Polski z Unii Europejskiej czy rozpad wspólnoty – to przykłady kilku wydarzeń o relatywnie niskim stopniu prawdopodobieństwa, które jednak miałyby gigantyczny wpływ na gospodarkę wodorową, najpewniej skutkując olbrzymim zapóźnieniem w jej rozwoju. Co prawda, jakakolwiek sensowna strategia w odniesieniu do wodoru nie może być opierana na takich „dzikich kartach”, jednak całkowity brak świadomości ich istnienia,

a także potencjalnych zaburzeń, jakie wywołałyby w rozwoju gospodarki wodorowej, byłyby równie błędny. Wynika to z faktu, że nawet jeśli są to wydarzenia, na które polskie samorzady mają znikomy wpływ, ich ewentualne zaistnienie wywracałoby do góry nogami ich wszelkie plany strategiczne.

Liczne niepewności związane z rozwojem gospodarki wodorowej w najbliższym dwudziestoleciu nie oznaczają jednak, że samorząd województwa pomorskiego powinien zdać się na „ślepy traf” czy zawierzyć wspomnianemu, popularnemu przekonaniu, że gospodarka wodorowa na Pomorzu wydarzy się tak czy inaczej, bo region – ze względu na swoje atuty – jest na nią skazany. Wręcz przeciwnie – **istnieje szereg działań, które województwo pomorskie może – i powinno podjąć – by nie tylko skorzystać z otwierających się przed nim szans, lecz także zabezpieczyć się przed licznymi ryzykami towarzyszącymi formowaniu się gospodarki wodorowej.** Mamy nadzieję, że wizja, misja, cele strategiczne i szczegółowe, które zostały zdefiniowane w ramach projektu „Pomorskie na lekkim gazie – kierunki i scenariusze rozwoju gospodarki wodorowej do 2030 z perspektywą do 2040” przybliżą województwo pomorskie do realizacji jego wodorowych aspiracji, a przez to przyczynią się do podniesienia poziomu życia i dobrobytu mieszkańców całego regionu.

Załączniki

Baza interesariuszy gospodarki wodorowej na Pomorzu

Jak należy czytać tę bazę?

W bazie przedstawiono podmioty i inicjatywy zaangażowane w rozwój gospodarki wodorowej w województwie pomorskim. Podmioty zgrupowano wg ich miejsca w łańcuchu wartości i oznaczono następującymi etykietami:

ŁAŃCUCH wartości – LEGENDA:

OO: Inne (tj. podmioty, które prowadzą działalność potencjalnie wspierającą rozwój gospodarki wodorowej, np. przez produkcję sprzętu, który może być w niej wykorzystywany, lub integrację interesariuszy)

O1: Produkcja zielonej energii

O2: Dystrybucja energii

O3: Produkcja zielonego wodoru

O4: Produkcja oprzyrządowania do produkcji zielonego wodoru

O5: Transport wodoru

O6: Magazynowanie wodoru

O7: Odbiorcy wodoru

W drugiej części bazy pt. **Zewnętrzni interesariusze** zawarto wybrane podmioty spoza województwa pomorskiego, które albo mogą być zainteresowane zaangażowaniem w rozwój gospodarki wodorowej Pomorza, albo już deklarują gotowość do udziału w procesach transformacji.

Klaster wodorowy

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Klaster	Kluczowy gracz na polskim rynku zrzeszający firmy działające w całym łańcuchu wartości wodoru. Założony, aby tworzyć, wspierać i dzielić się możliwościami biznesowymi wśród członków w województwie pomorskim w Polsce i poza nią. Współpracuje z MŚP w inicjatywach internacjonalizacji oraz z uczelniami w zakresie wsparcia projektów R&D i innowacyjnych.	https://klasterwodorowy.pl/

Pomorska Dolina Wodorowa

O3: Produkcja zielonego wodoru

O6: Magazynowanie wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Klaster / izba handlowa	Jest to inicjatywa firm należących do Klastra Wodorowego, uczeslni wyższych i Urzędu Marszałkowskiego Województwa Pomorskiego w Gdańsku, która ma na celu zwiększenie udziału	https://klasterwodorowy.pl/pomorska-dolina-wodorowa.53.pl

	wodoru jako paliwa w transporcie w mikście energetycznym województwa pomorskiego i zasadniczo rozwój gospodarki wodorowej w regionie.	
--	---	--

3 Seas Hydrogen Council

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Porozumienie międzynarodowe	<p>Pierwsza inicjatywa wodorowa państw Europy Środkowej i krajów bałtyckich. Powstała z inicjatywy Polski.</p> <p>Priorytety to dekarbonizacja systemów ciepłowniczych, certyfikacja wodoru, wypracowanie jednolitego stanowiska w zakresie regulacji UE, wybór transgranicznych projektów wodorowych.</p> <p>Jeśli chodzi o priorytety w krótkim terminie, należy wśród nich wymienić wstąpienie do Hydrogen Europe oraz otwarcie biura w Brukseli.</p>	<p>https://hydrogen-central.com/h2-poland-3-seas-hydrogen-council-time-hydrogen-europe-hear-voice-region/</p>

H2Global

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Projekt fundacji	<p>Projekt H2GLOBAL realizowany w ramach programu COSME.</p> <p>Celem jest zbudowanie partnerstwa wiodących europejskich klastrów, żeby utworzyć „Europejskie strategiczne partnerstwo klastrów – <i>Going International</i>”.</p> <p>Zgodnie z założeniami partnerstwo powinno koncentrować się na współpracy klastrów i internacjonalizacji służącej wspieraniu i promowaniu przedsiębiorstw technologii i usług związanych z wodorem.</p>	<p>https://h2globalcluster.eu/</p>

Rafineria Gdańska

O3: Produkcja zielonego wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Rafineria	Występuje we wszystkich kluczowych projektach wodorowych. Cel na przyszłość: budowa i uruchomienie infrastruktury do produkcji wodoru; sprzedaż wodoru o bardzo wysokiej czystości (99,999).	https://rafineriagdanska.pl/

Regionalna Izba Gospodarcza Pomorza

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Izba gospodarcza	Wspieranie inicjatyw i projektów wodorowych w przejściu do etapu realizacji. Koordynator Klastra Technologii Wodorowych. Przy RIGP działa ponadto Rada Inteligentnej Specjalizacji Pomorza z obszaru Technologie efektywne w produkcji, przesył, dystrybucji i zużyciu energii i paliw oraz w budownictwie (ISP3).	https://rigp.pl/

Uniwersytet Morski w Gdyni – Wydział Elektryczny

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Uczelnia	Prowadzi kierunek Technika Wodorowa i Odnawialne Źródła Energii.	https://we.umg.edu.pl/specjalnosc/5092

Uniwersytet Morski w Gdyni – Centrum Transferu Technologii

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Uczelnia	Koordinacja uczelnianego B+R, w tym: elektroenergetyki i odnawialnych źródeł energii; efektywnej i niskoemisyjnej energetyki, technologii wodorowych i zielonej transformacji.	https://umg.edu.pl/centrum-transfer-u-technologiei

Politechnika Gdańska – Centrum Technologii Wodorowych

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Uczelnia	R&D, ekspertyzy, badania zlecone. W planach uruchomienie kierunku inżynierskiego dot. energetyki wodorowej (w 2023 r. powstanie taki dot. energetyki jądrowej). Chemiczne magazynowanie wodoru; modelowanie procesów wodorowych z AI; produkcja biowodoru.	https://ctw.pg.edu.pl/

Instytut Maszyn Przepływowych PAN

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Nauka	Gdańsk. Badania w dziedzinie podstaw maszyn i urządzeń służących do konwersji energii w przepływach.	https://www.imp.gda.pl/

Akademia Wodorowa/Akademia H2

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Inicjatywa edukacyjna	Program bezpłatnych szkoleń w Szczecinie, część zajęć prowadzą naukowcy z Politechniki Gdańskiej, która jest partnerem merytorycznym. Skierowany do studentów, doktorantów, absolwentów. Najlepsi absolwenci dostają się na staże w sferze gospodarki wodorowej.	https://akademiah2.pl/

Port Gdynia – Hub wodorowy

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Koncepcja hubu (port)	Dokument wspierający starania do budowy regionalnej gospodarki niskoemisyjnej opartej na wodorze i innych paliwach alternatywnych. Hub docelowo będzie sprzyjał dekarbonizacji portu oraz niezależności paliwowo-energetycznej.	https://www.portgdynia.pl/hub-wodorowy-w-porcie-gdynia/

Pomorski Park Naukowo Technologiczny w Gdyni

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Park technologiczny	Gdynia. Największy w Polsce hub organizacji działających na styku biznesu, nauki i technologii. Znany w środowisku m.in. jako miejsce corocznej konferencji PCHET (<i>Polish Conference on Hydrogen Energy and Technology</i>).	https://ppnt.pl/

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Podmiot publiczny	Dofinansowuje m.in. budowę ogólnodostępnych stacji tankowania wodorem w woj. pomorskim.	https://www.gov.pl/web/nfosigw/narodowy-fundusz-ochrony-srodowiska-i-gospodarki-wodnej

Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Inne	Gdańsk. Programy, konkursy, granty oraz szkolenia i edukacja w zakresie OZE.	https://wfos.gdan.sk.pl/

Nexus Consultants sp. z o.o.

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Inne	Gdynia. Doradztwo m.in. w zakresie gospodarki wodorowej. Firma pracowała nad koncepcją hubu wodorowego w porcie Gdynia. Inne przykładowe projekty: „Magazynowanie energii w postaci wodoru w kawernach solnych”, ocena efektywności magazynowania nadmiarowej energii, budowa instalacji oczyszczania, sprężania i magazynowania wodoru wraz z dwiema stacjami tankowania wodorem, strategia wodorowa dla LOTOSu, analizy opłacalności i sprawozdawczość projektów.	https://nexus.pl/en/start-eng/

Energa SA

O2: Dystrybucja energii

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Jest trzecim pod względem wielkości operatorem systemu dystrybucyjnego w Polsce w ocenie wolumenu dostarczanej energii.	https://www.energa.pl/dom

Worthington Industries

O5: Transport wodoru

O6: Magazynowanie wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma globalna	Słupsk. Amerykańska firma produkująca metale. Jest przetwórcą stali i producentem zbiorników ciśnieniowych, produktów poszukiwawczych, odzyskowych i produkcyjnych dla światowych rynków energii; zbiorników instalacji wodnych do magazynowania, uzdatniania, ogrzewania, rozprężania i kontroli przepływu. Projektowanie zbiorników oraz systemów na gaz ziemny i wodór.	https://www.worthingtonindustries.eu/pl/

	<p>W Polsce znana jako producent kompozytowych butli gazowych oraz ze współpracy przy budowie lokomotywy wodorowej – wyprodukowała zbiorniki kompozytowe.</p>	
--	---	--

Rockfin sp. z o.o.

O3: Produkcja zielonego wodoru

O4: Produkcja oprzyrządowania do produkcji zielonego wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	<p>Małkowo (woj. pomorskie). Firma inżynierska, specjalizująca się w projektowaniu, produkcji, testowaniu i serwisowaniu systemów olejowych, paliwowych do turbin gazowych, turbin parowych, generatorów, kompresorów oraz wysokociśnieniowych napędów i systemów sterowania. Realizacja wytwornicy wodorowej (prototyp 2023). Cel: wybudowanie komercyjnej instalacji wytwarzania wodoru o mocy do 1 MW. Komercyjna nazwa produktu: Mini Green Box. Jest to autorskie rozwiązanie – w fazie B+R – generatora wodoru, który byłby skalowalnym i modułowym urządzeniem przeznaczonym do produkcji wodoru w procesie elektrolizy wody. Docelowo mógłby być wykorzystywany lokalnie, np. jako magazyn energii dla farm wiatrowych czy fotowoltaicznych, lub służyć jako źródło energii</p>	<p>https://rockfin.pl/</p>

	dla pojazdów transportu publicznego).	
--	---------------------------------------	--

Bibus Menos sp. z o.o.

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Gdańsk. Produkcja i sprzedaż w branżach pneumatyki, mechatroniki, hydrauliki siłowej, automatyki, techniki szynowej, druku 3D, a od niedawna elektromobilności. Firma zajmuje się zarówno dystrybucją komponentów, jak i projektowaniem, produkcją, serwisem, szkoleniami oraz doradztwem technicznym.	https://www.bibusmenos.pl/

SES HYDROGEN SA

O3: Produkcja zielonego wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Gdańsk. Realizacja mała- i wielkoskalowych projektów w obszarze produkcji, magazynowania i dystrybucji zielonego wodoru, zielonej energii oraz zielonego ciepła.	https://seshydrogen.com/

	Wiodąca firma na Pomorzu pod kątem innowacji wodorowych.	
--	--	--

Exion Hydrogen Polskie Elektrolizery

O3: Produkcja zielonego wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Gdańsk. Produkcja elektrolizerów. Spółka założona w 2021 r. przez ZE PAK S.A. i Cyfrowy Polsat S.A.	https://exionhydrogen.com/

HAND2BAND GROUP SP. Z O.O.

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Gdańsk. Firma dostarczająca usług IT, m.in. w branży greentech.	https://h2b-group.com/

W2H2 Waste to Hydrogen

O3: Produkcja zielonego wodoru

O4: Produkcja oprzyrządowania do produkcji zielonego wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Gdynia. Startupem kieruje prof. Bogusław Kusz z Politechniki Gdańskiej. Jego zespół opracował technologię utylizacji odpadów z tworzyw sztucznych w kierunku otrzymywania wodoru. I MIEJSCE w XXV edycji „Polskiego Produktu Przyszłości”.	https://w2h2.pl/

Ekocel – Zoeller Group (Zoeller Tech)

O7: Odbiorcy wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Rekowo Górne. Produkcja pojazdów komunalnych elektryczno-wodorowych. jednym z nich jest śmieciarka Bluepower.	https://w2h2.pl/

ASE – Grupa Technologiczna

O6: Magazynowanie wodoru

Rodzaj	Rola	Adres
--------	------	-------

podmiotu		internetowy
Firma	Gdańsk. Producent własnych magazynów energii. Projektowanie morskich farm wiatrowych oraz instalacji wodorowych. Usługi na każdym etapie: od badań środowiskowych, poprzez pozwolenia na budowę i projekty aż po audyty bezpieczeństwa oraz ochronę przeciwwybuchową w strefach zagrożonych wybuchem.	https://grupaase.com.pl/

Kancelaria Radców Prawnych Mądry, Sznycer, Sambożuk i Partnerzy

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Kancelaria	Gdańsk. Kancelaria prawna i firma doradcza, która działa m.in. w obszarze wsparcia rozwoju gospodarki wodorowej.	https://mgs-law.eu/h2/

Kancelaria Radców Prawnych Stankiewicz Własów i Partnerzy

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Kancelaria	Gdańsk. Kancelaria prawna, wsparcie przedsiębiorców w	https://www.kanc

	prawie energetycznym, prawie gospodarczym, prawie pracy i pracy nowych technologii.	elarie.gda.pl/
--	---	--

GreenWay Polska sp. z o.o.

O7: Odbiorcy wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Gdynia. Infrastruktura elektromobilności, stacje ładowania w całej Polsce, w tym w woj. pomorskim. Wykorzystanie wodoru w elektromobilności, proponenci samochodów w pełni elektrycznych (BEV).	https://greenwaypolska.pl/

Polskie Stowarzyszenie Paliw Alternatywnych

O7: Odbiorcy wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Organizacja branżowa	Poziom ogólnopolski. Największa organizacja branżowa (ponad 200 firm) kształtująca rynek elektromobilności i technologii wodorowych w Polsce i regionie CEE. Integrujemy wiodące marki z całego łańcucha wartości elektromobilności.	https://pspa.com.pl/

Energy Market Observer sp. z o.o. (Enmaro)

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Gdynia. Oferuje doradztwo na każdym etapie rozwoju projektu inwestycyjnego: od założeń koncepcyjnych do etapu eksploatacji, napraw i konserwacji, aż po strategię utylizacji i recyklingu.	https://enmaro.com/

CO-MADE sp. z o. o.

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Gdynia. Produkcja półprzewodników energii odnawialnej. Zarządzanie łańcuchem dostaw, kontrola jakości, wstępna kwalifikacja i audyty dostawców. Usługi doradcze, badania rynku, wsparcie HR, szkolenia i edukacja.	https://comade.pl/

Lab Control sp. z o. o.

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Gdańsk. Usługi IT dla laboratoriów. Systemy zarządzania i raportowania przydatne w złożonych projektach tworzenia infrastruktury wodorowej.	https://www.labcontrols.com/

Fiorentini Polska Sp z o.o.

O3: Produkcja zielonego wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma globalna	Poznań. Włoska firma; dołączyła do Klastra Wodorowego. Posiada doświadczenie w całym łańcuchu dostaw gazu ziemnego, chce je wykorzystać do rozwoju działań w kierunku rozwoju technologii związanych z energią z produkcji zielonego wodoru.	https://www.fiorentini.com/en/

Westport Fuel Systems → Stako

O7: Odbiorcy wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Słupsk. Osiągnięcia: m.in. silnik spalinowy zasilany wodorem (montowany w ciężarówkach Scania).	https://stako.pl/

Poltraf sp. z o. o.

O4: Produkcja oprzyrządowania do produkcji zielonego wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Gdańsk. Dystrybucja aparatury kontrolno-pomiarowej. Wyłączny przedstawiciel i dystrybutor wielu urządzeń produkowanych za granicą. Przepływomierze, urządzenia do pracy z wodorem, detekcji gazów (m.in.: lotnych związków organicznych, SF6) oraz urządzenia HVAC. Wśród urządzeń m.in.: przetwornik ciśnienia wodoru, zawór do wodoru, przenośny detektor wodoru.	https://poltraf.com/

BIPRORAF sp. z o.o.

O4: Produkcja oprzyrządowania do produkcji zielonego wodoru

O5: Transport wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Gdańsk. Produkcja i budowa instalacji czystego wodoru dla klientów w Polsce. Firma uczestniczy w projektach produkcji wodoru szarego (uzyskiwany z gazu	https://biproraf.com.pl/

	ziemnego), jak i zielonego. Wytwarzanie wodoru i oczyszczanie. Koncepcje programowo-przestrzenne w zakresie czystych technologii wodorowych. Specjalizacja w EP – engineering & procurement.	
--	--	--

Sescom SA

O3: Produkcja zielonego wodoru

O7: Odbiorcy wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Gdańsk. Facility management. Optymalizacja zużycia energii i oszczędności – raporty, oceny, prognozy. Ocena bezpieczeństwa produktów wodorowych. Zeroemisyjne kotły wodorowe we współpracy z branżą deweloperską. W planach: budowa fabryki kompaktowego, inteligentnego generatora wodoru.	https://sescom.eu/

KB Pomorze sp. z o.o.

O5: Transport wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Gdańsk. Budowa instalacji produkcji wodoru. W ofercie: prefabrykacja rurociągów, kompletne wykonawstwo instalacji rurociągowych oraz rurociągów przesyłowych.	https://kbpomorz.e.pl/pl/kbp/

PGE Energetyka Kolejowa SA

O7: Odbiorcy wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	<p>Podmiot wchodzi do Pomorskiej Doliny Wodorowej. Celem są pociągi wodorowe (Zielona Kolej), a także budowa 50 kolejowych stacji wodorowych do 2028 r. Paliwo wodorowe może zastąpić olej napędowy w miejscach, gdzie jest utrudniona elektryfikacja (jest to aż 36% polskiej sieci kolejowej).</p> <p>Wodór sprzedawany na stacjach PKP Energetyka ma być wytwarzany poprzez elektrolizę z lokalnych</p>	https://pgeenergetykakolejowa.pl/prjekt/paliwo-przyszosci

źródeł OZE lub zakupiony od zewnętrznych dostawców.

Lotos Green H2 sp. z o.o

O3: Produkcja zielonego wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	<p>Komisja Europejska zatwierdziła pomoc publiczną dla spółki na 158 mln eur.</p> <p>Celem jest produkcja wodoru odnawialnego do wykorzystania w rafineryjnych procesach produkcyjnych. W ramach projektu ma powstać wielkoskalowa instalacja, złożona z elektrolizerów, magazynów wodoru i ogniw paliwowych lub ewentualnie turbin wodorowych, zarządzanych za pomocą innowacyjnego oprogramowania.</p> <p>Całość ma produkować zeroemisyjny wodór na potrzeby rafinerii i jednocześnie wspierać polski system elektroenergetyczny na zasadzie elektrowni szczytowo-pompowej. Zgodnie z planem zielony wodór będzie produkowany w gdańskiej rafinerii.</p>	<p>https://poland.representation.ec.europa.eu/news/pomoc-panstwa-wodur-z-lotusu-2023-04-12_pl</p>

Saudi Aramco

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Gdańsk. Saudyjski koncern paliwowo-chemiczny prowadzący poszukiwania i wydobywanie ropy naftowej. Koncern deklaruje gotowość współpracy w ramach gospodarki wodorowej.	https://poland.aramco.com/pl-pl

PESA Bydgoszcz SA

O7: Odbiorcy wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Pierwsza polska lokomotywa wodorowa produkcji tej firmy została dopuszczona do ruchu w czerwcu 2023 r. We wrześniu 2023 r. odbyła się testowa jazda z Gdyni do Helu (lokomotywa zakupiona przez Orlen).	https://pesa.pl/

PAK-PCE Polski Autobus Wodorowy sp. z o.o.

O7: Odbiorcy wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Produkcja polskich autobusów wodorowych (NesoBus). Miasto Gdańsk podpisało umowę z firmą na dostawę 18 autobusów (jesień 2023 r.).	https://www.nesobus.pl/

Grupa Orlen

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	W planach: kompleksowe wdrożenie <i>Strategii wodorowej Grupy ORLEN do 2030 roku</i> , która ma włączyć grupę we wszystkie etapy łańcucha dostaw gospodarki wodorowej. Lider Bursztynowej Doliny Wodorowej, której celem jest stworzenie pełnego łańcucha wartości gospodarki wodorowej w województwie pomorskim, promowanie w tym zakresie partnerstw i budowanie kompetencji.	https://www.orklen.pl/pl https://www.orklen.pl/content/dam/internet/orklen/pl/pl/zrownowazony-rozwoj/strategia-wodorowa/Strategia-Wodorowa-Gru

		py-ORLEN.pdf
--	--	------------------------------

Gaz-System

O5: Transport wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Spółka odpowiedzialna za przesył gazu ziemnego, zarządzająca najważniejszymi gazociągami w Polsce i podmorskim gazociągiem Baltic Pipe, jest właścicielem terminalu LNG w Świnoujściu. W przyszłości najprawdopodobniej kluczowy podmiot w zakresie przesyłu i dystrybucji wodoru.	https://www.gaz-system.pl/pl/

STASTO Automation sp. z o.o.

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Warszawa. Firma inżynierska zajmująca się doborem oraz dostawą zaworów procesowych do instalacji przemysłowych, w tym wodorowych. Należy	http://www.stasto.eu/pl-pl/home

	do austriackiej grupy STASTO Automation KG. Firma jest członkiem Klastra Wodorowego.	
--	--	--

Exdin Solutions Sp z o.o.

O3: Produkcja zielonego wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	<p>Kraków. Projektowanie i wytwarzanie urządzeń ultrawysokich ciśnień. Dla sektora technologii wodorowych, dostarczane są specjalistyczne rozwiązania konstrukcyjne, które charakteryzują się wysoką odpornością na zjawisko kruchości wodorowej. Wykorzystanie produktów firmy przede wszystkim w Stacjach Tankowania Wodoru (HRS) przeznaczonych zarówno dla pojazdów lekkich (LDV), jak i ciężkich (HDV). Wytwarzanie: Kompresorów wielostopniowe, zbiorników akumulacyjnych wodoru i systemów kaskadowych oraz armatury o podwyższonej odporności na kruchość wodorową. Polski Produkt Przyszłości 2021.</p> <p>Członek Klastra Wodorowego.</p>	<p>https://www.exdin-solutions.com/pl</p>

Część II – zewnątrzni interesariusze

TotalEnergies

O3: Produkcja zielonego wodoru

O7: Odbiorcy wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma globalna	Francuski koncern z doświadczeniem w morskiej energetyce wiatrowej (w tym w produkcji elektrolizera komplementarnego do farm wiatrowych) czy też w tworzeniu infrastruktury stacji tankowania wodoru dla transportu ciężkiego.	https://totalenergies.pl/

Emerson Automation Solutions – Emerson Electric Co.

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma globalna	Warszawa i Katowice. Amerykańska firma – IT i rozwiązania inżynieryjne. Rozwiązania automatyki i analizy jakości wodoru. Firma opracowuje oprogramowanie i systemy umożliwiające bezpieczną i wydajną obsługę pierwszego na świecie morskiego procesu produkcji zielonego wodoru na działającej platformie gazowej.	https://www.emerson.com/pl-pl/automation/home

Inwebit sp. z o.o.

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Rozwiązania IT dla OZE, w tym wodoru.	https://inwebit.pl/pl/start

TUV SUD POLSKA SP. Z O.O.

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Warszawa. Kompleksowe usługi skierowane dla całego łańcucha wartości gospodarki wodorowej oraz wszystkich sektorów wspierających związanych z bezpieczeństwem, administracją i usługami eksperckimi. Zgodność z wymaganiami i regulacjami, certyfikacja, audyt bezpieczeństwa, prowadzenie testów w warunkach laboratoryjnych.	https://www.tuvsu.com/pl-pl

Stowarzyszenie Hydrogen Poland

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
NGO	Warszawa. Szeroko rozumiane doradztwo w zakresie wodoru.	http://hydrogen-poland.org/

Impact Clean Power Technology SA

O7: Odbiorcy wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Pruszków. Producent systemów bateryjnych dla transportu, robotyki oraz stacjonarnych magazynów energii.	https://icpt.pl/

H2 Energy

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Kraków. Prowadzenie badań związane z wytwarzaniem, gromadzeniem, transportem i wykorzystaniem czystego wodoru. Członek European Clean Hydrogen Alliance.	https://h2energy.com.pl/

Swagelok

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Czeska firma. Wsparcie w zakresie systemów przepływowych – gotowe instalacje i oferta zindywidualizowana. Kontrola poziomu emisji energii, doradztwo, szkolenia.	https://poland.swagelok.com/pl

Yokogawa Polska sp. z o.o

OO: Inne

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Warszawa. Japońska firma, zainteresowana włączeniem się do polskiej gospodarki wodorowej w aspekcie infrastruktury cyfrowej – np. rozwiązania chmurowe. Łączność systemowa, kontrola w czasie rzeczywistym łańcucha wartości, zarządzanie informacją w czasie rzeczywistym, AI.	https://www.yokogawa.com/pl/

ARTHUR BUS sp. z o.o

O7: Odbiorcy wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Lublin. Produkcja autobusów napędzanych wodorem.	https://www.arthurbus.com/

ML System SA

O4: Produkcja oprzyrządowania do produkcji zielonego wodoru

Rodzaj podmiotu	Rola	Adres internetowy
Firma	Podkarpacie. Produkcja wysokowydajnego elektrolizera.	https://ir.mlssystem.pl/

Lista podmiotów uczestniczących w konsultacjach projektu

Poniżej prezentujemy listę podmiotów, których przedstawiciele zaangażowali się w proces na różnych etapach projektu:

1. Regionalna Izba Gospodarcza Pomorza
2. Klaster Technologii Wodorowych
3. MMI-Bus
4. Gdańskie Autobusy i Tramwaje
5. Worthington Industries
6. STASTO Automation sp. z o.o.
7. Port Gdynia SA
8. Rockfin sp. z o.o.
9. Orlen SA
10. Sescom SA
11. DALMOR Property Management sp. z o.o.
12. Graal SA
13. GAZ-SYSTEM SA
14. SBB ENERGY SA
15. Hydrogen First
16. Comest
17. RWE Renewables GmbH
18. STOKOTA
19. Clean Air Task Force
20. INTECH Engineering
21. Politechnika Gdańska, Centrum Technologii Wodorowych

22. W2H2 Waste to Hydrogen
23. Hydrogen Polska BIZ
24. Rafineria Gdańska
25. Zachodniopomorski Klaster Morski
26. Bureau Veritas Polska
27. Polskie Stowarzyszenie Magazynowania Energii
28. Sevivon sp. z o.o.
29. Pomorska Specjalna Strefa Ekonomiczna sp. z o.o.
30. MZK Wejherowo
31. Urząd Miejski Gdynia
32. Urząd Dozoru Technicznego w Gdańsku
33. Dolnośląska Dolina Wodorowa
34. Rumia Invest Park sp. z o.o.
35. Aragon sp. z o.o.
36. Sunfarming Polska sp. z o.o.
37. Exion Hydrogen

Lista technologii wodorowych według klas IPC

Klasa IPC	Opis
C01B 3/38	Produkcja wodoru lub gazowych mieszanin zawierających wodór; w reakcji gazowych lub ciekłych związków organicznych z czynnikami zgazowującymi, np. wodą, dwutlenkiem węgla, powietrzem; z zastosowaniem katalizatorów
C10L	Paliwa nieprzewidziane w inny sposób (paliwa do wytwarzania gazu pod ciśnieniem, np. do rakiet C06D5/00; świec C11C; paliwa jądrowego G21C3/00); gazu ziemnego; syntetycznego gazu ziemnego otrzymywanego w procesach nieobjętych podklasami C10G, C10K; skroplonego gazu ziemnego; dodawania materiałów do paliw lub ogni w celu ograniczenia dymu lub nieprzyjemnych osadów lub w celu ułatwienia usuwania sadu, pożarników
C25B	Procesy elektrolityczne lub elektroforetyczne do wytwarzania związków lub niemetalu; aparatura do tych procesów (ochrona anodowa lub katodowa C23F13/00; wzrost monokryształów C30B)
H01M 8/22	Ogniwa paliwowe, w których paliwo jest oparte na materiałach zawierających węgiel lub tlen lub wodór i inne pierwiastki; Ogniwa paliwowe, w których paliwo jest oparte na materiałach zawierających wyłącznie pierwiastki inne niż węgiel, tlen lub wodór
H01M 8/04	Układy pomocnicze, np. do kontroli ciśnienia lub cyrkulacji płynów
H01M 8/06	Połączenie ogniwa paliwowych ze środkami do produkcji reagentów

	lub przetwarzania pozostałości
F17C 5/00	Metoda lub urządzenie do napełniania zbiorników ciśnieniowych skroplonymi, zestalonymi lub sprężonymi gazami
F17C 5/06	Do napełniania sprężonymi gazami
F17C 13/00	Szczegóły dotyczące zbiorników lub ich napełniania lub opróżniania
F17C 13/02	Specjalne adaptacje urządzeń wskazujących, pomiarowych lub monitorujących
F25J	Przechowywanie lub dystrybucja gazów lub płynów; statki do zawierania lub przechowywania gazów sprężonych, skroplonych lub stałych; pojemniki na gaz o stałej pojemności; napełnianie statków lub wyładowywanie ze statków gazów sprężonych, skroplonych lub stałych (przechowywanie płynów w naturalnych lub sztucznych zagłębieniach lub komorach w ziemi B65G 5/00; budowa lub montaż zbiorników do magazynowania luzem z zastosowaniem technik inżynierii lądowej i wodnej E04H 7/00; zbiorniki gazu o zmiennej pojemności F17B; maszyny, instalacje lub układy do skraplania lub chłodzenia F25)
B01J	Procesy chemiczne lub fizyczne, np. kataliza lub chemia koloidalna; ich odpowiednie aparaty
B01D	Separacja (oddzielanie ciał stałych od ciał stałych metodami mokrymi B03B, B03D, za pomocą przyrządów lub stołów pneumatycznych B03B, innymi metodami suchymi B07; magnetyczne lub elektrostatyczne oddzielanie ciał stałych od ciał stałych lub cieczy,

oddzielanie za pomocą pól elektrycznych o wysokim napięciu B03C; wirówki B04B; aparatura wirowa B04C; prasy do wyciskania cieczy z materiałów zawierających ciecz B30B 9/02)
--

FP:(hydrogen or fuel or power or energy or low or reduc or neutral or recycl or reuse)
OR PL_DE:(„wodór” or „wodorze” or „wodoru”) AND IC:(„C10L” or „C25B1/02” or „C01B3/38”) AND CTR:(PL) AND DP:([01.01.2003 TO 02.07.2023])

FP:(fuel or power or energy or low or reduc or neutral or recycl or reuse) AND
PL_DE:(„wodór” or „wodorze” or „wodoru”) AND IC:(„B01J” or „B01D”) AND CTR:(PL)
AND DP:([01.01.2003 TO 02.07.2023])

FP:(hydrogen or fuel or power or energy or low or reduc or neutral or recycl or reuse)
OR PL_DE:(„wodór” or „wodorze” or „wodoru”) AND IC:(„H01M 8/04” or „H01M 8/22” or „H01M 8/06”) AND CTR:(PL) AND DP:([01.01.2003 TO 02.07.2023])

FP:(fuel or power or energy or reduc or neutral or recycl or reuse) AND PL_DE:(„wodór”
or „wodorze” or „wodoru”) AND CPC:(Y02E60/50) AND CTR:(PL) AND DP:([01.01.2003
TO 02.07.2023]) ANDNOT IC:(„H01M 8/06” or „H01M 8/22” or „H01M 8/04”)

Wykaz skrótów

- CO₂ – dwutlenek węgla
- CCS – technologia wychwytywania i magazynowania CO₂
- ee – energia elektryczna
- ESG – zagadnienia dotyczące środowiska (ang. *environmental*, E), społeczeństwa (ang. *social*, S), ładu korporacyjnego (ang. *governance*, G)
- GH₂ – zielony wodór
- GOZ – gospodarka obiegu zamkniętego
- IIoT – przemysłowy internet rzeczy
- IoT – internet rzeczy
- KSE – Krajowy System Elektroenergetyczny
- LCOE – uśredniony koszt energii
- LH₂ – ciekły wodór
- MŚP – małe i średnie przedsiębiorstwa
- OZE – odnawialne źródła energii
- PEP – Polityka Energetyczna Polski
- PG – Politechnika Gdańska.
- SAF – zrównoważone paliwo lotnicze
- SRK – Sektorowe Ramy Kwalifikacji

Ilekoć podane są wartości w dolarach (dol.), oznaczają one dolary amerykańskie.

Notki metodologiczne

Badanie CATI

Badanie zostało przeprowadzone przez Grupę Badawczą DSC sp. z o.o. metodą wywiadów telefonicznych CATI (Computer-Assisted Telephone Interview). Operat losowania zakupiony w firmach bazodanowych zawierał 11 862 rekordy odnoszące się do przedsiębiorstw mających swoją lokalizację na terenie województwa pomorskiego oraz zatrudniających powyżej 10 pracowników. W celu realizacji badania wykonano 16 556 prób połączenia na losowo wybierane numery, z których 3 266 było skutecznych. W przypadku 2 912 z nich ankieterzy spotkali się z odmową udziału w badaniu, pozostałe złożyły się na bazę 350 przeprowadzonych kompletnych wywiadów. Respondenci byli dobierani spośród managerów średniego i wyższego szczebla, odpowiedzialnych za transformację energetyczną, kwestie środowiskowe i związane z ESG w przedsiębiorstwie.

Metodologia tworzenia scenariuszy

Niepewności i ramowe czynniki zmian

Wybór niepewności, które odnosiły się do gospodarki wodorowej i miały stanowić kościec scenariuszy, odbywał się na dwa sposoby: przez *desk research* zespołu projektowego i w ramach konsultacji z interesariuszami podczas spotkań i ankiety online przeprowadzonej za pośrednictwem platformy Google Forms.

W efekcie wyodrębniono blisko 130 niepewności o charakterze politycznym, ekonomicznym, społecznym, technologicznym, prawnym i środowiskowym. Następnie, w toku prac zespołu projektowego, niepewności zostały poklastrowane, by stworzyć listę ramowych czynników zmian – w kontekście tego projektu oznaczały

one niepewności, których rozstrzygnięcie może istotnie zaważyć na możliwościach ukształtowania się i formie gospodarki wodorowej.

Zdefiniowanie ramowych czynników zmian miało z kolei posłużyć budowie załączków scenariuszy. Ramowe czynniki zmian miały spełniać następujące warunki:

- wpływać w sposób istotny na możliwość lub sposób budowy gospodarki wodorowej na Pomorzu w 2030 z perspektywą do 2040 r.;
- charakteryzować się wysoką niepewnością (niemożnością jednoznacznego stwierdzenia, jak będą kształtować się do 2030 z perspektywą do 2040 r.);
- być względem siebie względnie niezależne (zmiana jednego czynnika nie może mieć wpływu na zmianę drugiego).

Zespół projektowy dokonywał wyboru ramowych czynników zmian spośród następującej listy:

I.p.	Czynniki zmian	Wariant A	Wariant B
1	Model rozwoju gospodarki wodorowej	Model scentralizowany	Model rozproszony
2	Cena zielonego wodoru	Jesteśmy na drodze do osiągnięcia celu - 1 dol. za kg zielonego wodoru do 2050 r.	Jesteśmy daleko od osiągnięcia celu – koszt produkcji zielonego wodoru jest wciąż wysoki
3	Polityka klimatyczna UE	Została zaostrożona - UE przyspiesza dekarbonizację	Została zrewidowana - jest znacznie złagodzona, UE nie realizuje celów Fit For 55, nie dba o Europejski Zielony Ład

4	Dostępność funduszy na rozwój gospodarki wodorowej	Fundusze są szeroko dostępne	Bardzo ograniczona dostępność funduszy na rozwój gospodarki wodorowej
5	Konkurencyjność alternatyw w stosunku do wodoru w wybranych sektorach (np. rozwój baterii elektrycznych czy biopaliw)	Alternatywy w wybranych sektorach są konkurencyjne	Nie są konkurencyjne
6	Podejście władz centralnych do dekarbonizacji	Dekarbonizacja gwałtownie przyspiesza	Dekarbonizacja jest powolna
7	Atrakcyjność i dostępność wodoru z innych kierunków geograficznych	Wodór z innych kierunków geograficznych jest dostępny i atrakcyjny cenowo	Utrudniony dostęp do wodoru z innych kierunków geograficznych, ograniczona atrakcyjność cenowa
8	Poparcie społeczne dla dekarbonizacji i transformacji energetycznej	Jest silne	Jest słabe
9	Technologie wodorowe	Doszło do przełomów technologicznych, które wsparły rozwój gospodarki wodorowej	Brak poważniejszych przełomów tech., które mogłyby wesprzeć rozwój technologii wodorowych

Załączki scenariuszy

Proces rangowania przez zespół projektowy zaowocował wyborem następujących czynników:

- Konkurencyjność alternatyw w stosunku do wodoru w wybranych obszarach
- Podejście władz centralnych do dekarbonizacji.

	Alternatywy w wybranych sektorach są konkurencyjne	Alternatywy w wybranych sektorach nie są konkurencyjne
Dekarbonizacja gwałtownie przyspiesza	Scenariusz 1	Scenariusz 2
Dekarbonizacja jest powolna	Scenariusz 3	Scenariusz 4

Pozwoliło to na stworzenie następujących scenariuszy:

- **Scenariusz 1** – Alternatywy w wybranych sektorach są konkurencyjne
x Dekarbonizacja gwałtownie przyspiesza – **Wodór walczy o uwagę**
- **Scenariusz 2** – Alternatywy w wybranych sektorach nie są konkurencyjne
x Dekarbonizacja gwałtownie przyspiesza – **Wodorowe eldorado zza szyby**
- **Scenariusz 3** – Alternatywy w wybranych sektorach są konkurencyjne
x Dekarbonizacja jest powolna – **Wodór dla wybranych**
- **Scenariusz 4** – Alternatywy w wybranych sektorach nie są konkurencyjne
x Dekarbonizacja jest powolna – **Wodorowe doliny, wodorowe społeczności.**

Następnie scenariusze zostały uzupełnione o kluczowe niepewności prawne, technologiczne, polityczne i ekonomiczne tak, aby przedstawiały możliwie jak najszersze spektrum możliwych przyszłości gospodarki wodorowej.

Scenariusze otoczenia i scenariusze dla Pomorza

Scenariusze powstały w ramach prac zespołu projektowego. Na początku prac przyjęto założenia, że powinny one spełniać następujące cechy:

- Być różne od siebie wzajemnie;
- Mieć zbliżony poziom prawdopodobieństwa;
- Nie mieć ewidentnego nacechowania typu optymistyczny/pesymistyczny/średni;
- Być realistyczne.

Następnie scenariusze zostały poddane ocenie w badaniu delfickim na platformie 4CF HalnyX, w którym uczestniczyli interesariusze gospodarki wodorowej w województwie pomorskim. Eksperti i ekspertki musieli ocenić prawdopodobieństwo scenariuszy i uzasadnić swoje sądy, mieli też możliwość wzajemnego komentowania (popierania i negowania) pojawiających się w badaniu ocen. W kolejnym kroku zespół projektowy skorygował scenariusze, opierając się na komentarzach ekspertów i ekspertek.

Scenariusze zostały też poddane konsultacjom podczas spotkań branżowych, organizowanych przez 4CF i Regionalną Izbę Gospodarczą Pomorza w Gdańsku i Gdyni we wrześniu i październiku 2023 r. Osoby uczestniczące w warsztatach również zyskały możliwość odniesienia się do treści scenariuszy i zaproponowania korekt, które uważały za stosowne.

Proces zaowocował powstaniem czterech scenariuszy rozwoju gospodarki wodorowej do 2040 r. Stanowiły one podstawę do przygotowania przez zespół ekspertów 4CF czterech scenariuszy gospodarki wodorowej na Pomorzu w 2040 r.

Rekomendacje dla scenariuszy

Scenariusze stanowiły wytyczną do dalszych prac analitycznych, które miały wesprzeć proces strategizowania województwa pomorskiego w zakresie budowy gospodarki wodorowej na Pomorzu. W ich ramach zespół projektowy posłużył się metodą backcastingową, aby w warunkach każdego scenariusza:

- Zidentyfikować niezbędne działania;
- Wskazać korzyści i niezbędne nakłady;
- Wskazać warunki powstania hubu/hubów zielonej energii na terenie województwa pomorskiego, rozumianych tutaj jako lokalne ekosystemy tworzące regionalną gospodarkę wodorową na Pomorzu.

Wizja, misja i cele

Kulminacyjna część projektu była poświęcona wypracowaniu wizji, misji i celów dla województwa pomorskiego w zakresie budowy gospodarki wodorowej na Pomorzu. Fundament do ich formułowania stanowiły rezultaty procesów badawczo-analitycznych podjętych na poprzednich etapach projektu. Proces został dodatkowo wsparty

przez działania zmierzające do zbadania oczekiwań pomorskich przedsiębiorców względem polityk zewnętrznych, regulacji prawnych i sposobu finansowania rozwoju ekosystemu. Odbyło się to dwutorowo – podczas konsultacji branżowych i w ramach ankiety online przeprowadzonej za pośrednictwem platformy Google Forms.

Zarówno proponowana wizja, jak i misja, a także wynikające z nich cele były przedmiotem konsultacji z lokalnymi interesariuszami gospodarki wodorowej, które odbyły się podczas warsztatów współorganizowanych przez 4CF i Regionalną Izbę Gospodarczą Pomorza we wrześniu i październiku br. w Gdańsku i Gdyni. Dodatkowo interesariusze – zarówno ci, którzy wzięli udział w konsultacjach, jak i ci, którzy nie mogli w nich uczestniczyć – otrzymali możliwość odniesienia się do celów strategicznych i zaproponowania celów szczegółowych w ramach ankiety, rozesłanej w połowie października br., przed złożeniem niniejszego raportu.

Analiza bezpieczeństwa

Wprowadzenie – wodorowe niebezpieczeństwa i wyobraźnia społeczna

Przystępując do analizy ryzyka dla nowego zjawiska energetycznego, należy sięgnąć do powszechnej wyobraźni w odbiorze – czym jest lub czym może być paliwo wodorowe. Wpisując do wyszukiwarki Google hasło „groźny wodór”, uzyskuje się serię artykułów na temat zagrożeń, jakie wodór może tworzyć dla środowiska naturalnego. Anglojęzyczne strony internetowe pełne są publikacji na temat niebezpiecznej strony wodoru oraz takich, które opisują maksymalizację bezpieczeństwa jego przechowania. Należy mieć świadomość różnorodnych zagrożeń związanych ze stosowaniem i magazynowaniem wodoru. Wiele z nich można łatwiej złagodzić na lądzie, ale stanowią one jeszcze większe zagrożenie w zamkniętych przestrzeniach.

Do podstawowych ryzyk towarzyszących przechowywaniu wodoru należą:

- **Zapłon (ogień):** Wodór stosowany jako paliwo jest wysoce łatwopalny. Jest to prawdopodobnie najbardziej znane ryzyko związane z wodorem i innymi gazami, takimi jak propan, acetylen i butan. Jednakże pożary wodorowe znacznie różnią się od innych pożarów paliwowych. W przypadku wycieku cięższych paliw, takich jak benzyna lub olej napędowy, gromadzą się one blisko ziemi. Jednak jako jeden z najlżejszych pierwiastków na Ziemi wodór szybko rozprasza się w górę. Zagrożenia z tym związane dodatkowo zwiększa podwyższona reaktywność wodoru – zapala się on i spala znacznie łatwiej niż inne paliwa. Co więcej, płomienie wodoru są niewidoczne, co utrudnia zlokalizowanie miejsca pożaru.
- **Ryzyko uduszenia dla osób pracujących w pomieszczeniach narażonych na rozszczelnienie wodoru:** W swoim zwykłym stanie wodór jest nietoksyczny, ale w zamkniętych pomieszczeniach może gromadzić się i wypierać tlen, co może prowadzić do uduszenia. Wodór jest zwykle przechowywany w zamkniętych przestrzeniach, takich jak magazyny akumulatorów, które można szybko napełnić bezwonny gazem, co sprawia, że niezwykle czuły i niezawodny system detekcji jest niezbędny do zapewnienia bezpieczeństwa załodze. Niektórzy dostawcy próbują zmniejszyć ryzyko uduszenia przez wodór i inne gazy, takie jak metan i propan, dodając do nich środki zapachowe – sztuczne zapachy mające na celu ostrzeganie osób znajdujących się w pobliżu o wycieku. Nie można jednak polegać na tym jako czynniku bezpieczeństwa. Ponieważ wodór szybko się rozprasza, zapach syntetyczny zwykle nie przemieszcza się wraz z nim, co w konsekwencji naraża załogę na śmiertelne skutki na długo przed wykryciem wycieku.
- **Trudno wykrywalny:** Dodatkowym ryzykiem (ale czyniącym wodór szczególnie niebezpiecznym) jest jego niewykrywalność. Wodór jest bezwonny, bezbarwny

i pozbawiony smaku, dlatego wycieki są prawie niemożliwe do wykrycia wyłącznie ludzkimi zmysłami. Może to spowodować stratę cennego czasu pomiędzy początkowym wyciekami a potencjalnym zdarzeniem, co uwydatnia potrzebę niezawodnej i wydajnej technologii czujników (omówionej bardziej szczegółowo poniżej).

- **Ryzyko urazu osób pracujących przy zbiornikach z wodorem:** Mniej powszechnym, ale zauważalnym ryzykiem związanym z wodorem są odmrożenia. Ponieważ wodór jest zwykle przechowywany i transportowany w stanie skroplonym w zbiornikach ze sprężonym wodorem, jest on wyjątkowo zimny. Jeśli wodór w tym stanie wycieknie i wejdzie w kontakt ze skórą, może spowodować poważne odmrożenia, co w konsekwencji może być przyczyną utraty kończyn.

Największym czynnikiem ryzyka jest wysoka łatwopalność i wybuchowość wodoru. Jako taki wodór stosowany w ogniwach paliwowych może powodować pożary i eksplozje, jeśli nie będzie się z nim właściwie obchodzić. Wodór jest gazem bezbarwnym, bezwonny i pozbawiony smaku. Gaz ziemny i propan również są bezwonne, ale do gazów tych dodaje się środek zapachowy zawierający siarkę (Mercaptan), aby umożliwić wykrycie wycieku. Trudno stwierdzić, czy doszło do wycieku wodoru, ponieważ nie ma on zapachu. Wodór jest bardzo lekkim gazem. Nie są znane żadne środki zapachowe, które można dodać do wodoru, a które są wystarczająco lekkie, aby dyfundować z taką samą szybkością jak wodór. Innymi słowy, zanim pracownik poczuje zapach środka zapachowego, stężenie wodoru mogło już przekroczyć dolną granicę palności.

Pożary wodoru są niewidoczne i jeśli pracownik uważa, że doszło do wycieku wodoru, zawsze należy założyć, że pojawił się płomień. Jeżeli od pracowników wymaga się gaszenia pożarów związanych z wodorem, pracodawcy muszą zapewnić im niezbędny sprzęt chroniący ich przed niewidzialnymi płomieniami i potencjalnym zagrożeniem

wybuchem. Istnieje kilka norm amerykańskiej Occupational Safety and Health Administration OSHA, które mogą mieć zastosowanie w przypadku pracodawców produkujących lub stosujących wodór.

Wodór i jego zalety oraz zagrożenia – gra skojarzeń

Gospodarka wodorowa cieszy się opinią wschodzącej gałęzi energetyki, która przyczyni się do obniżenia cen energii i emisji zanieczyszczeń, a także do pobudzenia wzrostu gospodarczego i stworzenia nowych miejsc pracy. Wodór ma być również szansą na uniezależnienie się od dostaw gazu i paliw z Rosji oraz innych oddalonych dostawców i wysokim współczynnikiem ryzyka politycznego. Na pierwszy rzut oka są to zatem same korzyści.

Jednak z perspektywy bezpieczeństwa i potencjalnych ryzyk konieczne jest również spojrzenie krytyczne, zakładające antycypację zachowań przedstawicieli różnych grup i środowisk przeciwnych zmianie w sektorze energii. Poszukując skojarzeń dotyczących niebezpieczeństw związanych z wodorem, nie sposób nie trafić na dwa terminy i zdarzenia, które na trwałe zapisały się w pamięci zbiorowej.

1. Pierwszym z terminów jest „bomba wodorowa”, której sława podnoszona jest dzięki swej groźnej nazwie „car bomba” (dla tej bomby bomba atomowa stanowi jedynie zapalnik) wraz z testem przeprowadzonym przez Sowietów 12 sierpnia 1953 r.
2. Drugim ikonicznym wydarzeniem było błyskawiczne spłonienie sterowca Hindenburg z maja 1937 r. podczas cumowania na lotnisku w Lakehurst w stanie New Jersey (USA). Zginęło 13 pasażerów i 22 członków załogi oraz główny członek załogi naziemnej. Do pożaru doszło w wyniku rozszczelnienia zbiornika z wodorem oraz jego zapłonu.

Porównanie z bombą wodorową i katastrofa sterowca nie pomagają w planach rozpowszechniania wodoru jako paliwa zarówno dla transportu, jak i źródła energii

dla użytkowników indywidualnych lub biznesu. Skojarzenie wodoru = bomba może być – i z pewnością będzie – eksploatowane przez przeciwników instalacji wodorowych.

Świadomość istnienia takich skojarzeń w wyobraźni społecznej powinna stanowić punkt wyjścia każdej strategii, która zmierza do budowy gospodarki wodorowej. Jej powołanie do życia i późniejszy rozwój będą niemożliwe bez właściwego zaadresowania obaw społeczeństw związanych z wodorem.

Analiza podatności wodoru w stosunku do innych paliw – dekonstrukcja skojarzeń

Przed podjęciem analizy ryzyka warto dokonać zestawienia podstawowych obecnie używanych paliw w odniesieniu do wodoru. Analiza ta pomoże stanąć w obliczu faktów i zmierzyć się zarówno z nimi, jak i z mitami na temat wodoru.

Właściwości	Wodór	Metan	Benzyna
Rozmiar cząsteczek	Najmniejszy rozmiar cząsteczki w rezultacie najwyższy stopień wycieku (+)	Rezultatem jest mały rozmiar cząsteczki w wysokim stopniu wycieku (++)	Powoduje to duży rozmiar cząsteczki niski poziom wycieku (+++)
Zagrożenie pożarowe od rozlewu paliwa	Szybki rozwój (+)	Rozwój średnio zaawansowany (++)	Wolny rozwój (+++)
Czas trwania pożaru	Najkrótszy (+++)	Średni (++)	Najdłuższy (+)
Temperatura płomienia	Podobny jak w innych wymienionych (2000°C)	Podobny jak w innych wymienionych (2000°C)	Podobny jak w innych wymienionych (2000°C)

Nawanie (nadawanie zapachu) dla wykrywania wycieków	Niedozwolone, jeśli jest używane jako paliwo do ogniw paliwowych (+)	Sztucznie aromatyzowany merkaptany (++)	Normalnie zapachowy (+++)
Pławność	14,5 razy lżejszy od powietrza w NTP (+++)	1,8 razy lżejszy od powietrza w temp. NTP (++)	Cięższy od powietrza (+)
Energia (siła) eksplozji	Najniższa na wolumen (+++)	Średnia na wolumen (++)	Najwyższa na wolumen (+)
Palność i limity detonacji	Najszerze limity (+)	Limity pośrednie (++)	Najwęższe granice (+++)
Energia zapłonu	1/14 metan i 1/12 benzyny (+)	14 razy wodoru (++)	12 razy wodoru (+++)
Temperatura samozapłonu	Najwyższa temperatura samozapłonu (585°C) (+++)	Wysoka temperatura samozapłonu (540°C) (++)	Niskie temperatury samozapłonu (227-477°C) (+)
Deflagracje	W środowisku zamkniętym: wzrost ciśnienia stosunek <8:1 (+) Nieograniczony: Zwykle <7 kPa	Ograniczone: Współczynnik wzrostu ciśnienia <8:1 (+) Nieograniczony: Zwykle <7 kPa	Ograniczone: Współczynnik wzrostu ciśnienia 70–80% wodoru (++) Nieograniczony: Zwykle <7 kPa

Detonacje	Współczynniki wzrostu ciśnienia ~15:1 (+) Czas do osiągnięcia maksymalnego ciśnienia: 10 razy krócej niż metan (+)	Stosunek wzrostu ciśnienia ~15:1 (+) Czas do osiągnięcia maksymalnego ciśnienia: 10 razy większy niż wodór (+++)	Stosunek wzrostu ciśnienia ~12:1 (++) Czas do osiągnięcia maksymalnego ciśnienia: 10 razy większy niż wodór (+++)
Niebezpieczeństwo o odłamków	Zwykłe obudowy (L/D < 30): O takie same jak dla metanu i powietrza (+). Tunele lub rury: Największe ryzyko z powodu tendencji do DDT (+)	Zwykłe obudowy (L/D < 30): Mniej więcej tak samo jak dla wodoru i powietrza (+) Tunele lub rury: mniejsze ryzyko ze względu na tendencję do DDT (++)	Nieco mniej dotkliwe (++) Tunele lub rury: najniższe ryzyko ze względu na skłonność do DDT (+++)
Promieniowanie ciepłe	Najniższe (najniższe prawdopodobieństwo efektu domina) (+++)	Średnie (++)	Najwyższe (+)
Niebezpieczeństwo o zapłonu	Najmniej niebezpieczne (+++)	Mniej niebezpieczne (++)	Najbardziej niebezpieczne (+)
Widoczność płomienia	Najniższy (+)	Średnio zaawansowany (++)	Najwyższy (+++)
Walka z ogniem	Najtrudniejszy (+)	Średnio (++)	Mniej trudne (+++)

Całkowity wynik bezpieczeństwa (im niższy wskaźnik, tym wyższe bezpieczeństwo)	30+	33+	39+
---	------------	------------	------------

Wodór jest od dawna stosowany i bezpiecznie magazynowany w przemyśle w postaci gazu sprężonego lub skroplonego. Niski wskaźnik wypadkowości może wynikać z bardziej rygorystycznych środków bezpieczeństwa podjętych w związku z tym zagrożeniem materiału, niż ma to miejsce w innych sektorach przemysłu, takich jak przemysł materiałów wybuchowych. Raportowanie incydentów pokazuje, że obecnie incydenty laboratoryjne są najczęstsze (32,1 proc.) ze względu na intensywne badania, ale prawdopodobnie ulegnie to zmianie wraz z przewidywanym rozszerzonym wykorzystaniem wodoru. Z raportów wynika także, że gdy już doszło do zdarzenia, z ogólnej liczby dzisiejszych wypadków tylko niewielka ich część powoduje śmierć ludzi (4,6 proc.).

Rozważanie przyszłych zastosowań wodoru ujawnia pozornie możliwe do rozwiązania problemy bezpieczeństwa w przemyśle oraz w dystrybucji. Problemy te zostały zdefiniowane i praca nad bezpiecznymi rozwiązaniami jest w trakcie, są one stale udoskonalane.

Współczesne przypadki eksplozji wodorowych – case studies

Poniższa lista incydentów stanowiła źródło analiz do zapobiegania tego typu zdarzeniom w przyszłości:

- Norwegia – do wybuchu doszło 10 czerwca 2019 r. ok. godziny 17 na stacji paliw wodorowych Uno X w miejscowości Sandavik leżącej w południowej części

Norwegii (w pobliżu Oslo). Eksplozja była tak silna, że w samochodach w pobliżu otworzyły się poduszki powietrzne, a słysząc ją było w promieniu kilku kilometrów. W zdarzeniu nie było ofiar śmiertelnych, dwie osoby z lekkimi obrażeniami trafiły do szpitala. W wyniku eksplozji zamknięty został teren w promieniu 0,5 km wokół stacji, w tym odcinek dwóch przebiegających w pobliżu ruchliwych autostrad. W gaszeniu obiektu brało udział 9 zastępów straży pożarnej.

- USA – 29 lutego 2008 r. w firmie AB Specjalty Silicones w miejscowości Waukegan w stanie Illinois wodór doprowadził do eksplozji, w wyniku której zginęło czterech pracowników zakładu, a piąty dostał poważnych zranień. Budynek nie był wyposażony w działające czujniki wodoru i innych gazów palnych. Podczas gdy budynek wypełnił się łatwopalnymi oparami, pracownicy próbowali otworzyć obszar emisji na dopływ powietrza z zewnątrz i włączyć wentylatory, w wyniku czego doszło do nagłej eksplozji. Takie działanie pracowników nie było, jak potem wykazało śledztwo, najlepiej dobraną próbą reagowania.
- W maju 2019 r. w Gangneung w Korei Południowej doszło do wybuchu zbiornika wodoru. Zginęło dwóch mężczyzn, a kilka budynków, nawet oddalonych o ponad 100 metrów od miejsca zdarzenia, zostało poważnie uszkodzonych. Stwierdzono, że przyczyną eksplozji było przedostanie się tlenu do zbiornika wodoru. Było to stanowisko badawcze P2G, w którym wodór wytwarzany jest w procesie elektrolizy wody, gdzie funkcjonowały (3) stalowe zbiorniki do przechowywania wodoru o pojemności 40 000 litrów (ID: 2450 mm, H: 7668 mm) przy ciśnieniu roboczym 1 MPa. Na podstawie pobliskich uszkodzeń oszacowano, że równoważnik TNT wynosił około 50 kg. Nie doszło do wtórnego pożaru, a zniszczenia powstały jedynie na skutek ciśnienia detonacji. W odległości 15 metrów od zbiornika wodoru belka konstrukcyjna budynku została uszkodzona, a większość okien w 5-piętrowym budynku

oddalonym o około 100 metrów i skierowanym w stronę zbiornika wodoru została rozbita. Nie udowodniono pochodzenia zapłonu wewnątrz zbiornika wodoru.

- W 2007 r. rutynowa dostawa gazowego wodoru (GH₂) spowodowała śmiertelną eksplozję wodoru w elektrowni w Muskingum w stanie Ohio (USA).

Na podstawie ostatniego wymienionego przypadku powstała analiza case study, której celem było wyjaśnienie okoliczności i przyczyny zdarzenia. O wykonanie tej analizy poproszono WHA International, Inc., która istnieje, aby pomagać klientom w zrozumieniu, ocenie i łagodzeniu zagrożeń i ryzyka pożarowego związanego z tlenem i innymi niebezpiecznymi płynami poprzez analizy inżynierskie, testy, szkolenia i dochodzenia kryminalistyczne. Zgodnie z ustaleniami, które zostały zawarte w raporcie końcowym, ustalono następujące fakty:

„Okoliczności zdarzenia:

- 8 stycznia 2007 r. około godziny 9:00 personel umieścił dużą przyczepę rurową na miejscu w elektrowni. W przyczepie znajdowało się dziesięć butli wypełnionych wodorem pod ciśnieniem 17,2 MPa (2500 psi), które można było przeladować do dwóch znajdujących się na miejscu zbiorników magazynowych. Zbiorniki te mogły pomieścić do 15 000 stóp sześciennych przechowywanych pod ciśnieniem 2000 psi, co odpowiada około 35 kg wodoru.
- Dostawa była rutynową procedurą w zakładzie. Wodór miał służyć do chłodzenia generatorów. Doszło do uszkodzenia płytki bezpieczeństwa, wodór ulotnił się do rur wentylacyjnych i szybko przedostał do powietrza pod markizą, w wyniku czego doszło do zapłonu palnej mieszaniny.
- Eksplozja spowodowała śmierć kierowcy ciężarówki dostawczej, który zginął podczas wyłączenia źródła wodoru w swoim pojeździe. W zdarzeniu rannych zostało także dziesięciu pracowników pobliskiego zakładu, a eksplozja spowodowała uszkodzenia infrastruktury elektrowni.

- Zdarzenie to rozpoczęło się od przedwczesnej awarii płytki bezpieczeństwa w zbiorniku na miejscu. Teoretycznie awaria ta nie powinna doprowadzić do eksplozji. Wodór powinien był wydostać się przez odpowiednio zaprojektowany system wentylacyjny i rozproszyć się w atmosferze. Zamiast tego sprężony gaz spowodował awarię układu odpowietrzającego, uniemożliwiając ucieczkę wodoru.

Nieprawidłowości w konstrukcji zadaszenia (markizy) doprowadziły do gromadzenia się wodoru w nadmiernych ilości i w konsekwencji sprzyjały zapłonowi. W markizie zidentyfikowano wiele potencjalnych źródeł zapłonu:

1. Niewłaściwie została dobrana płytka bezpieczeństwa. Z powodu innych usterek konserwacyjnych płytka bezpieczeństwa uległa przedwczesnej awarii przy szacowanym ciśnieniu 1800 psi podczas przenoszenia wodoru z przyczepy rurowej;
2. Na 6 miesięcy przed wypadkiem powstała rekomendacja wymiany krążka bezpieczeństwa, która została zignorowana. Zainstalowano nieprawidłowy typ dysku, a do połączenia z oryginalnym korpusem odciążającym zastosowano części inne niż OEM o wątpliwej kompatybilności;
3. Nieadekwatnie dobrane procedury konserwacyjne wylotu rur tak, że do systemu mogła przedostawać się woda powodując korozję, którą stwierdzono na płytkach bezpieczeństwa.
4. Rurociąg odprowadzający wodór został nieprawidłowo wykonany z cienkościennej miedzi, nieodpowiednio przystosowany do ciśnienia i ciągu. Stwierdzono liczne naruszenia struktury rurociągu w wyniku korozji. Szafa regulatora również nie została zaprojektowana z myślą o bezpieczeństwie wodoru, ponieważ nie była wentylowana, a wewnątrz znajdowały się zawory nadmiarowe. W następstwie pierwszego uruchomienia w szafie wystąpił zlokalizowany pożar;

5. Stwierdzono niejednorodność wytrzymałości rur w miedzianych w systemie. Znacząco obniżało to wytrzymałość całego systemu.
6. Markiza pogodowa nad zbiornikiem magazynującym nie została zaprojektowana do wentylacji wymaganej ze względu na bezpieczeństwo wodoru i zgodność z przepisami. Kiedy uwolnił się wodór, unoszący się gaz został wypchnięty w górę po nachylonej linii dachu i zebrał się w przestrzeni zawartej przez trzy ściany;
7. Wskaźniki wybuchu wykazały, że pod markizą rozpoczął się wybuch wodoru, chociaż dokładne źródło zapłonu nie zostało jednoznacznie stwierdzone. Potencjalnymi źródłami zapłonu były wyładowania elektrostatyczne, oświetlenie elektryczne w markizie i panele elektryczne;
8. Podobny, mniej poważny, incydent miał miejsce około 2 lata wcześniej w zakładzie należącym do tej samej firmy. Płytką bezpieczeństwa uległa przedwczesnej awarii, co spowodowało awarię miedzianej rury odpowietrzającej oraz nagromadzenie i zapłon wodoru. W wyniku dochodzenia postawiono rekomendacje, których wcześniejsze postawienie zapobiegłyby z śmiertelnemu incydentowi w siostrzanym zakładzie, gdyby zostały właściwie wdrożone.”

Wnioski wypływające z tego incydentu oraz jego późniejszej analizy pokazują serię nieprawidłowości konstrukcyjnych oraz organizacyjnych, które w efekcie doprowadziły do poważnej w skutkach eksplozji.

Analiza ryzyka

Wprowadzenie

Gospodarka wodorowa wypracowała jeszcze własnych, sektorowych norm i standardów zapewnienia bezpieczeństwa obiektom, wyjąwszy normy BHP. Na obecnym etapie rozwoju i tworzenia koncepcji i metodologii zapewnienia bezpieczeństwa oraz odporności na zagrożenia i ryzyka stosuje się normę American

Petroleum Institute Standard 780. Standard opisuje jakościową metodologię oceny ryzyka bezpieczeństwa dla przemysłu naftowego i petrochemicznego. Metodologia ta jest systematycznym podejściem do identyfikacji, analizy i oceny problemów związanych z bezpieczeństwem oraz oferuje skuteczne środki zaradcze w tym zakresie, które powinny zostać zidentyfikowane w celu zmniejszenia ryzyka bezpieczeństwa.

Ryzyko bezpieczeństwa definiuje się jako prawdopodobieństwo, że zagrożenie skutecznie wykorzysta lukę w zabezpieczeniach i wynikający z tego stopień uszkodzenia lub uderzenia. Dlatego ryzyko bezpieczeństwa jest funkcją konsekwencji, wrażliwości i zagrożenia, które podąża za ekspresją relacyjną.

$$Rs = f(C, V, T)$$

gdzie:

Rs – to prawdopodobieństwo skutecznego działania przeciwko składnikowi aktywów, obejmujące oba prawdopodobieństwa tego działania: wystąpienie i prawdopodobieństwo powodzenia powodującego określony zestaw konsekwencji;

C – jest bezpośrednią i pośrednią konsekwencją udanego działania przeciwko aktywowi;

V – to podatność składnika majątku na działanie;

T – jest zagrożeniem związanym z czynem.

Procedura analizy ryzyka bezpieczeństwa składa się z charakterystyki, analizy zagrożeń, analizy podatności, jakościowej oceny ryzyka i zaleceń dotyczących środków zaradczych w zakresie bezpieczeństwa. Charakterystyka definiuje informacje o obiekcie i identyfikuje aktywa do analizy ryzyka. Analiza zagrożeń jest prowadzona w celu identyfikacji i oceny potencjalnych zagrożeń i ich działań. Wyniki analizy zagrożeń są opisane w arkuszu analizy zagrożeń, na który składa się opis zagrożenia, motywacja

zagrożenia, potencjalnych działań, zagrożenia możliwości, ranking możliwości zagrożenia (TCR), poziom istnienia zagrożenia (TEL) i ranking zagrożenia (TR). TR oblicza się poprzez pomnożenie TCR i TEL, które zdefiniowano odpowiednio w tabelach 1 i 2.

Analizę atrakcyjności/podatności przeprowadza się również w celu oszacowania wartości celu w stosunku do zagrożenia. Atrakcyjność jest oszacowana jakościowo poprzez względne porównanie każdego składnika aktywów przy użyciu definicji wymienionych w tabeli 3.

Analiza podatności jest przeprowadzana i opisana w arkuszu analizy podatności, na który składają się: zagrożenie, scenariusz, istniejący środek zaradczy, podatność, poziom konsekwencji (CL), ranking podatności 3 (VR), ranking zagrożeń (TR), ranking atrakcyjności (AR), poziom prawdopodobieństwa (LL) i ryzyko. CL i VR są zdefiniowane odpowiednio w tabelach 4 i 5. TR i AR są szacowane podczas analizy zagrożeń. LL oblicza się poprzez pomnożenie VR, TR i AR, a wartość LL zaokrągla się w górę dla ryzyka tradycyjnych metod oszacowania. Na podstawie jakościowego oszacowania ryzyka, zagrożenia bezpieczeństwa podsumowuje się w macyzy ryzyka. W tym badaniu dodatkowo przeprowadzono szczegółową analizę konsekwencji w oparciu o zidentyfikowany scenariusz. Na koniec zaproponowano środki zaradcze bezpieczeństwa, aby zalecić plan redukcji ryzyka bezpieczeństwa.

1. Zestawienie potencjalnych ryzyk

Ranga	Poziom	Opis
5	Bardzo wysoki	Zagrożenie ma wystarczającą zdolność, aby spowodować utratę lub uszkodzenie mienia.
4	Wysoki	Zagrożenie ma dużą zdolność spowodowania utraty lub uszkodzenia zasobu.

3	Średni	Zagrożenie ma umiarkowaną zdolność do ataku na zasób.
2	Niski	Zagrożenie ma niską zdolność do pokonania środków zaradczych i ataku na zasób.
1	Bardzo niski	Zagrożenie ma niewiele możliwości pokonania środków zaradczych i zaatakowania zasobu.

2. Poziom istnienia zagrożenia

Ranga (Mnożnik)	Poziom	Opis
5 (1.0)	Bardzo wysoki	Istnieje wiarygodne zagrożenie dla zasobu, a zagrożenie atakuje każdego roku.
4 (0.8)	wysoki	Istnieje wiarygodne zagrożenie dla zasobu, a zagrożenie atakuje co 5 lat.
3 (0.6)	Średni	Możliwe zagrożenie dla mienia i ataki zagrażające co 10 lat.
2 (0.4)	Niski	Niskie zagrożenie dla zasobu, a zagrożenie pojawia się raz w ciągu całego okresu eksploatacji wodoru.
1 (0.2)	Bardzo niski	Nie ma zagrożenia dla mienia.

3. Ranking atrakcyjności

Ranga	Poziom	Opis
5	Bardzo wysoki	Zagrożenie wiązałoby się z bardzo wysokim stopniem zainteresowania aktywem w porównaniu z innymi aktywami.
4	Wysoki	Zagrożenie wiązałoby się z wysokim stopniem zainteresowania aktywem w porównaniu z innymi aktywami.

3	Średni	Zagrożenie wiązałoby się z umiarkowanym stopniem zainteresowania aktywem w porównaniu z innymi aktywami.
2	Niski	Zagrożenie wiązałoby się z pewnym stopniem zainteresowania aktywem, ale jest mało prawdopodobne, że będzie ono większe w porównaniu z innymi aktywami.
1	Bardzo niski	Zagrożenie nie byłoby zainteresowane aktywem lub nie byłoby go wcale.

4. Definicja rankingu konsekwencji

Ranga	Ofiary wypadku	Koszt wymiany (wartości finansowe są wartościami przykładowymi)	Przerwa w działalności
5	Ofiary śmiertelne poza terenem zakładu	Ponad 1 000 000 USD	Od 1 miesiąca
4	Ofiary śmiertelne na miejscu	Od 100 000 do 1 000 000 USD	Od 1 tygodnia do 1 miesiąca
3	Kontuzje na miejscu i poza nim przedłużone leczenie szpitalne	Od 10 000 do 100 000 USD	Od 1 dnia do 1 tygodnia
2	Średni uraz na miejscu lub poza nim drobna kontuzja	Od 1000 do 10 000 USD	Od kilku godzin do 1 dnia
1	Lekkie obrażenia na miejscu	Do 1000 USD	Do kilku godzin

5. Definicja rankingu podatności

Ranga	Poziom	Opis
5	Bardzo wysoki	Stosowane są bardzo nieskuteczne środki zaradcze mające na celu odstraszenie, wykrywanie, opóźnianie i reagowanie, aby zapobieganie zagrożeniu łatwo odniosło skutek.
4	Wysoki	Istnieją pewne środki zaradcze mające na celu odstraszenie, wykrywanie, opóźnianie, reagowanie i odzyskiwanie zdolności operacyjnych, ale te strategie bezpieczeństwa nie mają pełnego i skutecznego zastosowania, gdy zagrożenie jest wysokiej realności
3	Średni	Istnieją dość skuteczne środki zaradcze mające na celu odstraszenie, wykrywanie, opóźnianie, reagowanie i odzyskiwanie zdolności operacyjnej, ale ich skuteczność jest na tyle ograniczona, że środek zaradczy może nadal być zagrożony
2	Niski	Istnieją skuteczne środki zaradcze mające na celu odstraszenie, wykrywanie, opóźnianie, reagowanie i odzyskiwanie zdolności operacyjnej, istnieje jednak co najmniej jedna podatność, której realizacja może niwelować skuteczność środka zaradczego
1	Bardzo niski	Stosuje się wiele warstw skutecznych środków bezpieczeństwa mających na celu odstraszenie, wykrywanie, opóźnianie, reagować i podnoszenie się po atakach, a szansa, że zagrożenie odniesie sukces, jest bardzo niska

Zestawieniem uzupełniającym do analizy ryzyka jest zestawienie aktywów zidentyfikowanych na podstawie modelu produkcji i dystrybucji związanego z wodorem, toluenem i MCH, takie jak reaktor odwodornienia i zbiorniki magazynujących wodór. Ma to istotne znaczenie dla funkcjonalnej zdolności systemu. Sterownia i źródło energii elektrycznej są również niezbędnymi urządzeniami, gdyż ich utrata przerwałaby operacje tankowania wodoru. Wreszcie pracownicy i klienci są traktowani jako aktywa ze względu na cel gospodarczy stacji.

	Nazwa aktywa	Funkcja
1	Ciężarówka dostarczająca MCH	Dostawa MCH
2	Ciężarówka do odzysku toluenu	Odzysk toluenu
3	Podziemny zbiornik magazynowy MCH	Zbiornik MCH
4	Podziemny zbiornik toluenu	Zbiornik toluenu
5	Reaktor odwodornienia	Produkcja wodoru
6	Wymiennik ciepła	Dopływ ciepła do reaktora
7	Separator gaz-ciecz	Separacja wodoru i toluenu
8	Sprężarka wodoru (<1,0 MPa)	Sprężenie wodoru
9	Rafineria wodoru	Rafinowanie wodoru
10	Sprężarka wodoru (do 82 MPa)	Sprężanie wodoru
11	Ciśnieniowy zbiornik magazynujący wodór	Magazynowanie wodoru
12	Układ wstępnej chłodnicy	Chłodzenie systemu
13	Dozownik wodoru	Dostawa wodoru do pojazdów FCV
14	Rurociąg	Transport wodoru pomiędzy urządzeniami
15	System sterowania	Kontroler sprzętu

16	Pracownicy	Osoby zatrudnione w obiekcie produkcji i magazynowania wodoru
17	Klient	Skup wodoru
18	Źródło zasilania elektrycznego	Obsługa sprzętu

MCH (Metylocykloheksan) to nośnik wodoru składający się z cieczy powstałej w wyniku reakcji chemicznej wodoru do tlenu. MCH zawiera ponad 500 razy więcej wodoru na objętość niż gazowy wodór, dzięki czemu może efektywniej przenosić wodór.

FCV (fuel cell vehicles)- pojazdy zasilane ogniwami paliwowymi.

Analiza ryzyka – część właściwa

Podejmując się analizy zagrożeń dla instalacji wodorowych, należy podzielić je na trzy zasadnicze grupy:

- Zagrożenia występujące w wyniku produkcji, magazynowania i przesyłu oraz systemu dystrybucji do klienta. Zagrożenia te obejmują błędy w procesie produkcyjnym lub błędy konstrukcyjne systemu;
- Zagrożenie wynikające z wypadku lub uszkodzenia infrastruktury bez intencjonalnego udziału człowieka;
- Zagrożenie wynikające z celowego działania człowieka działającego z różnych, opisanych w poniższej analizie, pobudek.

Ta część dokumentu koncentruje się na zagrożeniach wynikających z celowego, wrogiego działania człowieka. Efektem analizy ryzyka oraz wypracowanych rekomendacji będzie propozycja zbudowania systemu bezpieczeństwa i ochrony infrastruktury wodorowej w systemie dostawy do odbiorców (w łańcuchu dostaw).

Analiza zagrożeń – definicje

Zagrożeniem jest każdy przeciwnik, który podjąłby potencjalne działania powodujące utratę lub uszkodzenie infrastruktury lub jej elementu. Należy zaliczyć do tej kategorii wewnętrzne działania w charakterze sabotażu oraz działania osób z zewnątrz, rozumiane zarówno w kategoriach fizycznych, jak i jako działania spoza organizacji.

Działania zewnętrzne mające na celu zniszczenie lub unieruchomienie procesu dostawy wodoru, a w finale rezygnację z tego typu źródła energii, mogą występować jako działania aktywistów środowisk radykalnych światopoglądowo (bez względu na ich odcień i proveniencję polityczną), jak i działania wewnętrzne, mogące mieć inklinacje aktywistyczne, ale równie dobrze być dziełem sfrustrowanego pracownika. Kategorie zagrożeń to: zewnętrzne, wewnętrzne i zmywy. Niezadowolony pracownik, gotowy do działań radykalnych, może spowodować znacznie bardziej skutecznie wielkie straty. Zakłada się, że jest bardziej niebezpieczny, ponieważ łączy w sobie zdolność zadawania uszkodzeń mienia z ogromną wiedzą na temat tych aktywów. Analizę zagrożeń przeprowadzono na podstawie czynników takich, jak: motywacja podjęcia szkodliwego działania, zdolność do jego wykonania oraz wiarygodne istnienie zagrożenia.

Stacje tankowania wodoru nigdy nie zostały zaatakowane przez żadne zagrożenia, a poziom istnienia ryzyka (ang. TEL – threat existing level) dla wodorowych stacji paliw jest znacznie niższy, niż w przypadku zakładów naftowych i petrochemicznych.

Jednakże, aby przeprowadzić konsekwentną i opartą na istniejących doświadczeniach analizę, założono, że wartości TEL dla stacji tankowania wodoru są takie same, jak te dla zakładów naftowych i petrochemicznych. Z danych źródłowych wynika, że TEL określający terrorystę, jako źródło zagrożenia był niski, ponieważ działania terrorystyczne są bardzo rzadkie w całym procesie eksploatacji stacji tankowania wodoru.

Z drugiej strony – działania niezadowolonego pracownika, złodzieja, niezadowolonego mieszkańca sąsiedztwa lub aktywisty miałyby skutki podobne jak działanie terrorysty, dlatego ich wartości TEL zostały ustawione jako bardzo wysokie.

- ranking możliwości zagrożenia (TCR)
- poziom istnienia zagrożenia (TEL)
- ranking zagrożenia (TR).

Zagrożenia

1. Terrorysta

Motywacja zagrożenia	Potencjalne działania	Możliwe zagrożenie	TCR	TEL	TR
<ul style="list-style-type: none"> • Ekstremistyczna motywacja przeciwko działalności korporacyjnej lub polityce krajowej 	<ul style="list-style-type: none"> • Użycie materiałów wybuchowych lub broni palnej • Atak na pracownika i klienta 	<ul style="list-style-type: none"> • Prawdopodobieństwo wysokie • Posiada charakter zorganizowany • Przeprowadzone z użyciem broni strzeleckiej i materiałów wybuchowych 	5	2	2

2. Aktywiści

Motywacja zagrożenia	Potencjalne działania	Możliwe zagrożenie	TCR	TEL	TR
<ul style="list-style-type: none"> • Radykalna motywacja przeciw używaniu wodoru jako źródła energii 	<ul style="list-style-type: none"> • Atak fizyczny wymierzony w pracowników i klientów • Negatywne oddziaływanie na opinię publiczną wzmacniające 	<ul style="list-style-type: none"> • Fizyczny atak wysoce prawdopodobny • Możliwość użycia niebezpiecznych narzędzi • Zorganizowanie negatywnej kampanii w mediach 	5	3	3

	negatywne nastawienie do wodoru i wywoływanie lęków				
--	---	--	--	--	--

3. Podpalacz

Motywacja zagrożenia	Potencjalne działania	Możliwe zagrożenie	TCR	TEL	TR
<ul style="list-style-type: none"> Chęć wywołania ognia i wybuchu 	<ul style="list-style-type: none"> Rozpala ogień lub emituje wyładowania powodujące wybuch 	<ul style="list-style-type: none"> Używa łatwopalnych substancji 	4	4	4

4. Niezadowolony pracownik

Motywacja zagrożenia	Potencjalne działania	Możliwe zagrożenie	TCR	TEL	TR
<ul style="list-style-type: none"> Frustracja z powodu warunków pracy Frustracja z powodu relacji w strukturze firmy 	<ul style="list-style-type: none"> Atak na członka personelu (kolegę), klienta lub niszczenie sprzętu Sabotowanie prawidłowego działania sprzętu i wyposażenia 	<ul style="list-style-type: none"> Posiada techniczną wiedzę, aby zatrzymać operację Posiada fizyczny dostęp do obszaru ograniczonego Może mieć uprawnienia ułatwiające atak 	4	5	4

		<ul style="list-style-type: none"> Możliwość zmanipulowania pracownika przez osoby z zewnątrz 			
--	--	--	--	--	--

5. Złodziej

Motywacja zagrożenia	Potencjalne działania	Możliwe zagrożenie	TCR	TEL	TR
<ul style="list-style-type: none"> Motywacje finansowe (nie ideologiczne) 	<ul style="list-style-type: none"> Kradzież gotówki lub przedmiotów materialnie wartościowych 	<ul style="list-style-type: none"> Możliwość zniszczenia infrastruktury i nieintencyjne wywołanie zagrożenia bezpieczeństwa publicznego 	3	5	3

6. Niezadowolony kierowca FCV

Motywacja zagrożenia	Potencjalne działania	Możliwe zagrożenie	TCR	TEL	TR
<ul style="list-style-type: none"> Czuje się sfrustrowany działaniem infrastruktury wodorowej 	<ul style="list-style-type: none"> Aatak na pracowników i infrastrukturę 	<ul style="list-style-type: none"> Użycie pojazdu jako środka ataku 	4	3	3

7. Niezadowoleni mieszkańcy okolicy obiektu infrastruktury wodorowej

Motywacja zagrożenia	Potencjalne działania	Możliwe zagrożenie	TCR	TEL	TR
<ul style="list-style-type: none"> Organizowanie protestów na etapie przygotowań do budowy oraz blokady już funkcjonujących obiektów 	<ul style="list-style-type: none"> Nasilające się ataki na pracowników oraz obiekt 	<ul style="list-style-type: none"> Możliwość użycia broni, organizowania aktów sabotażu oraz wtargnięcia na teren obiektu wodorowego w celu paraliżu funkcjonowania 	4	5	4

Analizę atrakcyjności (rozumianą jako wybór metody działania przez osoby działające w sposób przestępczy) przeprowadzono, wykorzystując zależności pomiędzy wymienionymi wcześniej zasobami a typowymi zagrożeniami. Badania ryzyka w Japonii i Stanach Zjednoczonych wykazały, że różne zasoby przyciągają różne zagrożenia. Dla przykładu celem terrorystów będą aktywa, których konsekwencje zniszczenia są katastrofalne lub szokujące, podczas gdy niezadowolony pracownik skupiłby się na zakłóceniach w biznesie i osobistych urazach. Pracownik byłby zainteresowany systemem kontroli, ale terrorysta prawdopodobnie by go zignorował tak, aby działać skutecznie i spektakularnie. W obu przypadkach celem ataku byłyby systemy paliwowe i pracownicy. Jednak niezadowolony pracownik jest zainteresowany, aby systemy paliwowe zostały osłabione (AR=3) przez niebezpieczeństwa, jakie stwarzają dla każdego, kto próbuje dokonać ich sabotażu. Pracownik taki najpierw prawdopodobnie przygotowuje atak, aby osobiście ponieść jak najmniejsze ryzyko. Podpalacza interesują tylko systemy paliwowe, takie jak dystrybutory wodoru,

magazyny ciśnieniowe, zbiorniki i system produkcji wodoru. Celem działania jest zaspokojenie potrzeby wywołania wielkiego pożaru i eksplozji.

Zasób	Zagrożenie					
	Terrorysta		Podpalacz		Niezadowolony pracownik	
	Racjonalne uzasadnienie	AR	Racjonalne uzasadnienie	AR	Racjonalne uzasadnienie	AR
MCH ciężarówka z zaopatrzeniem	<ul style="list-style-type: none"> • Łatwy dostęp • Wysokie konsekwencje ataku 	5	<ul style="list-style-type: none"> • Łatwy dostęp. • Wysokie konsekwencje ataku 	2	Zatrzymanie działania systemu produkcji i dystrybucji wodoru	3
Zbiornik wodoru pod ciśnieniem	Katastrofalne konsekwencje ataku	5	<ul style="list-style-type: none"> • Katastrofalne konsekwencje ataku • Działanie z ukrycia 	4	Przerwanie dostawy wodoru do FCV	3
System kontroli	Nie stanowi atrakcyjnego celu ataku	1	Nie stanowi atrakcyjnego celu ataku	1	<ul style="list-style-type: none"> • Dotkliwe skutki biznesowe • Łatwość dostępu 	4
Pracownicy	Celem jest wyrządzenie krzywdy w wielkiej skali	4	Nie stanowi atrakcyjnego motywatora	1	Zastosowanie przemocy wobec kolegów i szefów	4

Typowe, potencjalne scenariusze działania

Scenariusz nr 1

W scenariuszu nr 1 terroryści atakują ciężarówkę zaopatrzeniową MCH przy użyciu broni strzeleckiej lub materiałów wybuchowych w celu wywołania dużej ilości wycieków MCH. Wycieki powodują ogromny pożar basenu lub chmurę oparów oraz eksplozję w okolicach stacji tankowania wodoru.

Zastosowano już środki zaradcze, ale CCTV (system monitoringu wizyjnego) i kontakt alarmowy pracowników nie mogą zapobiec negatywnemu działaniu lub szkodom. Alarmowy system wyłączania może skutecznie złagodzić wyciek z uszkodzonego węża. Jednak nie jest możliwe zatrzymanie wycieku z przebitej cysterny. Dlatego poziom konsekwencji jest bardzo wysoki, ranking podatności jest wysoki, ranking zagrożeń jest niski, a atrakcyjność ryzyka jest bardzo wysoka. Ryzyko scenariusza oszacowano jako bardzo wysoki poziom konsekwencji zdarzenia z jednoczesnym niskim prawdopodobieństwem wystąpienia.

Scenariusz nr 2

W scenariuszu nr 2 niezadowoleni mieszkańcy okolicy atakują reaktor odwodornienia, powodując wyciek wodoru, MCH i toluenu z uszkodzonych obszarów. Incydent doprowadziłby do powstania eksplozji wodoru i pożar toluenu lub basenu MCH, których skutki są poważne, ale nie katastrofalne, ponieważ reaktor zawiera niewielkie ilości wodoru, MCH i toluenu. Istniejące środki zaradcze, w tym wypadku byłyby częściowo skuteczne. CCTV, system wykrywania włamań (IDS) oraz kontakt awaryjny nie może zapobiec działaniu lub szkodom. Ściana przeciwpożarowa i zamknięte drzwi mogą zapobiec wtargnięciu na obszar otaczający ścianę, ale zagrożenie z łatwością przedostałoby się do tego obszaru, gdyby ściana byłaby niska, a zamknięte drzwi można złamać. Dlatego poziom konsekwencji jest wysoki, ranking podatności jest średni, ranking zagrożeń jest wysoki, atrakcyjność ryzyka AR jest niska.

Ryzyko scenariusza oznaczono jako niskie prawdopodobieństwo o wysokim poziomie konsekwencji.

Scenariusz nr 3

Niezadowolony kierowca FCV celowo atakuje dystrybutor wodoru, używając FCV jako broni, a z uszkodzonych obszarów wycieka wodór. Ryzyko jest bardzo wysokie w poziomie konsekwencji i niskie w poziomie prawdopodobieństwa, ponieważ wyciekłyby duże ilości wodoru. Osłona przeciwkolidyjna służy jako skuteczny środek zaradczy, chociaż ranking atrakcyjności dozownika jest bardzo wysoki.

Scenariusz nr 4

Aktywista niszczy ciężarówkę do odzysku toluenu, używając broni, co powoduje wyciek dużych ilości toluenu z uszkodzonej karoserii lub węża. Ryzyko jest bardzo wysokie, poziom konsekwencji również. Ponadto poziom prawdopodobieństwa jest niski, poziom ryzyka jest średni, poziom podatności jest wysoki, a ranking atrakcyjności jest również wysoki.

Standardy bezpieczeństwa dla przemysłu wodorowego

Zapewnienie bezpieczeństwa w przemyśle wodorowym dotyczy wszystkich miejsc, gdzie dochodzi do przetwarzania tego paliwa, począwszy od infrastruktury wytwarzania, poprzez infrastrukturę transportowania, przeładunku i magazynowania, a skończywszy na infrastrukturze zaopatrywania pojazdów oraz innego wykorzystywania wodoru.

Bezpieczeństwo przetwarzania wodoru należy przy tym rozumieć jako minimalizowanie ryzyk związanych zarówno z nieumyślnymi zdarzeniami (katastrofy naturalne, błędy ludzkie, błędy procesowe itp.), jak i intencjonalną działalnością człowieka (niezadowoleni pracownicy, ataki napastników, przestępstwa kryminalne itp.).

Jako że rola wodoru w energetyce i przemyśle Polski będzie systematycznie rosnąć, coraz bardziej prawdopodobne będą próby zakłócenia

lub zdestabilizowania tego sektora przez podmioty inspirowane lub działające na zlecenie obcych państw. W tym kontekście warto przypomnieć o działaniach przeciwko infrastrukturze energetycznej, jakie miały miejsce w niedalekiej przeszłości, tj.:

- atak terrorystyczny na kompleks gazowy Tiguentourine w In Amenas w Algierii (16.01.2013 r.) – ataku dokonała organizacja islamistyczna „Zamaskowany Bastion”;
- cyberatak BlackEnergy na infrastrukturę energetyczną Ukrainy (23.12.2015 r.) – za sprawcę została uznana Federacja Rosyjska;
- atak przy użyciu dronów na instalacje rafineryjne Khurais i Abqaiq należące do Saudi Aramco Oil Company w Arabii Saudyjskiej (14.09.2019 r.) – do ataków przyznali się jemeńscy rebelianci Huti, ale Stany Zjednoczone i Arabia Saudyjska wskazują na Iran jako sprawcę ataku;
- cyberatak DarkSide na Colonial Pipeline w Stanach Zjednoczonych (07.05.2021 r.) – za atakiem stała grupa cyberprzestępców DarkSide;
- eksplozje rurociągów Nord Stream 1 i 2 (26.09.2022 r.) – podejrzania kierowane są między innymi na Federację Rosyjską;
- eksplozja gazociągu Amber Grid łączącego systemy Łotwy i Litwy Amber Grid wsi Pasvalio Vienkiemiai, około 180 km na północ od Wilna (13.01.2023 r.) – przyczyny zdarzenia cały czas są badane;
- uszkodzenie i wyciek z gazociągu Balticconnector w pobliżu Petersburga, łączącego Estonię i Finlandię (08.10.2023 r.) – służby estońskie i fińskie oświadczyły, że za zdarzeniem stoi człowiek, podejrzewa się, że stała za nim Federacja Rosyjska.

Jeszcze jednym zdarzeniem, o którym warto wspomnieć, jest interwencja Morskiej Służby Poszukiwania i Ratownictwa SAR, która w nocy z 7 na 8 stycznia 2023 r. uratowała trzech nurków, których motorówka uległa awarii około trzech mil morskich

na północ od Górek Zachodnich w rejonie Ujścia Martwej Wisły. Incydent miał miejsce w środku nocy, prędkość wiatru osiągała 7-8 stopni w skali Beauforta, temperatura powietrza wynosiła 6 stopni C, a temperatura wody 3 stopnie C. Mężczyźni podawali się za obywateli Hiszpanii, tylko jeden z nich został wylegitymowany, a pozostali podali wyłącznie numery telefonów, które okazały się nieaktywne. Wątpliwości co do tego zdarzenia i podejrzenia, że mogli oni działać na zlecenie Federacji Rosyjskiej wynikają dodatkowo z faktu, że wszystko działo się bardzo blisko polskiej infrastruktury strategicznej – Naftoportu oraz terminala LPG. Można przypuszczać, że w przypadku rozwoju infrastruktury wodorowej w Polsce, w tym na terenie Pomorza, Federacja Rosyjska będzie jednym z aktorów zainteresowanych jej uszkodzeniem.

Charakterystyka bezpieczeństwa wodoru

Wodór jest gazem bezbarwnym i bezwonny. Sam w sobie nie stanowi niebezpieczeństwa dla zdrowia i życia ludzkiego. Zarówno kontakt z oczami, jak i kontakt ze skórą nie powinien powodować jakichkolwiek szkodliwych efektów. Podobnie ograniczone ilości wodoru, dostając się do organizmu poprzez drogi oddechowe, nie będą wymagać zastosowania środków pierwszej pomocy. Jedynie przebywanie w atmosferze o wysokim stężeniu wodoru może spowodować uduszenie, co jest normalne dla każdej sytuacji, w której występuje niewystarczająca ilość tlenu. Wodór jest gazem lżejszym od powietrza, więc w razie jego wycieku stosunkowo szybko rozprasza się.

Wymagania w zakresie bezpieczeństwa produkcji, przechowywania i transportu wodoru wynikają przede wszystkim z jego charakterystyki. Wodór jest gazem skrajnie łatwopalnym, zaś przechowywany jako gaz sprężony stwarza dodatkowo zagrożenie wybuchem. Z tego powodu wodór należy przechowywać z dala od źródeł ciepła, gorących powierzchni, źródeł iskrzenia, otwartego ognia i innych źródeł zapłonu. Jego temperatura zapłonu jest niższa niż temperatura zapłonu benzyny czy gazu

ziemnego. Warto podkreślić, że w trakcie spalania wodoru nie powstają żadne niebezpieczne produkty spalania. Należy jednak pamiętać, że podczas pożaru niebezpieczne produkty spalania mogą powstawać pośrednio – jako efekt spalania materiałów, które zostały objęte pożarem, m.in. instalacje, infrastruktura.

Wodór
bezwonny
bezbarwny
bezzmakowy
nietoksyczny
łatwopalny
wybuchowy

Model bezpieczeństwa przedsiębiorstw wodorowych

W przedsiębiorstwach zajmujących się wytwarzaniem, przechowywaniem, transportowaniem, czy wykorzystywaniem wodoru należy wdrożyć zintegrowany system bezpieczeństwa odpowiadający zidentyfikowanym ryzykom. Modelowy system bezpieczeństwa organizacji o takim profilu działalności powinien składać z następujących podsystemów:

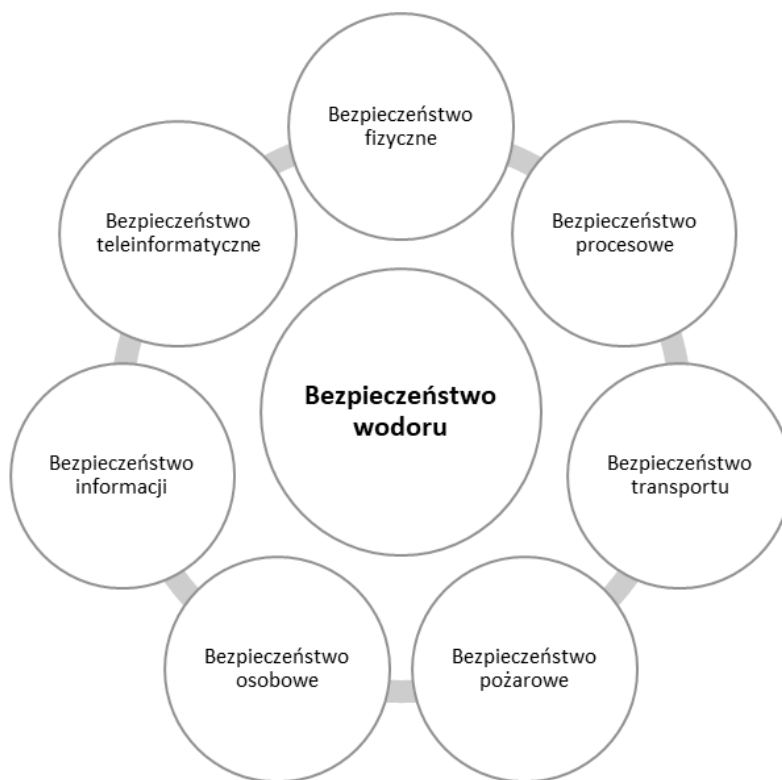
- **Bezpieczeństwa fizycznego** – mającego na celu minimalizację ryzyk związaną z intencjonalną działalnością człowieka poprzez zastosowanie ochrony fizycznej (bezpośredniej i doraźnej) oraz zabezpieczeń technicznych (mechanicznych i elektronicznych);
- **Bezpieczeństwa procesowego** – mającego na celu minimalizację ryzyk związanych z działaniem instalacji przemysłowych służących wytwarzaniu,

przechowywaniu, transportowaniu i wykorzystywaniu wodoru;

- **Bezpieczeństwa transportu** – mającego na celu minimalizację ryzyk mogących wystąpić w czasie transportu drogowego lub kolejowego, jak również przesyłu rurociągami;
- **Bezpieczeństwa pożarowego** – mającego na celu minimalizację ryzyk pożarowych i wybuchowych podczas wytwarzania, przechowywania, transportowania i wykorzystywania wodoru;
- **Bezpieczeństwa osobowego** – mającego na celu minimalizację ryzyk związanych z nadużyciami przez pracowników, usługodawców, dostawców i gości;
- **Bezpieczeństwa informacji** – mającego na celu minimalizację ryzyk dotyczących utraty poufności, integralności i dostępności informacji stanowiących tajemnicę przedsiębiorstwa lub prawnie chronionych;
- **Bezpieczeństwa teleinformatycznego** – mającego na celu minimalizację ryzyk występujących w systemach teleinformatycznych, sieciach komputerowych i telekomunikacyjnych.

W każdej organizacji powinny być wdrożone ponadto systemy zarządzania kryzysowego oraz ciągłości działania.

Rysunek 1. Elementy systemu bezpieczeństwa infrastruktury wodorowej. Opracowanie własne



W poszukiwaniu odpowiednich regulacji

Analiza aktualnych przepisów prawa pozwala stwierdzić, że w Polsce obowiązuje szereg przepisów prawa, które już dzisiaj kształtują wymagania bezpieczeństwa dla infrastruktury i przemysłu wodorowego. Za główne regulacje w tym zakresie należy uznać niżej wymienione ustawy wraz z wydanymi na ich podstawie przepisami wykonawczymi:

- Ustawę z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane w zakresie w jakim reguluje warunki techniczne obiektów budowlanych, w tym w tym obiekty liniowe takie jak gazociągi i rurociągi;

- Ustawę z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej w zakresie, w jakim reguluje wymagania ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów;
- Ustawę z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko w zakresie, w jakim reguluje wymagania dla przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko;
- Ustawę z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych w zakresie, w jakim reguluje wymagania techniczne dla stacji wodoru;
- Ustawa z dnia 19 sierpnia 2011 r. o przewozie towarów niebezpiecznych w zakresie, w jakim reguluje przewóz towarów niebezpiecznych transportem drogowym i kolejowym.

Wymienione regulacje prawne zawierają szereg warunków technicznych lub określają sposób postępowania konieczny do zapewnienia bezpieczeństwa w związku z inwestycją lub funkcjonowaniem instalacji wodorowych.

Specjalny status podmiotów wodorowych

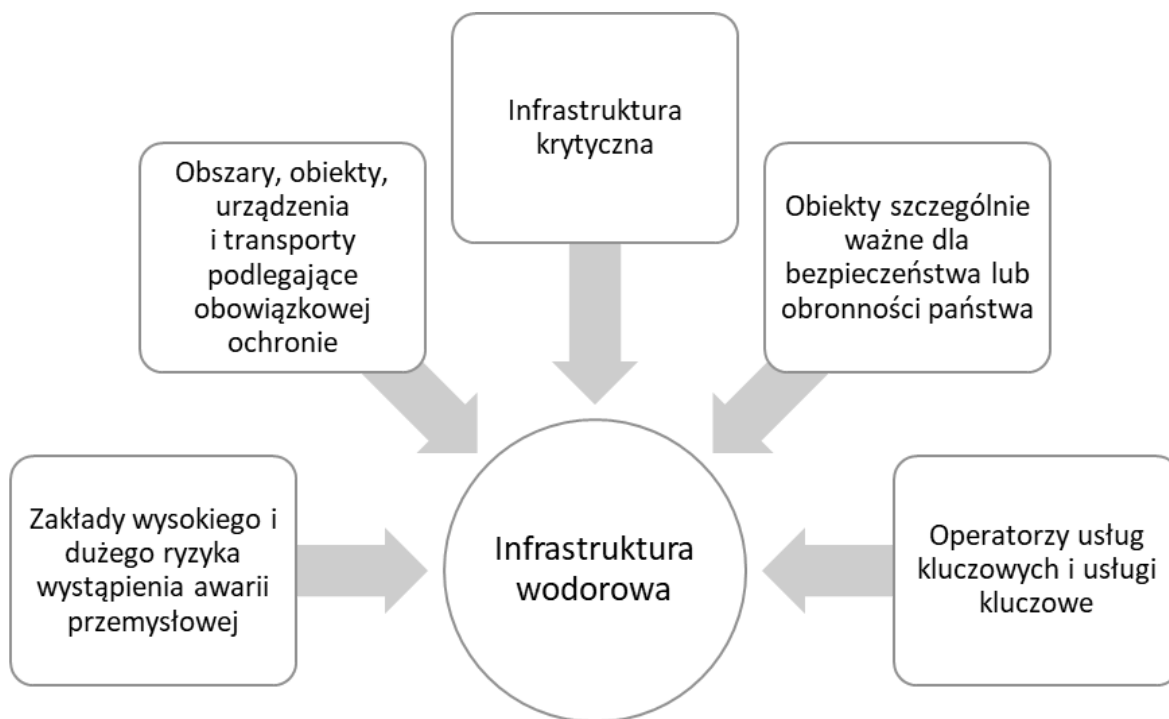
Znaczenie dla społeczeństwa i gospodarki, jak również niebezpieczeństwa, jakie mogą stwarzać dla otoczenia, sprawiają, że instalacje wodorowe lub podmioty wodorowe, przy spełnieniu określonych kryteriów, mogą zostać uznane za obiekty lub podmioty specjalnych kategorii, tj.:

- Zakłady o zwiększonym i dużym ryzyku wystąpienia awarii przemysłowej, o których mowa w przepisach ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska;

- Obszary, obiekty, urządzenia i transporty podlegające obowiązkowej ochronie, o których mowa w przepisach ustawy z dnia 22 sierpnia 1997 r. o ochronie osób i mienia;
- Obiekty, w tym obiekty budowlane, urządzenia, instalacje i usługi tworzące infrastrukturę krytyczną, o których mowa w ustawie z dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym;
- Obiekty szczególnie ważne dla bezpieczeństwa lub obronności państwa, o których mowa w ustawie z dnia z dnia 11 marca 2022 r. o obronie Ojczyzny;
- Operatorów usług kluczowych i usługi kluczowe, o których mowa w ustawie z dnia 5 lipca 2018 r. o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa.

Zakwalifikowanie instalacji lub podmiotów do którejś z wyżej wymienionych kategorii powoduje, iż na właścicielach, operatorach, posiadaczach czy zarządcach spoczywa szereg dodatkowych obowiązków w zakresie zabezpieczenia i ochrony infrastruktury.

Rysunek 2. Kategorie obiektów, których kryteria może spełniać infrastruktura wodorowa. Opracowanie własne



Rekomendowane normy i standardy

Jako wschodzący, sektor wodorowy nie wypracował jeszcze odpowiedniego dorobku wiedzy i doświadczenia w zakresie bezpieczeństwa przetwarzania wodoru na dużą skalę. Nie oznacza to jednak, że nie posiadamy wiedzy, jak z nim postępować w odniesieniu do wcześniej zidentyfikowanych ryzyk. Długoletnie funkcjonowanie bliźniaczych sektorów, tj. chemicznego, gazowego, naftowego czy energetycznego, wytworzyło szereg norm i standardów, które możemy i powinniśmy traktować jako referencyjne. Mowa tutaj o dokumentach wytworzonych między innymi przez takie instytucje jak:

- International Organization for Standardization (ISO)
- British Standards Institution (BSI)

- German National Standard (DIN)
- National Fire Protection Association (NFPA)
- International Energy Agency (IEA)
- American Gas Association (AGA)
- American Petroleum Institute (API)
- Federal Emergency Management Agency (FEMA)
- National Protective Security Authority (NPSA)

Jako że transport wodoru ma się odbywać w przyszłości także przy wykorzystaniu istniejących sieci gazowych, niezbędne jest wzajemne respektowanie wymagań bezpieczeństwa dotyczących obu sektorów.

Jak ograniczyć ryzyko wybuchu i pożaru wodoru – podsumowanie założeń dla budowy systemu bezpieczeństwa

Aby zminimalizować ryzyko zapłonu wodoru spowodowanego wyładowaniem elektrostatycznym, można podjąć następujące kroki:

- **Uziemienia elektrostatyczne:** Zapewnienie, że wszystkie zbiorniki, rurociągi i urządzenia związane z magazynowaniem, transportem i przeladunkiem wodoru są uziemione, aby uniknąć nagromadzenia ładunków elektrostatycznych.
- **Detekcja:** wodór może ulatniać się przez najmniejsze nieszczelności, a nawet dyfundować przez metalowe ścianki zbiorników. Z tych względów ważne jest, aby monitorować jego obecność.
- **Kontrola wilgotności:** Monitorowanie i kontrola poziom wilgotności w miejscach, w których magazynuje się lub przetwarza wodór. Wysoka wilgotność powietrza może pomóc w rozpraszaniu ładunków elektrostatycznych.
- **Kontrola temperatury:** Zapewnienie, że temperatura w pobliżu procesów związanych z wodorem jest kontrolowana, ponieważ wysoka temperatura może zwiększać ryzyko wyładowań elektrostatycznych.

- **Eliminacja źródeł:** Unikanie stosowania materiałów, które mogą tworzyć ładunki elektrostatyczne, takich jak tworzywa sztuczne i tkaniny syntetyczne.
- **Użycie odpowiednich materiałów:** Zastosowanie materiały uziemiające i przewodzące, które pomogą w rozpraszaniu ładunków elektrostatycznych.
- **Przeszkolenie personelu:** Zapewnienie, że personel, który zajmuje się procesami związanymi z wodorem, jest przeszkolony w zakresie bezpiecznego postępowania z ładunkami elektrostatycznymi i zna odpowiednie procedury bezpieczeństwa.
- **Monitorowanie i testowanie:** Regularnie monitorowanie i testowanie procesy związane z wodorem, aby wykryć ewentualne wycieki lub nagromadzenie ładunków elektrostatycznych i podjąć odpowiednie środki ostrożności.

Podsumowując, kluczowe jest zapewnienie odpowiednich procedur bezpieczeństwa i wykonywanie regularnych kontroli, aby uniknąć ryzyka zapłonu wodoru spowodowanego wyładowaniem elektrostatycznym.

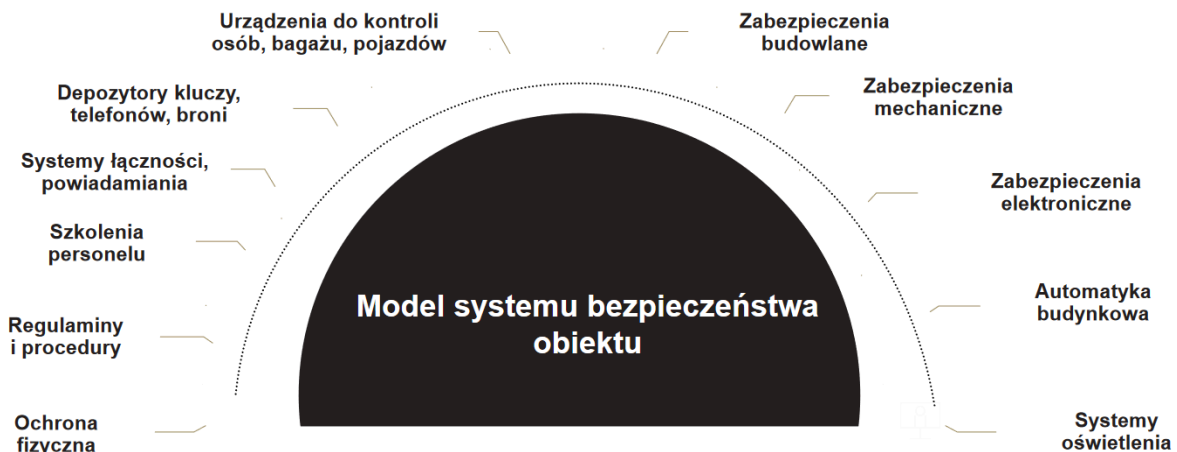
Jak ograniczyć ryzyko ataku intencjonalnego – podsumowanie założeń dla budowy systemu bezpieczeństwa

Aby zminimalizować ryzyko intencjonalnych ataków na infrastrukturę wodorową można zastosować następujące środki bezpieczeństwa fizycznego:

- **Zabezpieczenia budowlane:** ogrodzenia ochronne zewnętrzne, ogrodzenia ochronne wewnętrzne, ściany zewnętrzne, ściany wewnętrzne, stropy i podłogi itd.
- **Zabezpieczenia mechaniczne:** drzwi i bramy, okna i świetliki, zasłony (kraty ruchome, żaluzje, rolety, okiennice itp.), zamknięcia (zamki, wkładki, kłódki, rygle, sztaby itp.), okucia (szyldy, zawiasy, rozety, klamki itp.), osłony (gabloty, boksy, klatki itp.), bramki, tripody, kołowrotki itp., bariery drogowe (szlabany, słupki, blokady itp.).

- **Zabezpieczenia elektroniczne:** systemy sygnalizacji włamania i napadu, systemy kontroli dostępu, systemy telewizji dozorowej, systemy i urządzenia transmisji alarmu oraz niektóre urządzenia elektromechaniczne (depozytory, dyspensery itp.).
- **Środki organizacyjne:** pracownicy ochrony, personel zarządzający, audyty bezpieczeństwa, monitorowanie zagrożeń, kontrola ruchu osobowego, kontrola ruchu materiałowego, kontrola ruchu drogowego, sprawdzenia pracowników, regulaminy i instrukcje.

Rysunek 3. Model systemu bezpieczeństwa fizycznego obiektu. Opracowanie własne.



Wyzwania dla transportu wodoru

Transport wodoru może odbywać się zasadniczo dwiema metodami;

- z wykorzystaniem rurociągów;
- metodami mobilnymi.

Przesył wodoru rurociągami na różną skalę i przy różnych zastosowaniach rozpoczął się od lat 30. XX wieku. Poniżej zestawienie uruchomionych rurociągów:

- 1938 – Ren-Ruhr Pierwsze 240 km (150 mil) rur wodorowych zbudowanych ze zwykłych rur stalowych, ciśnienie sprężonego wodoru 210–20 barów (21 000–2 000 kPa), średnica 250–300 milimetrów (9,8–11,8 cala).
Rurociąg nadal działa;
- 1973 – rurociąg o długości 30 km (19 mil) w Isbergues we Francji;
- 1985 – Przedłużenie rurociągu z Isbergues do Zeebrugge;
- 1997 – Przyłączenie gazociągu do Rotterdamu;
- 1997 – 2000: Rozwój dwóch sieci wodorowych, jednej w pobliżu Corpus Christi w Teksasie i jednej pomiędzy Freeport a Texas City;
- 2009 – przedłużenie rurociągu o 150 mil (240 km) z Plaquemine do Chalmette.

Wykorzystanie rurociągów gazowych do transportu wodoru obarczona jest szeregiem wyzwań wymagających znalezienia praktycznego rozwiązania do skali oczekiwań wykorzystania wodoru w gospodarce. W przypadku rurociągów stalowych powszechnie wiadomo, że wodór może powodować tzw. kruchość wodorową (rodzaj degradacji metalu, spowodowanej przenikaniem i gromadzeniem się atomów wodoru wewnątrz metalu). Kruchość wodorowa jest pojęciem ogólnym, odnoszącym się do grupy zjawisk różniących się przebiegiem. Nazwa pochodzi od zmian w strukturze i wyglądzie metalu (który staje się kruchy), jakie zachodzą na skutek tego procesu, co potencjalnie może mieć niekorzystny wpływ na integralność rurociągu i zrozumienie rzeczywistych ograniczeń projektowych.

Niezbędne jest opracowanie dokładniejszych, niezawodnych i możliwie bardziej elastycznych wymagań normowych dla rurociągów wodorowych oraz lepsze zrozumienie rzeczywistych ograniczeń projektowych. Kluczem jest potencjalnie bardzo ograniczone dostarczanie wodoru, wymuszone niejako przez ograniczenia istniejącej infrastruktury oraz konieczność wyasygnowania inwestycji dla budowy infrastruktury dedykowanej do wodoru. Ważną rolę odegrają w tym zakresie zarówno nowo budowane, jak i przekwalifikowanie istniejących rurociągów do przesyłu gazu ziemnego. Aby stworzyć wydajną infrastrukturę, niezwykle ważne jest ustalenie wymagań, które zapewnią zachowanie warunków bezpieczeństwa i opłacalności ekonomicznej projektu, aby transport wodorowy stał się realną opcją. Powszechnie uważa się, że najbardziej ekonomiczny wodorowym systemem przesyłowym jest transport rurociągowy. Jednakże problem polega na tym, że przy projektowaniu rurociągów przeznaczonych do transportu wodoru należy wziąć pod uwagę konieczności zwiększenia kruchości i korozję stali.

Jedną z metod, która może umożliwić zastosowanie wodoru i złagodzenie tego negatywnego efektu, polega na przesłaniu gazu przez istniejące sieci rurociągów w formie mieszaniny na przykład z gazem ziemnym. Innym rozwiązaniem jest zaprojektowanie sieci przeznaczonej specjalnie do transportu mieszanki wodoru i gazu ziemnego przy odpowiednich wartościach ciśnienia, przy użyciu specjalnych materiałów i doborze określonych wymiarów. Metoda ta jednak wciąż wymaga szeregu testów, biorąc pod uwagę, że konieczne są nakłady inwestycyjne i długotrwałe prace budowlane. Fakt, że metan i wodór różnią się właściwościami fizykochemicznymi, powoduje również problemy podczas planowania siatki gazociągów projektowanych, budowanych i eksploatowanych w oparciu o założenie, że transportowanym medium będzie naturalne gaz.

Problemy dotyczą niekorzystnego wpływu mieszaniny na integralność sieci rurociągów i żywotności samej instalacji oraz wyższego poziomu zagrożenia stwarzanego dla ludzi i środowiska na wypadek awarii z rurociągu.

W normalnych warunkach dodawanie stosunkowo niskich stężeń wodoru do istniejącej sieci gazowej może wymagać jedynie niewielkiej modyfikacji w strukturze i funkcjonowaniu jednostki rurociągu. Generalnie dopuszczalna ilość wodoru w mieszaninie w sieci gazowej jest ograniczona. Wyniki przeprowadzonych dotychczas badań wskazują, że zawartość objętościowa wodoru 5-15 proc. nie powinna mieć istotnego wpływu na sieć rurociągów i ich obciążenie. Jeśli zawartość mieści się w przedziale 15-50 proc., efekt staje się bardziej znaczący.

Zawartość powyżej 50 proc. stawia system przed poważnymi wyzwaniami w wielu aspektach, m.in. doboru odpowiednich materiałów do budowy rurociągów, aby zapewnić odporność na przenikanie. Automatycznie wzrastają techniczne wymagania dla konstrukcji sieci, włącznie z warunkami bezpieczeństwa. Na przykład maksymalne dopuszczalne stężenie wodoru w sieci w Holandii i Niemczech wynosi odpowiednio 2 i 5 proc.

Niekontrolowane uwalnianie i zapłon mieszanin wodorowych może spowodować pożar i/lub eksplozję. Efektami fizycznymi takich zdarzeń stwarzających szczególne zagrożenie dla ludzi i mienia są: fala ciśnienia powstająca w wyniku eksplozji lub w przypadku ogień, strumień ciepła i bezpośrednie działanie płomienia. Konsekwencja oraz skutki awarii będą zależą od parametrów mieszaniny, warunków atmosferycznych, geometrii rurociągu i stopnia uszkodzenia rurociągu (uszkodzenie na skutek przebicia lub rozerwanie pełnego otworu lub poważne uszkodzenie rurociągu). Najczęstsze zagrożenie pożarowe – powstające na skutek awarii rurociągu – to pożar odrzutowy. Zjawisko charakteryzuje się długim i stabilnym płomieniem, generującym wysokie promieniowanie cieplne. Ogień jest spowodowany zapaleniem strumienia gazu uwolnionego pod wysokim ciśnieniem przez otwór w rurociągu.

Statystycznie rzecz ujmując, wśród najczęściej odnotowywanych przyczyn awarii rurociągów można wymienić:

- Uszkodzenia mechaniczne (30% przypadków)
- Korozję (24%)
- Uszkodzenia przez czynniki trzecie (22%)
- Uszkodzenia z przyczyn naturalnych (11,5%)
- Nieprawidłową obsługę (3,5%)
- Inne przyczyny (9%)

Metody ochrony systemów gazociągów wykorzystywanych do przesyłu wodoru

Czynnikiem utrudniającym zbudowanie skutecznego systemu jest fakt, że w zdecydowanej większości swojej linii wynoszącej dziesiątki kilometrów jest on zakopany w ziemi na głębokości minimum 0,8 metra. Nieliczne odkryte elementy systemu stanowią zazwyczaj węzły przesyłowe.

Rekomendowane narzędzia ochrony rurociągu:

Typ zabezpieczenia	Sposób i cel wykorzystania
Systemy detekcji ruchu – bariery podczerwieni	Umieszczone wzdłuż linii rurociągu na podstawie analizy ryzyka oraz rejestru incydentów z uszkodzeniami rurociągu. System detekcji ruchu działania na zasadzie przerywania wiązki laserowej pomiędzy urządzeniami nadawczo-odbiorczymi. Ustawiony w odpowiedniej odległości w stosunku do rurociągu pozwala powiadomić służby ochrony o incydencie, który należy zweryfikować. Rozwiązanie takie ma sens

	wyłącznie w przypadku integracji z jednostką monitorującą sygnały oraz możliwością użycia schematu interwencyjnego.
Algorytmy detekcji zdarzeń w systemie CCTV	Instalacja kamer telewizji przemysłowej z dostępną funkcją w jednostce sterującej systemem CCTV – algorytmów analizy obrazu. Programowanie algorytmów w sposób alarmujący operatora systemu monitoringu o wystąpieniu zdarzenia w obrębie widoczności kamery. Rozwiązanie stosowane zazwyczaj w elementach infrastruktury z możliwością dostępu do niego fizycznie.
Drony patrolujące	Stosowanie dronów patrolujących trasę przebiegu rurociągu. Drony wyposażone w kamery CCTV z możliwością wysyłania obrazu on-line do stanowiska monitoringu ochrony. Drony powinny być wyposażone w czujniki wykrywania uwalniania się gazów. W rzeczywistości funkcjonalność trudna do wykorzystania w realnym zastosowaniu. Funkcja monitorowania obrazu w czasie patrolu stanowi obecnie standard w tego typu urządzeniach. System wymaga stworzenia podsystemu stacji ładowania dronów energią do pracy.
Plany działania i manuały alarmowe dla ekip konserwacyjno-naprawczych	Przykład niewłaściwie dobranej procedury działania przez pracowników firmy AB Specjalty

	Silicones pokazuje konieczność wyposażenia pracowników w manule działania i procedur alarmowych. Wysoko rekomendowane jest zorganizowanie komórki organizacyjnej w postaci tzw. Control Tower, czyli punktów wsparcia i kontroli działań.
--	---

Mobilne metody transportu wodoru – wyzwania dla ochrony

Oprócz transportu rurociągami wodór może być transportowany również poprzez:

- **Terminale morskie:** wodór można eksportować i transportować za pośrednictwem terminali nadmorskich, w tym terminali LNG, które zostały przygotowane do tego zadania. W zapewnieniu logistyki morskiej, magazynowania, konwersji, rurociągów połączenia liniowe, połączenia transportu multimodalnego i zarządzanie jakością, terminale te mogą posiadać multimodalne bramy wejściowe wykorzystywane w transporcie wodoru na duże odległości statkiem w postaci gazowej lub w postaci płynnej lub za pośrednictwem ciekłych lub gazowych nośników wodoru.
- **Załadunek wodoru na ciężarówki:** dotyczy transportu wodoru samochodami ciężarowymi w postaci gazowej lub skroplonej, lub za pomocą ciekłych lub gazowych nośników wodoru.
- **Transport wodoru koleją:** wodór może być przewożony:
 - a) w postaci gazowej lub za pośrednictwem gazowych nośników wodoru przy użyciu butli ze sprężonym gazem w przyczepach rurowych;
 - b) w postaci cieczy w specjalistycznych pojemnikach do transportu wodoru w postaci ciekłej lub za pośrednictwem ciekłych nośników wodoru.

Metody ochrony transportu wodoru w modelu transportu mobilnego

Elementy transportu	Zastosowane metody ochrony
Terminal morski i multimodalny	W przypadku zasad zapewnienia ochrony terminali morskich rekomendowane jest zastosowania kodu ISPS (ang. International Ship and Port Facility Security Code).
Transport ciężarówkami	Rekomendowane jest stworzenie stanowiska nadzoru nad łańcuchem dostaw wodoru w postaci Control Tower rozumianego jako multifunkcyjnego stanowiska kontroli czynników jakościowych i bezpieczeństwa. Stanowisko takie wymaga wyposażenia środków transportu w urządzenia pomiarowe zintegrowane z system GPS jednostki. Za pomocą systemu GPS sygnału wraz ze statusami i incydentami przekierowane są do Control Tower.
Transport wodoru koleją	Adekwatnie do specyfiki transportu kolejowego system zbudowany na zasadach takich jak w transporcie ciężarówkami.