

Załącznik nr 3

Omówione poniżej obiekty przemysłowe stanowią wskazanie kierunkowe potencjału w obszarze wytwarzania zero i niskoemisyjnego. Wyodrębnione obiekty wymagają przeprowadzenia dedykowanych analiz, w tym studium wykonalności, które umożliwią udzielenie odpowiedzi w zakresie realizowalności technicznej i ekonomicznej każdego z przedsięwzięć. Poniższe zestawienie ma za zadanie wskazanie profilu referencyjnych obiektów przemysłowych oraz regionów wraz z potencjalną skalą wdrożeń rozwiązań wodorowych.

PROGNOZA ROZWOJU WIELKOSKALOWEJ PRODUKCJI WODORU W POLSCE

PRZEMYSŁ NOWOZÓW AZOTOWYCH

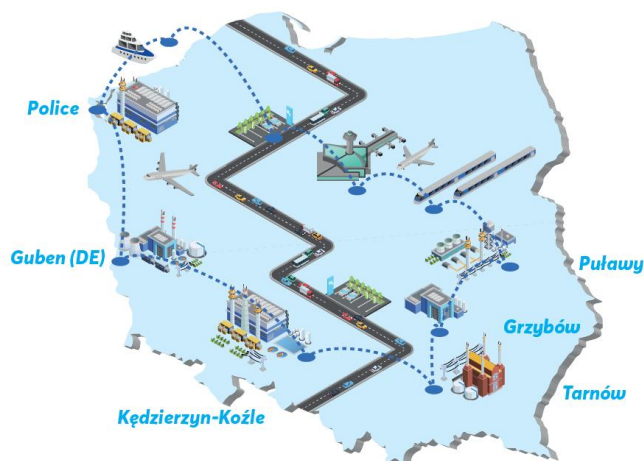
Obecnie głównym wytwórcą wodoru w Polsce jest przemysł nawozów azotowych. Podstawowym półproduktem w produkcji jest amoniak, wytwarzany przez krajowych producentów nawozów mineralnych w ilości przekraczającej 2 mln ton. W konserwatywnej prognozie przewiduje się utrzymanie w najbliższych latach zbliżonego rynku zbytu i skali produkcji amoniaku na obecnym poziomie, tj. ~2 mln ton rocznie. Prognozy średnioterminowe wskazują na wzrost konsumpcji azotu do blisko 2,5 mln ton rocznie.

Grupa Kapitałowa Grupy Azoty (Puławy i Kędzierzyn Koźle)

Grupa Azoty rocznie wytwarza najwięcej w skali kraju bo aż ok. 420 tys. ton wodoru na rok. Grupa Azoty odnotowuje stały wzrost zapotrzebowania na wodór przez podmioty zewnętrzne, głównie na potrzeby procesów chemicznych, takich jak redukcja wodorem. **Ze względu na stosowanie wodoru w przemyśle spożywczym, Grupa Azoty PUŁAWY posiada także certyfikat systemu FSSC 22 000.** Obecnie (dane z 2020 r.) sprzedaż jest na poziomie ok 600 tys. ton rocznie. **Wodór, w tym spełniający normy jakościowe sektora automotive, sprzedają spółki Grupa Azoty Puławy i Grupa Azoty Kędzierzyn.** Planowane jest zwiększenie zdolności produkcyjnych w tych dwóch lokalizacjach oraz w dalszej perspektywie budowę najpierw instalacji pilotażowej, a potem pełnowymiarowej instalacji produkującej energię elektryczną z wodoru. Grupa Azoty analizuje także plany rozwoju transportu bezemisyjnego w Polsce i tworzy scenariusze rozwoju rynku paliwa na potrzeby transportu wodorowego.

Podsumowując, Puławy oraz Kędzierzyn Koźle przynależą do grupy miejsc i obszarów o znaczącym potencjale produkcyjno-dystrybucyjnym wodoru. Grupa Azoty Kędzierzyn została także uwzględniona w sekcji poświęconej potencjałowi regionu śląskiego.

Grupa Azoty a program rozwoju dla transportu wodorowego.



Rysunek 1 Program rozwoju dla transportu wodorowego Grupy Azoty [1]

PRZEMYSŁ PETROCHEMICZNY

Porównując wolumeny produkcji wodoru w Polsce, drugim sektorem po przemyśle azotowym jest przemysł rafineryjny. Z uwagi na specyfikę i stopień rozwoju rynku paliw w Polsce, Polska Organizacja Przemysłu i Handlu Naftowego (POPiHN) przewiduje w scenariuszu bazowym nieznaczny jednakże stabilny wzrost popytu. Zmiany na rynku europejskim oraz rozwój transportu niskoemisyjnego w niewielkim stopniu wpłyną na krajowy rynek w perspektywie do 2030 roku. Należy jednak pamiętać, że w długofalowej perspektywie po 2040 roku, zapotrzebowanie na paliwa kopalne będzie małe przy jednoczesnym wzroście zapotrzebowania na niskoemisyjne, alternatywne paliwa oraz na wysokomarżowe petrochemikalia (wzrost do ok. 80%).

W sektorze petrochemicznym wodór wykorzystywany jest do produkcji paliw ciekłych i surowców rafineryjnych. Na potrzeby procesu wytwarzany jest głównie z gazu ziemnego z zastosowaniem procesu reformingu parowego metanu. Dodatkowe ilości wodoru odzyskuje się z gazowych produktów przetwarzania ropy naftowej oraz dzięki przeprowadzeniu częściowego utleniania pozostałości rafinacyjnych [2]. Z uwagi na duże zapotrzebowanie hydrokrakingu na wodór, niezbędne jest posiadanie w rafinerii instalacji do jego wytwarzania.

Grupa Orlen (Płock- Włocławek)

PKN Orlen produkuje i zużywa na własne potrzeby około 135 tys. ton wodoru rocznie. W strategii ORLEN2030 koncern zobowiązał się do osiągnięcia całkowitej neutralności emisyjnej w 2050 roku, dzięki inwestowaniu w rozwój energetyki opartej na OZE i gazie. Na chwilę obecną (czerwiec 2021) są to pojedyncze projekty, jak np. produkcja na potrzeby własne energii elektrycznej w Płocku. Łączna moc instalacji wynosi 50 kW. Do 2030 roku koncern zamierza osiągnąć poziom 2,5 GW mocy zainstalowanych w źródłach

¹ Energetyka zrównoważona WODÓR, FERİ, listopad 2018, ISBN: 978-83-952144-0-0

² Surygała J.: Wodór jako paliwo, Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2008, s. 34.

odnawialnych. 1,7 GW zapewnią morskie farmy wiatrowe, natomiast 0,8 GW źródła lądowe, tj. elektrownie wiatrowe i fotowoltaika.

Grupa Orlen ogłosiła również (czerwiec 2021), że jej **projekt inwestycyjny o nazwie HYDROGEN EAGLE** ubiega się o dofinansowanie przez Komisję Europejską w ramach mechanizmu IPCEI (Important Projects of Common European Interest). Projekt obejmuje swym zasięgiem Polskę, Czechy i Słowację oraz ma na celu umożliwić Grupie ORLEN w perspektywie do 2030 roku wytwarzać wodór w ilościach ok. 50 tys. ton rocznie. HYDROGEN EAGLE zakłada budowę międzynarodowej sieci hubów wodorowych zasilanych odnawialnymi źródłami energii oraz innowacyjnych instalacji, przetwarzających odpady komunalne w zero- i niskoemisyjny wodór. **Jednym z nich będzie budowa w Płocku innowacyjnej instalacji przetwarzania odpadów komunalnych w niskoemisyjny wodór.** Program przewiduje także budowę międzynarodowej sieci stacji tankowania wodoru (ponad 100), które będą przeznaczone dla transportu indywidualnego, publicznego i cargo. PKN Orlen ma również podpisane szereg listów intencyjnych z wieloma samorządami i spółkami samorządowymi, w tym także z Gminą Miasta Płock, Gminą Miasta Włocławek, które mają na celu rozwój ekologiczny transportu publicznego, opartego na napędzie wodorowym.

Obecnie koncern jest w trakcie wyboru wykonawcy hubu wodorowego we Włocławku – instalacji spełniającej wymagania wodorowe na potrzeby sektora Automotive. W pierwszej fazie hub ma produkować około 170 kg, a docelowo do 510 kg wodoru na godzinę. Analogiczna inwestycja jest planowana w Płocku. PKN Orlen inwestuje także w technologie wodorowe w biorafinerii Orlen Południe w Trzebini. Obecnie wspólnie z PGNiG rozwija produkcję biometanu, który w przyszłości może być wykorzystany do produkcji zielonego wodoru. **Biorąc pod uwagę obecny potencjał, posiadaną infrastrukturę oraz plany na chwilę obecną region pomiędzy Włocławkiem (Anwil S.A.) a Płockiem (PKN Orlen Płock) przynależy do grupy miejsc i obszarów o znaczącym potencjale produkcyjno-dystrybucyjnym wodoru.**

Lotos S.A. (Trójmiasto)

Lotos S.A. produkuje i zużywa na własne potrzeby około 145 tys. ton na rok, czyli nieznacznie więcej od PKN Orlen. Dodatkowo jest czynnym uczestnikiem transformacji sektora petrochemicznego z wagi na fakt, że od 2018 roku realizuje projekt PURE H₂, który ma na celu:

- wykonanie **instalacji oczyszczania wodoru** w rafinerii o **mocy przerobowej ~160 kg/h**;
- **produkcję wodoru klasy 5.0 (99,999%)**;
- wybudowanie stacji dystrybucji wodoru w Gdańsku;
- zapewnienie możliwości tankowania **autobusów (350 bar)** oraz **samochodów wodorowych (700 bar)**;
- wybudowanie **2 stacji tankownia wodoru** wzdłuż korytarza TEN-T w Warszawie i Gdańsku.

Grupa LOTOS pod koniec 2020 roku uruchomiła **program inwestycyjny Green H₂**, który ma na celu budowę **wielkoskalowej produkcji zielonego wodoru i w przeciągu 6 najbliższych lat ma zagwarantować miejsce w pierwszej dziesiątce producentów zielonej energii w Europie.** W programie wyróżnione zostały 3 fazy rozwoju:

- **Faza 1: 100 MW (2020-2025)**
 - projekty pilotażowe

- instalacje elektrolizerów o mocy 100 MW
- ogniwa paliwowe o mocy 19-20 MW
- magazyn wodoru
- **Faza2: 1 GW (2025-2030)**
 - rozbudowa instalacji do większej skali
 - dystrybucja wodoru
 - instalacje elektrolizerów o mocy 1 GW
 - ogniwa paliwowe/turbina gazowa o mocy 200 MW
 - magazynowanie wodoru w kawernach 2,5 tys. ton H₂
- **Faza 3: 4 GW (2030-2040)**
 - regionalny lider produkcji i dystrybucji wodoru
 - instalacje elektrolizerów o mocy 4 GW (źródła rozproszone)
 - ogniwa paliwowe/turbina gazowa o mocy 1 GW i magazynów kawernowych
 - załączanie wodoru do sieci gazowej
 - dystrybucja ciekłego wodoru na duże odległości

Lokalizacja rafinerii (Pomorze - Trójmiasto) jest dodatkową wartością dodaną umożliwiającą integrację szeregu kluczowych technologii z punktu widzenia przyszłej gospodarki wodorowej: (1) produkcji energii z OZE (farmy wiatrowe na lądzie i morzu), (2) dostęp do wody oraz infrastruktury przemysłowej (elektrolizery), (3) możliwość magazynowania wodoru w kawernach solnych, do wykorzystywania w czasie zwiększonego zapotrzebowania na elektryczność (ogniwa paliwo), (4) dostęp do morza – transport morski wielkoskalowego wodoru: eksport-import, (5) obszar Trójmiasta i okolic – lokalny rynek dystrybucji wodoru w pierwszej fazie rozwoju.

Podsumowując, Grupa Lotos wraz z obszarem Trójmiasta przynależy do grupy miejsc i obszarów o znaczącym potencjale produkcyjno-dystrybucyjnym wodoru.

PRZEMYSŁ HUTNICZY

Kolejny wysoce emisyjny polski przemysł stalowy posiadał w 2019 roku ~6% udziału w produkcji stali (9 Mt) w Unii Europejskiej (158 Mt) [3]. Zgodnie z opracowaniem firmy konsultingowej McKinsey [4] na przestrzeni lat, od 2017 do 2050 roku, dalszy rozwój przemysłu krajowego spowoduje wzrost emisji gazów cieplarnianych o ~19% w odniesieniu do roku 2019, kiedy emisja na poziomie 91 MtCO₂e była odpowiedzialna za 22% całkowitej krajowej emisji.

Obecnie, koncern ArcelorMittal rozpoczął przygotowania do produkcji z obniżonym śladem węglowym wdrażając u siebie system certyfikacji stali. Wzorem sektora energetycznego pojawiają się zielone certyfikaty. W pierwszej kolejności wprowadzona zostanie globalna marka XCarb dla stali z niskim śladem węglowym, dzięki wykorzystaniu biowęglu lub gazu koksowniczego. Zakup przez klientów stali certyfikowanej pozwala na redukcję śladu węglowego w wytwarzanych przez nich produktach. Oprócz korzystniejszego wpływu na środowisko, stwarza to możliwość uzyskiwania w przyszłości korzyści finansowych lub rekompensat z tytułu stosowania droższych technologii oraz materiałów. Jednym z takich działań jest budowa gazociągu pomiędzy Zakładem w Zdzeszowicach a hutą w Dąbrowie Górniczej, celem wykorzystania gazu koksowniczego bogatego w wodór.

³ World Steel Association

⁴ McKinsey&Company, Carbon-neutral Poland 2050, 2020

Górnośląska Zagłębiowska Metropolia z opcją poszerzenia o region Ostrawy (Czechy)

Przemysłowy charakter regionu umożliwia produkcję wodoru, metanu, amoniaku itp. blisko potencjalnych odbiorców. W tej strefie jest znaczący potencjał ze strony podaży i popytu z uwagi na fakt, że jest tam zlokalizowanych wiele zakładów oraz podmiotów kluczowych z punktu widzenia przyszłej gospodarki wodorowej – **Grupy Azoty w Kędzierzynie-Koźlu (produkcja wodoru), Jastrzębskiej Spółki Węglowej w Jastrzębiu-Zdroju (produkcja wodoru z gazu koksowniczego – 75 tys. ton na rok), huty ArcelorMittal w Dąbrowie Górniczej (wodór w metalurgii), huta szła oraz rozbudowany sektor energetyczny.**

Wysoki stopień industrializacji regionu gwarantuje lokalne, znaczące zapotrzebowania zarówno na wodór klasy 5.0 jak i na gaz domieszkowany wodorem. Nie bez znaczenia jest też optymalne położenie na mapie sieci przesyłowej gazu. Wybrane fragmenty sieci rurociągów umożliwiają przesył gazu z domieszką wodoru (10% i więcej). Z punktu widzenia odległości pomiędzy wybranymi zakładami oraz potrzebami i możliwościami produkcyjnymi zakładów przemysłowych stanowi znaczącą wartość dodaną. Region umożliwia tym samym przeprowadzenie pilotażowych projektów a następnie rozbudowę sieci rurociągów dedykowanych do przesyłania/magazynowania wodoru, tudzież gazu domieszkowanego wodorem.

Cechą charakterystyczną regionów uprzemysłowionych jest także duże zapotrzebowanie na energię elektryczną, co pozwala znacząco rozwinąć produkcję energii z OZE np. dzięki farmom fotowoltaicznych zainstalowanych na dużych niewykorzystanych arealach terenów pogórnich. Województwo dolnośląskie przynależy do grupy regionów o największym stopniu nasłonecznienia w Polsce. Dodatkowo, relatywnie niedalekie oddalenia od granicy z Czechami umożliwią w przyszłości wzięcie udziału w międzynarodowych programach, służących realizacji celów transgranicznych.

LOKALNA PRODUKCJA WODORU Z OZE

Obok lokalizacji dużych i wielkoskalowych instalacji produkcji wodoru, należy promować lokalne, mniejsze rozwiązania, w tym przede wszystkim zasilane z OZE. Rozwój technologii PV oraz onshore (oraz zestawiony dla porównania offshore), pozwala na użycie energii z odnawialnych źródeł do produkcji tzw. wodoru zielonego.

W przypadku zapewnienia lokalnego odbioru wodoru produkowanego z OZE, możliwe jest wyeliminowanie części kosztownych elementów łańcucha dystrybucyjnego (transport/przesył), których waga może być porównywalna do kosztów wielkoskalowej produkcji. Przykładowo, w transporcie koszt 1 kg można szacować na poziomie 2 Euro, co jest porównywalne z kosztem produkcji wodoru z SMR i zakładanym kosztem wodoru zielonego z wielkoskalowego OZE w 2030 r. Sprawia to, że lokalna produkcja wodoru, nawet nieco droższa, może konkurować z produkcją wielkoskalową.

Poniżej przedstawiono skróconą analizę ekonomiczną – biznesową dla produkcji wodoru metodą elektrolizy przy wykorzystaniu potencjału krajowego OZE. Przyjęto założenie, że OZE w przedstawionej poniżej skali (ok. 5-10 MW), może być lokalizowane w różnych miejscach w Polsce w pobliżu bezpośrednich odbiorców wodoru w ramach klastrów lub hubów wodorowych. Obecnie układy PV kojarzą rozpatrywane są jako mikro instalacje montowane

na domach budynków jednorodzinnych, ale powstają również duże instalacje o mocy kilku - kilkunastu MW. Rozwój średniego OZE jest również przewidywany przez ekspertów w perspektywie do roku 2035.

Na potrzeby przedstawionych wyliczeń przyjęto następujące założenia:

Tabela 1. Wyjściowe założenia analizy

Moc elektrolizera (MW)	1
Sprawność (%)	0,7
Liczba godzin pracy w roku (FLH)	8760
Wartość energetyczna wodoru w 1 tonie (MWh)	33
Produkcja wodoru rocznie (tony)	185,8
Produkcja wodoru dziennie (tony)	0,51

Do zasilenia elektrolizera o mocy 1 MW, konieczne jest zapewnienie odpowiedniej mocy przyłączeniowej z OZE. Zakłada się, że zostaną wykorzystane różne źródła energii odnawialnej, co jest bezpośrednio zależne od szerokości geograficznej Polski. Na potrzeby kalkulacji przyjęto, że do zasilenia elektrolizera o mocy 1 MW wymagane jest 10 MW mocy przyłączeniowej z fotowoltaiki, 4 MW mocy przyłączeniowej z lądowych farm wiatrowych oraz 2 MW mocy przyłączeniowej z morskich farm wiatrowych. Podane liczby wynikają z poziomu efektywności działania danego źródła w skali rocznej, czyli tzw. *Load Factor*.

Tabela 2. Dane techniczne – wolumen produkcji energii elektrycznej dla podanych wariantów mocy przyłączeniowych OZE (PV = 10 MW, onshore = 4 MW, offshore = 2 MW).

Moc instalacji	Wolumen produkcji (MWh)
PV 10 MW	8760
Onshore 4 MW	8760
Offshore 2 MW	8760

Podane instalacje OZE produkują rocznie 8760 MWh energii elektrycznej, co odpowiada rocznemu zapotrzebowaniu elektrolizera klasy 1 MW na moc. Należy jednak zaznaczyć, że podane wyniki i przyjęte poziomy tzw. *Load Factor* uwzględniają roczny profil działania danego źródła OZE. Dodatkowo, możliwość produkcyjna poszczególnych instalacji OZE jest ściśle zależna od pory dnia i warunków pogodowych. W sytuacji, gdy generowana moc jest niewystarczająca do pokrycia bieżącego zapotrzebowania na moc przez elektrolizer, niezbędne jest dostarczenie brakującej energii elektrycznej z sieci, co wiąże się z przejściem na zasilanie awaryjne. Ze względu na ciągłą pracę elektrolizera na stałym poziomie, możliwe są również scenariusze, kiedy instalacje OZE produkują więcej energii elektrycznej niż wymaga tego elektrolizer. W takim wypadku należy założyć możliwość odsprzedaży nadwyżek mocy do krajowego dystrybutora.

Tabel 3. Koszty instalacji OZE i elektrolizerów w przeliczeniu na 1 MW

Rodzaj źródła OZE	EUR/MW – średnio dla różnych projektów	Dane przyjęte w poniższej kalkulacji
PV	0,5 – 1 mln	0,75 mln
Onshore	1,5 – 2 mln	1,75 mln
Offshore	3-4 mln	3,5 mln
Elektrolizer	0,8 – 1,2 mln	1 mln

Koszt instalacji 10 MW PV i 1 MW elektrolizera (CAPEX)

Instalacja PV = 10 MW x 0,75 mln EUR = 7,5 mln EUR

Elektrolizer = 1 mln EUR

Suma = 8,5 mln EUR

Koszt instalacji 4 MW onshore i 1 MW elektrolizera (CAPEX)

Instalacja Onshore = 4 MW x 1,75 mln EUR = 7 mln EUR

Elektrolizer = 1 mln EUR

Suma = 8 mln EUR

Koszt instalacji Offshore 2 MW i 1 MW elektrolizera

Instalacja Offshore = 2 MW x 3,5 mln EUR = 7 mln EUR

Elektrolizer = 1 mln EUR

Suma = 8 mln EUR

Przedstawiony przypadek zakłada ciągłą pracę elektrolizera na poziomie 1 MW, generującego rocznie ok 185 ton wodoru co odpowiada zapotrzebowaniu na zasilenie do ok. 10 autobusów miejskich pokonujących dziennie kilkaset kilometrów. W przypadku floty do 5 autobusów, wielkość elektrolizera można zmniejszyć o połowę, co również w podobnej proporcji zmniejszy koszty budowy takiej instalacji do ok. 4 mln Euro.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzona analiza miała za zadanie wskazać wstępnie oszacowany profil referencyjnych obiektów przemysłowych oraz regionów wraz ze skalą wdrożeń rozwiązań wodorowych. Oprócz wielkoskalowej produkcji wodoru zlokalizowanej w wybranych centrach przemysłowych, przedstawiono potencjał wraz zestawem kluczowych uwarunkowań techniczno-ekonomicznych przedsięwzięć, obejmujących instalacje produkcji zielonego wodoru w oparciu o energię z OZE w dowolnej lokalizacji.

Wskazane obiekty w niniejszym Załączniku nr 3, wymagają przeprowadzenia szeregu szczegółowych analiz, celem weryfikacji opłacalności ekonomiczno-technicznej każdego z wybranych przedsięwzięć. Należy zaznaczyć, że w głównej mierze od dostępności do taniej energii z OZE uzależniona jest skala i szybkość rozwoju produkcji zielonego wodoru.