

ORGANIZATORZY



PROGNOZA ZAPOTRZEBOWANIA NA WODÓR ODNAWIALNY RFNBO

(RENEWABLE FUELS OF NON-BIOLOGICAL ORIGIN)

W POLSCE DO 2030 R.



Raport pod kierunkiem dr. hab. Grzegorza Tchorka, prof. IEn
Listopad 2023

PARTNERZY MERYTORYCZNI KONFERENCJI I RAPORTU



GŁÓWNY PARTNER ENERGETYCZNY KONFERENCJI



Prognoza zapotrzebowania na wodór odnawialny RFNBO w Polsce do 2030 roku

Autorzy

Dr hab. Grzegorz Tchorek, prof. IEn

Instytut Energetyki,

Uniwersytet Warszawski, Wydział Zarządzania (redakcja)

Mgr Filip Targowski

Uniwersytet Warszawski, Wydział Zarządzania

Mgr Piotr Mikusek

Uniwersytet Warszawski, Wydział Prawa i Administracji

Michał Grzybowski

Uniwersytet Warszawski, Wydział Zarządzania

Maksymilian Matraszek

Uniwersytet Warszawski, Wydział Zarządzania

Współpraca

Dr hab. Jakub Kupecki, prof. IEn

Instytut Energetyki

Dr inż. Jarosław Hercog

Instytut Energetyki

Dr inż. Piotr Józwiak

Instytut Energetyki

Do kogo skierowana jest analiza?

Ze względu na dużą liczbę sektorów, których dotyczy dyrektywa RED III oraz rozporządzenia FuelEU Maritime, REFuelEU Aviation i AFiR, analiza skierowana jest do szerokiego grona odbiorców. Do głównych grup podmiotów, których dotyczą wyżej wymienione regulacje można zaliczyć m.in.:

1.	Organy administracji rządowej
2.	Przedsiębiorstwa przemysłowe, które obecnie wykorzystują wodór (m.in. zajmujące się produkcją amoniaku, działające w sektorze rafineryjnym, niektóre podmioty przemysłu spożywczego oraz szklarskiego, niektóre podmioty sektora chemicznego, itd.)
3.	Przedsiębiorstwa przemysłowe, które potencjalnie będą wykorzystywały wodór do 2030 r. (np. hutnictwo, przemysł chemiczny, cementownie, elektroenergetyka, nowoczesna petrochemia, podmioty wykorzystujące wysokotemperaturowe ciepło przemysłowe, itd.)
4.	Przedsiębiorstwa działające na szeroko rozumianym rynku OZE, których działalność będzie kluczowa dla produkcji RFNBO
5.	Dostawcy paliw (wskazani w dyrektywie RED III jako podmioty bezpośrednio odpowiadające za realizację celu transportowego)
6.	Producenci pojazdów napędzanych wodorem (różnych środków transportu, w tym samochodów, autobusów, taboru kolejowego, wodnego, itd.)
7.	Podmioty funkcjonujące lub zainteresowane wejściem na rynek infrastruktury tankowania wodoru
8.	Organy administracji samorządowej
9.	Inne podmioty, których bezpośrednio lub pośrednio dotyczą zapisy dyrektywy RED III oraz rozporządzeń FuelEU Maritime, REFuelEU Aviation i AFiR (np. operatorzy portów morskich, portów lotniczych, itp.)

Znaczenie wykorzystania RFNBO dla przyszłości polskiego przemysłu

Wyzwania wynikające z prowadzenia polityki klimatyczno-energetycznej UE

Wymogi regulacyjne
Regulacje UE tworzą **nowe wymogi** mające pozwolić na osiągnięcie neutralności klimatycznej UE do 2050 r. Pakiet „Fit for 55” intensyfikuje trend **wdrażania wiążących obowiązków** ograniczających emisyjność produkcji przemysłowej.

Koszty ETS
Zmiany w ETS przyspieszą **dalszy wzrost cen uprawnień do emisji** w znaczny sposób obciążając przemysł energochłonny. Zaostrzenie benchmarków oraz wycofywanie bezpłatnych dla towarów w CBAM uprawnień do emisji **znacząco obciążą** emisyjną produkcję przemysłową.

Pozyskiwanie finansowania
Istotną kwestią z punktu widzenia inwestorów jest **możliwość pozyskiwania wsparcia zewnętrznego** na realizację inwestycji. Kwestie dotyczące **pomocy publicznej** regulowane są na poziomie UE i tworzą ramy dla krajowych mechanizmów.

Innowacyjność
Dynamika zmian technologicznych oraz implementacja nowoczesnych rozwiązań produkcyjnych **zmieniają obecne i kształtują nowe** gałęzie przemysłu. Wspieranie **polityki innowacyjności przemysłowej** odgrywa coraz większą rolę w regulacjach UE i USA.

Zarządzanie energią
Postępująca w UE **liberalizacja rynku** energii i jego **decentralizacja** tworzą potrzebę oraz dają możliwości aktywniejszego udziału w rynku energii zakładów przemysłowych. Coraz większą rolę odgrywać będą także mechanizmy **poprawy efektywności** energetycznej.

Zgodność
Wykorzystanie RFNBO będzie niezbędne dla **zachowania zgodności z potencjalnym przyszłym krajowym celem RFNBO dla przemysłu**, a ich niedotrzymanie może skutkować ponoszeniem kar.

Zmniejszenie
Wykorzystanie RFNBO pozwoli operować na surowcu/paliwie o **zerowej emisyjności**, co zmniejszy ekspozycję na koszty ETS. Zmiana zakresu ETS pozwoli instalacjom powyżej 5 tH₂/dziennie **otrzymywać bezpłatne uprawnienia**, co pozytywnie wpłynie na koszty wytwórców-konsumentów RFNBO.

Większa dostępność
Wraz ze zmianami z pakietu Fit for 55 dochodzi do **zmian w przepisach pomocowych** i zakresach projektów mogących korzystać ze wsparcia. Spadają możliwości finansowania inwestycji emisyjnych. Dodatkowo tworzone są **dedykowane pule środków na RFNBO** (np. Hydrogen Bank).

Poprawa
Ze względu na nieistnienie dotychczas rynku RFNBO w UE wdrażanie tej technologii może stanowić istotne **narzędzie polityki innowacyjności** przemysłowej. Działania z zakresu R&D w ramach technologii RFNBO będą tworzyć **nowe rynki produktowe i usługowe** i kreować **przewagi konkurencyjne**.

Elastyczność
Wykorzystanie RFNBO może stanowić **formę zwiększania elastyczności** systemowej np. poprzez wykorzystanie elektrolizerów jako systemu magazynowania energii. Pojawią się także **nowe obszary przychodowe** np. świadczenie usług elastyczności.

Potencjał mitygacji zdiagnozowanych ryzyk w przemyśle za pomocą RFNBO

Spis treści

- 1 Wprowadzenie - założenia wyjściowe do analizy, kontekst rynkowo-regulacyjny
- 2 Przemysł – zielony wodór i pochodne w sektorach trudnych do elektryfikacji
- 3 Transport – zielony wodór i pochodne w transporcie oraz procesach rafineryjnych
- 4 Podsumowanie sektorowe
- 5 Rekomendacje

1

Wprowadzenie



Założenia wyjściowe do analizy



Podstawa prawna: 1. Dyrektywa RED III, 2. Rozporządzenia: 2a FuelEU Maritime, 2b. REFuelEU Aviation 2c. AFiR

Dyrektywa RED III* określa obligatoryjne cele wykorzystania paliw odnawialnych pochodzenia niebiologicznego (RFNBO) w przemyśle (art. 22a) i transporcie (art. 25) oraz stanowi podstawę do kreacji popytu na „zielony” wodór i pochodne do 2030 r. (RFNBO). W analizie uwzględniono także cele regulacyjne dla transportu morskiego i lotniczego.



Horyzont czasowy analizy: 2030 r.

Analiza jest próbą estymacji popytu na wodór odnawialny i pochodne (RFNBO) zgodnie z celami regulacyjnymi wskazanymi w dyrektywie RED III, rozporządzeniach FuelEU Maritime**, REFuelEU Aviation*** i AFiR**** na 2030 r.



Analizowane sektory: przemysł, transport

Głównymi sektorami, które będą kontrybuować do realizacji celów regulacyjnych są przemysł (nawozowy, rafineryjny, potencjalnie hutniczy), transport (lądowy, morski, lotniczy).



Zastrzeżenia metodologiczne:

1. Podstawą do wyliczenia celu przemysłowego RFNBO są dane z 2022 r. a nie dane z 2030 r. (brak dostępnych i w pełni wiarygodnych prognoz zużycia wodoru w Polsce).
2. Analiza zakłada uproszczenie, że cele procentowe RFNBO z dyrektywy RED III zostaną bezpośrednio zaimplementowane do prawa krajowego, mimo że decyzja co do wartości kontrybucji do tych celów, a także umocowania w prawie krajowym będzie zależała od polityki danego państwa członkowskiego (w tym kary, mnożniki etc.).
3. Swoim zakresem analiza obejmuje prawdopodobnie 90-95% przyszłego popytu na wodór odnawialny i pochodne (RFNBO), jednak nie pokrywa 1:1 wszystkich sektorów, które w 2030 r. mogą kontrybuować do realizacji celów RED III (trudne do prognozy, margines błędu).
4. Analiza uwzględnia nowe sektory wykorzystania RFNBO, które będą kontrybuować do celu przemysłowego np. hutnictwo metali, gdzie stosunkowo trudno wskazać jest wysoce prawdopodobne wolumeny wykorzystania RFNBO do 2030 r. W konsekwencji, prognozy dotyczące nowych sektorów wykorzystania RFNBO należy traktować jako eksperckie przybliżenie.
5. Analiza przyjmuje uproszczenie, że całkowity popyt na ekologiczny wodór będzie wynikał bezpośrednio z celów regulacyjnych RFNBO, autorzy nie brali pod uwagę potencjalnego przyszłego popytu na wodór niskoemisyjny, biowodór, RCF.
6. Pojęcie wodoru nie odnosi się wyłącznie do czystego wodoru, lecz również do wodoru występującego w mieszaninie z innymi gazami np.: z azotem czy tlenkiem węgla *****.

* Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 października 2023 r. zmieniająca dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/2001, rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/1999 i dyrektywę 98/70/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do promowania energii ze źródeł odnawialnych oraz uchylająca dyrektywę Rady (UE) 2015/652; COM (2021) 557

** Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 13 września 2023 r. w sprawie stosowania paliw odnawialnych i niskoemisyjnych w transporcie morskim oraz zmieniające dyrektywę 2009/16/WE

*** Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 października 2023 r. w sprawie zapewnienia równych warunków działania dla zrównoważonego transportu lotniczego

**** Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 13 września 2023 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych i uchylające dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE

***** CE Delft, 50% green hydrogen for Dutch industry. Analysis of consequences draft RED3, marzec 2022, s. 16.

Dyrektywa RED III - podstawowe pytania wprowadzające

1. Dlaczego cele obejmują RFNBO, a nie po prostu „zielony” wodór?

Definicja RFNBO* obejmuje znacznie szerszy zakres paliw niż tylko wodór. Wodór produkowany z odnawialnych źródeł energii (tzw. „zielony” wodór) oprócz bezpośredniego zastosowania w wybranych sektorach gospodarki może być także surowcem do produkcji bardziej złożonych paliw, jak np. „zielony” amoniak, „zielony” metanol lub syntetyczne paliwa lotnicze. Definicja RFNBO w dyrektywie RED II, a także cele dla tych paliw w dyrektywie RED III odnoszą się zarówno do wodoru, jak i paliw pochodnych, obejmują szerszy zakres paliwowy odzwierciedlając zarówno obecne, jak i przyszłe zapotrzebowanie na ekologiczne paliwa alternatywne.

2. Dlaczego planuje się wprowadzenie celów RFNBO?

Cele RFNBO wprowadzone w ramach dyrektywy RED III mają doprowadzić do dekarbonizacji sektorów tzw. trudnych do elektryfikacji, w których bezpośrednie zastosowanie energii elektrycznej nie jest najbardziej efektywne albo już obecnie wykorzystywany jest w nich wodór z paliw kopalnych. Wśród wiodących sektorów, które mają zostać zdekarbonizowane dzięki zastosowaniu RFNBO są m.in. sektor nawozowy (amoniak), sektor rafineryjny, sektor petrochemiczny (chemikalia inne niż amoniak), transport zbiorowy i ciężki, hutnictwo metali żelaznych i nieżelaznych, potencjalnie produkcja cementu, a także ciepłownictwo przemysłowe wysokotemperaturowe.

3. Co oznacza sformułowanie „paliwa pochodzenia niebiologicznego”?

Według obowiązującej definicji RFNBO jednymi źródłami energii, które mogą służyć do ich produkcji mogą być źródła „pochodzenia niebiologicznego”, czyli w praktyce energia elektryczna pochodząca z energii wiatrowej, słonecznej, wodnej i geotermalnej zasilająca instalację elektrolizy do produkcji wodoru jako podstawowego surowca do produkcji RFNBO albo paliwa docelowego. Pozostałe źródła energii do produkcji wodoru jak m.in. paliwa kopalne, biomasa, odpady nie pozwalają na produkcję RFNBO i nie mogą służyć do rozliczenia celów regulacyjnych.

4. Jakie są zasady produkcji RFNBO?

Dowolne przesłanie energii elektrycznej z OZE do elektrolizera NIE ZAPEWNIĄ zgodności z definicją RFNBO. Obowiązują ścisłe zasady zasilania instalacji elektrolizy oraz urządzeń towarzyszących w celu produkcji RFNBO, a także występuje określona metodologia pomiaru emisji CO₂ dla paliw RFNBO. Przepisy te są opisane w aktach delegowanych RFNBO/RCF do dyrektywy RED II. **Wodór produkowany bezpośrednio z energii jądrowej nie jest RFNBO.**

* RFNBO - paliwa odnawialnego pochodzenia niebiologicznego zdefiniowane w art. 2 (36) RED II oznaczają paliwa produkowane ze źródeł odnawialnych innych niż biomasa (czyli turbiny wiatrowe, elektrownie słoneczne, wodne, geotermalne), w mowie potocznej można przyjąć uogólnienie, że RFNBO oznacza „zielony” wodór oraz „zielone” paliwa wyprodukowane na bazie „zielonego” wodoru (np. amoniak, metanol, paliwa syntetyczne)

Dyrektywa RED III - cele regulacyjne RFNBO jako podstawa analizy

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

Jakie cele % wprowadza dyrektywa RED III i rozporządzenie REFuelEU Aviation ?

**Art. 22a
RED III
(cel przemysłowy)**

udział RFNBO w wykorzystywanym wodorze powinien wynieść **co najmniej 42%** w 2030 r.

**Art. 25
RED III
(cel transportowy)**

1% udziału RFNBO w końcowym zużyciu energii w transporcie w 2030 r.

**Art. 25
RED III
(transport morski)**

1,2% udział RFNBO w końcowym zużyciu energii w transporcie morskim **w okresie do 2030 r.***

**REFuelEU
Aviation
(transport lotniczy)**

0,7% udziału syntetycznych paliw lotniczych w końcowym zużyciu paliw w transporcie lotniczym w 2030 r.**

Jakie są wymogi dla paliw RFNBO ?

Wymogi aktów delegowanych do dyrektywy RED II

Rozporządzenie delegowane KE 2023/1184 do RED II

Ścisłe wymogi w zakresie zasilania instalacji produkcji RFNBO (m.in. dodatkowość OZE, korelacja czasowa, korelacja geograficzna)

Rozporządzenie delegowane KE 2023/1185 do RED II

Ścisłe wymogi w zakresie opomiarowania śladu węglowego paliw RFNBO w cyklu życia (obejmuje cały łańcuch wartości wodoru i pochodnych)

Jak cele RFNBO wpłyną na przemysł i transport ?

- **Dekarbonizacja obecnych procesów wykorzystujących wodór** - przejście z użycia wodoru szarego na paliwa RFNBO głównie w sektorze chemicznym, rafineryjnym i petrochemicznym
- **Wodór w nowych zastosowaniach** - wykorzystanie RFNBO w sektorach, w których nie występował wodór m.in. hutnictwo metali żelaznych i nieżelaznych, cementownie
- **Dekarbonizacja transportu** - dostarczanie paliw RFNBO do różnych sektorów transportu jako paliwa docelowego, oczyszczanie paliw ropopochodnych z użyciem wodoru RFNBO

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

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



Dyrektywa RED III - wzór do wyliczenia celu przemysłowego RFNBO

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

RED III Art. 22a (cel przemysłowy)

Wartość energetyczna RFNBO
użytego w przemyśle na cele
energetyczne i nieenergetyczne
wyrażona w PJ

Licznik

X 100 %

% udział
RFNBO
w przemyśle

Mianownik

Wartość energetyczna wodoru
użytego w przemyśle na
potrzeby energetyczne i
nieenergetyczne wyrażona w PJ



Z mianownika wyłączony jest wódór będący produktem ubocznym (tzw. by-product), który powstaje w Polsce w dużych ilościach m.in. w koksowniach, w związku z tym Polska ma istotnie obniżoną bazę do wyliczenia celu.

RED III. Art. 22a (cel przemysłowy) - przykład sektor chemiczny

Wartość energetyczna
zielonego wodoru (RFNBO)
użytego w procesie Habera-
Boscha wyrażona w PJ

Licznik

X 100 %

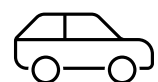
% udział
RFNBO
w przemyśle

Mianownik

Całkowita wartość energetyczna
wodoru użytego w sektorze
nawozowym do produkcji amoniaku w
reakcji Habera-Boscha wyrażona w PJ

NH₃

W liczniku znajduje się wartość energetyczna użytego zielonego wodoru (RFNBO), w mianowniku całkowita wartość energetyczna wodoru, który został użyty do produkcji tego amoniaku, a także do pozostałego wolumenu amoniaku w całym sektorze.



Dyrektywa RED III - wzór do wyliczenia celu transportowego RFNBO

Zgodnie z art. 25 RED III, procentowy cel transportowy RFNBO* będzie wyliczany w formule dzielenia licznika przez mianownik z odpowiednio przyporządkowanymi wartościami. Za realizację celu transportowego będą odpowiedzialni dostawcy paliw. Cel transportowy jest znacznie bardziej skonkretyzowany w zakresie odpowiedzialności od celu przemysłowego, niemniej będzie musiał być przyjęty na poziomie państw członkowskich.

RED III Art. 25 (cel transportowy)

Wartość energetyczna RFNBO użytego jako **1) paliwo docelowe** oraz **2) jako surowiec do oczyszczania ropy naftowej** wyrażona w PJ

Licznik

X 100 %

**% udział
RFNBO
w transporcie**

Mianownik

Całkowite zużycie energii w transporcie wyrażone w PJ



Obecna treść RED III umożliwia rozliczenie celu przez państwa członkowskie (dostawców paliw z tych państw) zarówno za pomocą RFNBO bezpośrednio dostarczanego jako paliwo docelowe do tankowania pojazdów, jak i za pomocą wodoru RFNBO służącego w procesie oczyszczania paliw konwencjonalnych (ropopochodnych).

RED III Art. 25 (cel transportowy) - przykład H₂ jako paliwo

Wartość energetyczna paliwa RFNBO docelowego użytego do tankowania pojazdu (np. autobusu)

Licznik

X 100 %

**% udział
RFNBO
w transporcie**

Mianownik

Całkowite zużycie energii w transporcie wyrażone w PJ



Decyzją państw członkowskich oraz podmiotów zobligowanych celem transportowym RED III pozostanie wybór najbardziej optymalnej metody jego realizacji uwzględniając zarówno strategię dostaw RFNBO jako paliwa docelowego do transportu (paliwa alternatywne), jak i użycie RFNBO jako surowca do procesów oczyszczania ropy naftowej.

* Realizując dostawy paliw RFNBO zgodnie z celami REFuelEU Aviation i FuelEU Maritime (slajd 9) będzie można dodatkowo kontrybuować do rozliczenia ogólnego celu transportowego RFNBO z RED III.

RED III / REFuel EU Aviation / FuelEU Maritime - cele dla transportu morskiego i lotniczego

Pakiet Fit for 55 wprowadził także dedykowane cele w zakresie dekarbonizacji transportu morskiego i lotniczego, ustanawiając dedykowane cele zastosowania RFNBO w tych sektorach. Za realizację obligatoryjnego celu użycia paliw syntetycznych w transporcie lotniczym (REFuelEU Aviation) odpowiedzialni będą dostawcy paliw lotniczych. W przypadku celu dla transportu morskiego z RED III jego realizacja będzie dobrowolna i zależna od polityki danego państwa członkowskiego. Jednocześnie rozporządzenie FuelEU Maritime wprowadza obligatoryjny cel wykorzystania RFNBO do 2034 r., jednak nie jest on objęty niniejszą analizą, gdyż wybiega poza horyzont czasowy do 2030 r.



Cel dla paliw syntetycznych transport lotniczy (REFuelEU Aviation)

Wolumen syntetycznego paliwa lotniczego użytego do zatankowania samolotu (tony)

Licznik

X 100 %

% udział syntetycznych paliw RFNBO w transporcie lotniczym

Mianownik

Całkowite zużycie paliw w transporcie lotniczym (tony)



Cele REFuelEU Aviation w zakresie paliw syntetycznych (wskazane na slajdzie 6) będą mogły być realizowane różnymi paliwami bazującymi na wodorze (zarówno RFNBO, jak i niskoemisyjnym) jednak w przypadku Polski uznaje się, że cele te będą realizowane wyłącznie wodorem i pochodnymi wpisującymi się w definicję RFNBO.



Cel RFNBO transport morski (RED III art. 25)

Wartość energetyczna RFNBO użytego do zatankowania statku (jako paliwo napędowe i używane na pokładzie) wyrażona w MJ

Licznik

X 100 %

% udział RFNBO w transporcie morskim

Mianownik

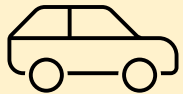
Całkowite zużycie energii w transporcie morskim wyrażone w MJ



Cel dla transportu morskiego wskazany w RED III do 2030 r. (1,2%) jest celem nieobligatoryjnym i wynika z chęci pobudzenia popytu na wodór w tym sektorze. Właściciele flot statków używający wodoru RFNBO w tych latach będą mogli liczyć na preferencyjne warunki rozliczenia celu w ramach rozporządzenia FuelEU Maritime.

Mnożniki wykorzystania RFNBO w sektorze transportu

W sektorze transportu wykorzystanie RFNBO stanowi jedną z możliwych ścieżek dekarbonizacyjnych obok elektryfikacji czy też wdrażania zwykłych i zaawansowanych biopaliw i biogazu. Aby promować RFNBO jako źródło paliwa w transporcie wprowadzono zatem dodatkowe mnożniki pozwalające multiplikować wartość energetyczną wykorzystaną do zasilenia pojazdów. W przypadku transportu drogowego wartość energetyczna RFNBO stanowi dwukrotność rzeczywiście wykorzystanej wartości energetycznej, natomiast w przypadku transportu morskiego i lotniczego, ze względu na ich charakterystykę i trudność w elektryfikacji, wartość energetyczna RFNBO stanowi trzykrotność rzeczywiście wykorzystywanej wartości energetycznej.



Rzeczywiste wykorzystanie: $1 \text{ kg H}_2 = 120 \text{ MJ}$
Rozliczenie celu transportowego: $1 \text{ kg H}_2 = 120 \text{ MJ} \times 2 = 240 \text{ MJ}$



Rzeczywiste wykorzystanie: $1 \text{ kg H}_2 = 120 \text{ MJ}$
Rozliczenie celu transportowego: $1 \text{ kg H}_2 = 120 \text{ MJ} \times 3^* = 360 \text{ MJ}$



Rzeczywiste wykorzystanie: $1 \text{ kg H}_2 = 120 \text{ MJ}$
Rozliczenie celu transportowego: $1 \text{ kg H}_2 = 120 \text{ MJ} \times 3^* = 360 \text{ MJ}$

- **Transport drogowy** – w transporcie drogowym RED III przewiduje mnożnik x2. Mnożnik ten znajduje zastosowanie niezależnie od tego czy RFNBO zostało wykorzystane jako surowiec w rafinerii (do odsiarczania) czy też bezpośrednio jako paliwo alternatywne w pojeździe.
- **Transport morski i lotniczy** – w transporcie morskim i lotniczym RED III przewiduje mnożnik x3. RFNBO musi zostać wykorzystane bezpośrednio jako paliwo alternatywne w pojeździe i regulacje obecnie nie przewidują możliwości rozliczenia celu za pomocą wykorzystania jako surowca w rafinerii.
- **Wartość energetyczna** – wartości energetyczne poszczególnych RFNBO została określone w Załączniku III do RED III m.in. 1 kg to dla: wodoru – 120 MJ, metanolu – 20 MJ. W przypadku braku określenia wartości energetycznej danego rodzaju RFNBO (np. amoniaku) stosuje się wartości kaloryczne paliw ustanowione w normach europejskich, a jeśli takich norm nie przyjęto stosuje się normy ISO.
- **Przemysł** – w sektorze przemysłu nie ustanowiono żadnych mnożników, pomimo iż na etapie projektowania RED III takie postulaty były formułowane.

Mnożnik x3 jest wynikiem ukształtowania art. 27 ust. 2 lit. c) i e) przewidujące zastosowanie ogólnego mnożnika x2 dla RFNBO (lit. c) oraz dedykowanego mnożnika x1,5 dla RFNBO stosowanego w transporcie lotniczym i morskim (lit. e).

2

Przemysł



Obecne i przyszłe sektory przemysłowe z zastosowaniem wodoru i paliw pochodnych

Poniższe sektory opisane w sekcji „Obecnie” oraz „Przyszłość” będą stanowić około 90-95% zapotrzebowania na wodór i paliwa pochodne w przemyśle w 2030 r. Niemniej należy zaznaczyć, że finalna architektura rynku będzie zależna od polityki krajowej i występujących systemów wsparcia, szczególnie w przypadku rozwoju zastosowania RFNBO w nowych sektorach i przejścia z wykorzystania szarych molekuł na zielone (dekarbonizacja).

Obecnie (szary wodór i pochodne)

- **Sektor nawozowy** (amoniak) - wodór jako podstawowy surowiec do produkcji amoniaku
- **Sektor rafineryjny** (przerób paliw) - wodór jako surowiec do przerobu ropy naftowej*
- **Sektor chemiczny** (poza amoniakiem) – np. nadtlenek wodoru, cykloheksan, alkohole oxo, toluenu (TDI), heksametylenodiamina, kwas adypinowy, kwas solny, tetrahydrofuran
- Pozostałe (m.in. przemysł spożywczy, produkcja szkła)

Przyszłość (RFNBO)

- Sektory wymienione w sekcji „Obecnie” oraz
- **Hutnictwo metali żelaznych** - topienie rud metali np. żelazo
- **Hutnictwo metali nieżelaznych** - topienie rud metali np. miedź
- **Nowoczesna petrochemia** - np. paliwa RFNBO jako surowce wsadowe w petrochemii (e-metanol)
- **Wysokotemperaturowe ciepło przemysłowe** (np. cementownie, huty szkła)
- **Elektroenergetyka**

Wyłączone z analizy

Zgodnie z treścią RED III wodór będący produktem ubocznym (tzw. by-product) jest wyłączony z mianownika wzoru RFNBO. W Polsce produkuje się stosunkowo duże wolumeny wodoru będącego produktem ubocznym w koksowniach przemysłowych jednak wodór ten nie może służyć do rozliczenia celu RFNBO (nawet po odseparowaniu i wyłapaniu CO₂)

* Należy wskazać, że zgodnie z RED III cel przemysłowy RFNBO na poziomie rafinerii będzie realizowany tylko dla tej części wodoru, który jest wykorzystywana na cele inne niż produkcja paliw transportowych (do celu przemysłowego RFNBO kwalifikować się będzie np. produkcja paliw wsadowych do procesów petrochemicznych/chemicznych).

Źródła: European Hydrogen Observatory, Fuel Cell and Hydrogen Observatory, Hydrogen Europe

Produkcja wodoru w Polsce w 2022r. w wybranych zakładach

Nazwa	Typ procesu	Podtyp procesu	Obszar wykorzystania	Zdolność produkcyjna t/rocznie	Produkcja t/rocznie
Płock PKN ORLEN	Reforming parowy		Sektor rafineryjny	232836	190926
Gdańsk Grupa Lotos	Reforming parowy		Sektor rafineryjny	168809	138423
Puławy Zakłady Azotowe	Reforming parowy		Sektor nawozowy (amoniak)	214620	133536
Police Zakłady Chemiczne	Reforming parowy		Sektor nawozowy (amoniak)	105120	65405
Włocławek Anwil S.A. (Grupa Orlen)	Reforming parowy		Sektor nawozowy (amoniak)	92327	57446
Jedlicze PKN ORLEN	Reforming parowy		Sektor rafineryjny	58205	47728
Kędzierzyn Zakłady Azotowe 2	Reforming parowy		Sektor nawozowy (amoniak)	70844	44079
Kędzierzyn Zakłady Azotowe 1	Reforming parowy		Sektor nawozowy (amoniak)	68180	42421
Tarnów Zakłady Azotowe	Reforming parowy		Sektor nawozowy (amoniak)	50602	31485
Płock PKN ORLEN	Produkt uboczny w procesach rafineryjnych	Ethylene	Sektor rafineryjny	11957	9804
Tarnów Zakłady Azotowe	Reforming parowy		Sektor chemiczny (inny niż amoniak)	6237	4865
Włocławek Anwil S.A. (Grupa Orlen)	Produkt uboczny w procesach rafineryjnych	Chlor-alkali	Sektor chemiczny (inny niż amoniak)	5460	3767
Brzeg Dolny Zakłady Chemiczne/PCC Rokita	Produkt uboczny w procesach rafineryjnych	Chlor-alkali	b.d.	5208	3594
Puławy Zakłady Azotowe	Reforming parowy		b.d.	3898	3041
Bochnia Stalprodukt	Reforming parowy		Sektor chemiczny (inny niż amoniak)	3767	2938
Kędzierzyn Zakłady Azotowe	Reforming parowy		b.d.	3723	2904
Trzebinia PKN ORLEN	Reforming parowy		Sektor chemiczny (inny niż amoniak)	1577	1230
Błachownia Solveco SA	Reforming parowy		Sektor chemiczny (inny niż amoniak)	876	683
Tarnów Zakłady Azotowe	Produkt uboczny w procesach rafineryjnych	Chlor-alkali	Sektor chemiczny (inny niż amoniak)	525	362
Trzebinia PKN ORLEN	Reforming parowy		Sektor rafineryjny	b.d.	b.d.

Źródło: European Hydrogen Observatory, <https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/hydrogen-landscape/production-trade-and-cost/hydrogen-production>

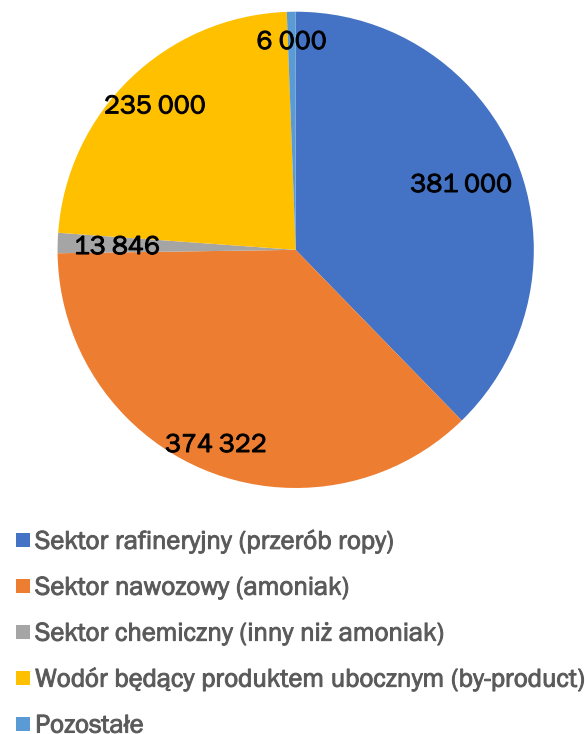
Konsumpcja wodoru w Polsce w 2022r. w wybranych zakładach

Miasto	Zakład	Obszar zastosowania	Roczna konsumpcja H ₂
Gdańsk	Gdańsk Grupa Lotos	Sektor rafineryjny	138423
Puławy	Puławy Zakłady Azotowe	Sektor nawozowy (amoniak)	133536
Police	Police Zakłady Chemiczne	Sektor nawozowy (amoniak)	65405
Włocławek	Włocławek Anwil S.A. (Grupa Orlen)	Sektor nawozowy (amoniak)	57446
Jedlicze	Jedlicze PKN ORLEN	Sektor rafineryjny	47728
Kędzierzyn	Kędzierzyn Zakłady Azotowe 2	Sektor nawozowy (amoniak)	44079
Kędzierzyn	Kędzierzyn Zakłady Azotowe 1	Sektor nawozowy (amoniak)	42421
Tarnów	Tarnów Zakłady Azotowe	Sektor nawozowy (amoniak)	31485
Tarnów	Tarnów Zakłady Azotowe	Sektor chemiczny (inny niż amoniak)	4865
Bochnia	Bochnia Stalprodukt	Sektor chemiczny (inny niż amoniak)	2938
Błachownia	Błachownia Solvaco SA	Sektor chemiczny (inny niż amoniak)	683
Trzebinia	Trzebinia PKN ORLEN	Sektor rafineryjny	b.d.

Źródło: European Hydrogen Observatory, <https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/hydrogen-landscape/end-use/hydrogen-demand>

Obecna produkcja i zużycie wodoru w przemyśle

Produkcja i zużycie wodoru w sektorze przemysłu w Polsce w 2022 r. (tony)



Łącznie: około 1 mln ton H₂

Komentarz

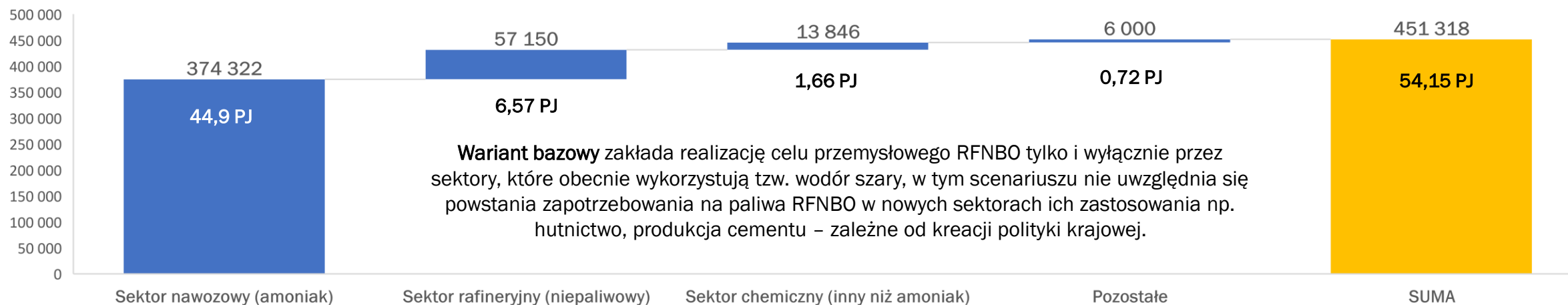
- **Sektor nawozowy (amoniak)** - odpowiada za około 374 kt produkcji i jednoczesnego zużycia wodoru na potrzeby produkcji amoniaku (reakcja Habera-Boscha). Należy wskazać, że w przeciwieństwie do wielu innych państw UE, sektor nawozowy był największym konsumentem wodoru w Polsce w ostatniej dekadzie, przewyższając zużycia nawet w sektorze rafineryjnym, jednak w 2022 r. zużycie wodoru w tym sektorze było mniejsze z racji na otoczenie makroekonomiczne i wojnę w Ukrainie (historycznie wysokie ceny gazu ziemnego).
- **Sektor rafineryjny (przerób paliw)** - odpowiada za około 381 kt produkcji i zużycia wodoru na potrzeby oczyszczania ropy naftowej (hydrokraking, odsiarczanie). Należy pamiętać, że oczyszczanie ropy naftowej odbywa się w dwóch dalszych kierunkach: 1) na potrzeby produkcji paliw konwencjonalnych, 2) na potrzeby produkcji chemikaliów (wpływa to na sposób wyliczenia celu RFNBO).
- **Sektor chemiczny (poza amoniakiem)** - odpowiada za około 14 kt produkcji i zużycia wodoru rocznie, głównie na potrzeby dalszego wytwarzania takich chemikaliów jak m.in.: chlorek winylu, cykloheksan, toluen. Trudno dokładnie zweryfikować i wskazać wszystkie procesy technologiczne w tym sektorze, w których wodór występuje jako bazowy surowiec produkcyjny.
- **Pozostałe sektory** - odpowiadają za około 6 kt produkcji i zużycia wodoru, składają się na nie głównie: sektor gazów technicznych, wodór wykorzystywany w przemyśle spożywczym, wodór używany jako chłodziwo.
- **Wodór będący produktem ubocznym (tzw. by-product)** - produkcja około 235 kt wodoru rocznie*. W Polsce jest generowany głównie w koksowniach w postaci tzw. gazu koksowniczego (CoG). Nie wlicza się w mianownik wzoru przemysłowego RFNBO.

Źródło: European Hydrogen Observatory, <https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/hydrogen-landscape/end-use/hydrogen-demand>

* Wartość wskazana dla wodoru będącego produktem ubocznym jest jedynie szacunkowym przybliżeniem na podstawie dostępnych danych, głównie składa się na nią wodór powstający w koksowniach przemysłowych

Wodór stanowiący podstawę wyliczenia celu przemysłowego RFNBO (wartość mianownika wzoru) – wariant bazowy

Wolumen wodoru użytego na potrzeby energetyczne i nieenergetyczne w przemyśle w 2030 r. według danych z 2022 r. (t)



Wariant bazowy zakłada realizację celu przemysłowego RFNBO tylko i wyłącznie przez sektory, które obecnie wykorzystują tzw. wodór szary, w tym scenariuszu nie uwzględnia się powstania zapotrzebowania na paliwa RFNBO w nowych sektorach ich zastosowania np. hutnictwo, produkcja cementu – zależne od kreacji polityki krajowej.

- | | | | | |
|--|--|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • 374 kt szarego wodoru używanego do produkcji amoniaku to równowartość = 44,9 PJ • Sektor nawozowy będzie w znaczącym stopniu odpowiadał za bazę do wyliczenia celu RFNBO • Obecnie wodór ten jest produkowany głównie w reakcji reformingu parowego metanu | <ul style="list-style-type: none"> • 57 kt szarego wodoru używanego do przerobu ropy na potrzeby inne niż paliwa transportowe (np. produkcja bazowych chemikaliów) = 6,85 PJ • Szacunki CE Delft wskazują, że około 15% wodoru używanego w rafineriach w UE służy do produkcji surowców chemicznych, a nie paliw transportowych* | <ul style="list-style-type: none"> • 14 kt szarego wodoru używanego do produkcji chemikaliów innych niż amoniak (m.in. toulen, cykloheksan, chlorek winylu)** = 1,66 PJ • Polska nie posiada obecnie fabryk metanolu i wodór do jego produkcji nie jest wliczony do mianownika wzoru w ramach tej analizy | <ul style="list-style-type: none"> • 6 kt stanowią pozostałe sektory takie jak sektor gazów technicznych, sektor spożywczy, huty szkła, wodór jako chłodziwo = 0,72 PJ • Obszar ten jest stosunkowo najmniej rozpoznany i wymagane są szczegółowe dane rynkowe dla zmniejszenia marginesu błędu | <ul style="list-style-type: none"> • 451 kt zostanie przypisane do mianownika wzoru RFNBO jako baza do wyliczenia celu • Przeliczenie energetyczne wskazuje, że 451 kt wodoru to odpowiednik 54,15 PJ (petadżuli) energii przyjmując wartość energetyczną wodoru na poziomie 120 MJ/kg |
|--|--|---|---|--|

* 50% hydrogen for Dutch industry - Analysis of consequences draft RED III, CE Delft, 2022, niemniej dane te powinny zostać sprawdzone i potwierdzone dla rynku polskiego

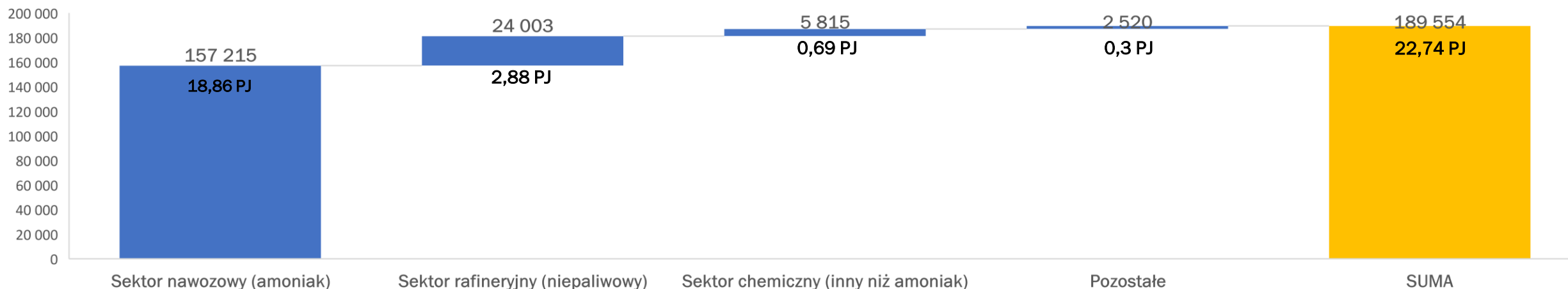
** 2022 Hydrogen Supply Capacity and Demand, FCHO, 2022

*** Nie dokonano prognozy zużycia wodoru ogółem w sektorze przemysłu do 2030 r., założono wielkość zużycia w 2030 r. na poziomie z 2022 r. Niemniej należy uwzględnić około 10-20% margines błędu (w górę/w dół)

**** Wartość energetyczna wodoru = 120 MJ/kg (LHV)

Wodór stanowiący kontrybucję do celu przemysłowego RFNBO (wartość licznika wzoru) – wariant bazowy

Wolumen wodoru RFNBO użytego na potrzeby energetyczne i nieenergetyczne w przemyśle w 2030 r. według danych z 2022 r. (t)



- Do licznika wzoru wstawiono wartość 18,86 PJ wodoru co odpowiada 157,2 kt wodoru RFNBO
- Wymagane jest około 180kg wodoru dla produkcji 1t amoniaku
- 157,2 kt wodoru RFNBO jest niezbędne do produkcji około 886 kt amoniaku RFNBO

- Do licznika wzoru wstawiono wartość 2,88 PJ wodoru RFNBO co odpowiada około 24 kt wodoru RFNBO
- 24 kt wodoru RFNBO byłoby niezbędne dla wymaganej dekarbonizacji procesów przerobu ropy naftowej (na cele inne niż produkcja paliw konwencjonalnych)*

- Do licznika wzoru wstawiono wartość 0,69 PJ wodoru RFNBO co odpowiada około 5,8 kt wodoru RFNBO
- 5,8 kt wodoru RFNBO byłoby niezbędne dla wymaganej dekarbonizacji procesów chemicznych (poza amoniakiem)
- Nie uwzględniano produkcji innych rodzajów RFNBO np. e-metanolu

- Do licznika wzoru wstawiono wartość 0,3 PJ wodoru RFNBO co odpowiada około 2,5 kt wodoru RFNBO
- 2,5 kt wodoru RFNBO byłoby niezbędne dla wymaganej dekarbonizacji procesów pozostałych
- Sektor ten jest najtrudniejszy w prognozie ze względu na brak szczegółowych danych

- Przeliczenie energetyczne wskazuje, że 22,74 PJ (petadżule) RFNBO zapewni realizację 42% celu przemysłowego w 2030 r.
- 189 kt wodoru RFNBO będzie wymagane dla odpowiednich procesów przemysłowych dla realizacji celu przemysłowego RFNBO z RED III

* 50% hydrogen for Dutch industry - Analysis of consequences draft RED III, CE Delft, 2022, niemniej dane te powinny zostać sprawdzone i potwierdzone dla rynku polskiego

Realizacja celu przemysłowego RFNBO w 2030 r. - wariant **bazowy**

Na poniższym wykresie przedstawiono przeliczenie w zakresie realizacji celu przemysłowego RFNBO w 2030 r. zgodnie z dyrektywą RED III. Szacuje się, że dla realizacji celu w **wariancie bazowym** wymagana będzie produkcji około 189 kt wodoru RFNBO ze źródeł odnawialnych innych niż biomasa.

Teoretyczna wymagana produkcja 2030 r. = 189 tysięcy ton wodoru RFNBO (tzw. zielonego wodoru)

22,74 PJ RFNBO

(Licznik)

Wartość energetyczna RFNBO użytego w przemyśle na cele energetyczne i nieenergetyczne



X 100% =

42%

% udział RFNBO w przemyśle

54,15 PJ wodoru

(Mianownik)

Wartość energetyczna wodoru użytego w przemyśle na potrzeby energetyczne i nieenergetyczne wyrażona w MJ

- Za około 83% realizacji celu przemysłowego RFNBO odpowiada wodór RFNBO użyty do produkcji amoniaku RFNBO (tzw. zielonego amoniaku) = **157 kt H₂**.
- Za około 12% realizacji celu przemysłowego RFNBO odpowiada wodór RFNBO użyty w pozostałych sektorach (m.in. Podczas przerobu ropy naftowej na cele inne niż transportowe, w sektorze chemicznym innym niż amoniak oraz w sektorach pozostałych) = **24 kt H₂**.
- Sumarycznie, zakłada się, że realizacja wariantu bazowego wygeneruje popyt na **około 189 kt H₂ RFNBO** do bezpośredniego zastosowania jako surowiec docelowy lub jako pośredni do produkcji amoniaku.

Ekspansja wykorzystania RFNBO w nowych sektorach przemysłowych oraz w energetyce zawodowej

Dlaczego zastosowanie RFNBO będzie coraz częściej spotykane w nowych zastosowaniach/sektorach przemysłu i energetyce?

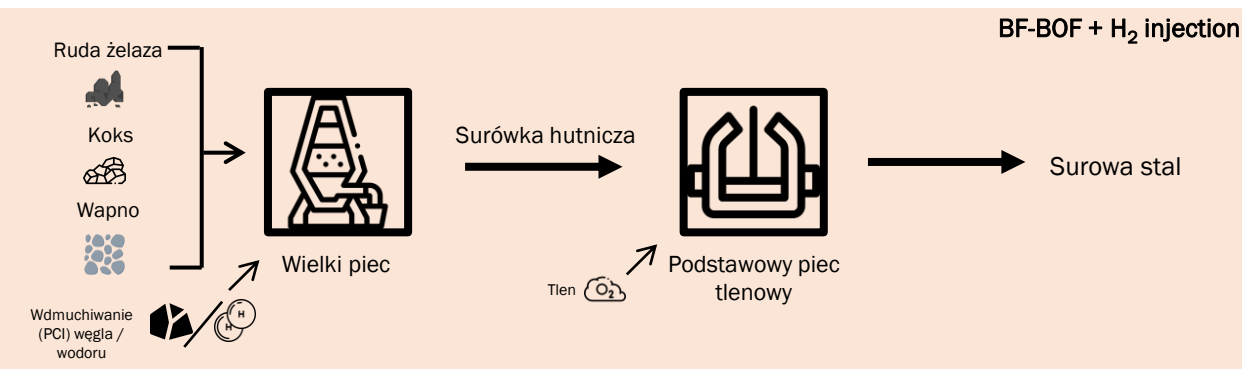
Pomimo zasadniczych wyzwań wynikających ze stosowania RFNBO w przemyśle wynikających z m.in.: mniejszej efektywności energetycznej względem bezpośredniej elektryfikacji czy zastosowania bezpośrednio węglowodorów, stosunkowo wyższych kosztów wytworzenia RFNBO oraz potrzeby poczynienia nakładów inwestycyjnych na dostosowanie infrastruktury transportowej i odbiorczej - prognozowany jest, zarówno przez organizacje międzynarodowe (IEA, IRENA) i organy unijne, znaczący wzrost wykorzystania RFNBO nie tylko w sektorach obecnie wykorzystujących wodór oraz jego pochodne, lecz także w nowych obszarach zastosowania przemysłowego.

Sektory: nawozowy, rafineryjny, chemiczny	Sektory: hutnictwo metali żelaznych i nieżelaznych	Sektory wykorzystujące wysokotemperaturowe ciepło przemysłowe	Sektory: ciepłownictwa komunalnego i nisko- i średniotemperaturowego ciepła przemysłowego
<p>Obecne zastosowanie wodoru wynika prawie całkowicie ze stosowania go jako surowca w procesach chemicznych.</p> <p>Regulacje stymulujące wzrost udziału RFNBO:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ RED III: Wiążący cel udziału RFNBO w wodorce wykorzystywanym w sektorach przemysłowych oraz ogólny cel udziału RFNBO w transporcie. ▪ REFeul Aviation: Wiążący cel udziału RFNBO w transporcie lotniczym. ▪ FuelEU Maritime: Warunkowy cel udziału RFNBO w transporcie morskim. ▪ AFIR: Obowiązek rozwoju infrastruktury tankowania wodoru. 	<p>Zastosowanie wodoru jako surowca do bezpośredniej redukcji (DRI) oraz przy wtrysku pyłu węglowego (PCI), powodując redukcję emisji.</p> <p>Regulacje stymulujące wzrost udziału RFNBO:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ RED III: Stosowanie wodoru w hutnictwie będzie powodował potrzebę wykorzystania odpowiedniego udziału RFNBO, co zwiększa atrakcyjność przejścia na RFNBO. ▪ ETS: Objęcie sektora żelaza i stali CBAM skutkować będzie ograniczeniem podaży uprawnień do emisji co przyspieszy procesy dekarbonizacyjne. 	<p>Ograniczone techniczne możliwości dekarbonizacji wysokotemperaturowego ciepła przemysłowego (cementownie, huty szkła) mogą rodzić potrzebę wykorzystania RFNBO.</p> <p>Regulacje stymulujące wzrost udziału RFNBO:</p> <p>RED III: Niewiążący cel zwiększania udziału OZE w przemyśle.</p> <p>ETS: Wykorzystanie emisyjnych metod pozyskania ciepła obciąża produkt kosztami zakupu uprawnień do emisji.</p> <p>EED: Wdrożenie definicji efektywnych systemów ciepłowniczych oraz określenie poziomu emisyjności wysokosprawnej kogeneracji.</p>	<p>Ze względu na tańsze alternatywy RFNBO nie będzie odgrywać znaczącej roli do 2030 r. w tych sektorach, ale nie można wykluczyć zastosowania wynikającego z lokalnych uwarunkowań.</p> <p>Regulacje stymulujące wzrost udziału RFNBO:</p> <p>RED III: Wdrożenie wiążącego celu wzrostu OZE dla ciepłownictwa i niewiążącego celu wzrostu OZE dla ciepłownictwa systemowego.</p> <p>ETS: Wzrost cen zakupu uprawnień oraz wdrożenie systemu uprawnień dla emisji w budownictwie (ETSII).</p> <p>EED: Wdrożenie definicji efektywnych systemów ciepłowniczych oraz określenie poziomu emisyjności wysokosprawnej kogeneracji.</p>

Sektor elektroenergetyki

Obok zastosowania przemysłowego należy zauważyć, że RFNBO posiada również potencjał do wykorzystania w elektroenergetyce jako paliwo współspalane z gazem ziemnym oraz magazyn energii zapewniający stabilizację sieci przy krótkookresowej nadpodaży energii ze źródeł niesterowalnych. Zakres wykorzystania jest jednak silnie uzależniony od możliwości wprowadzenia RFNBO do sieci gazowej oraz tempa rozwoju OZE przyłączonych do KSE.

Hutnictwo metali

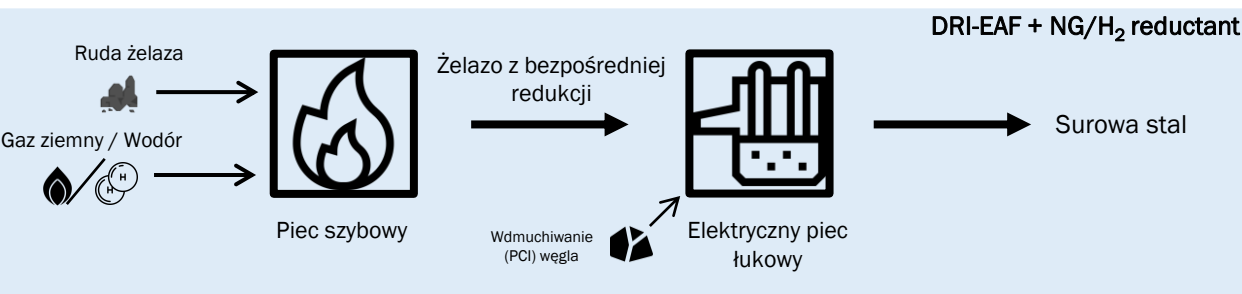


TRL ≥ 8
2025



Zapotrzebowanie na H₂
do 120 kgH₂/t stali

BF-BOF + H₂ injection: Wtrysk pyłu węglowego (PCI) przyczynia się do redukcji zapotrzebowania na koks oraz energię. Istnieje możliwość częściowego wykorzystania zielonego wodoru do zmniejszenia emisyjności procesu. Maksymalny poziom PCI wynosi około 270 kg węgla / tonę surowej stali, z czego maksymalnie może zostać wykorzystane do 120 kg zielonego wodoru.

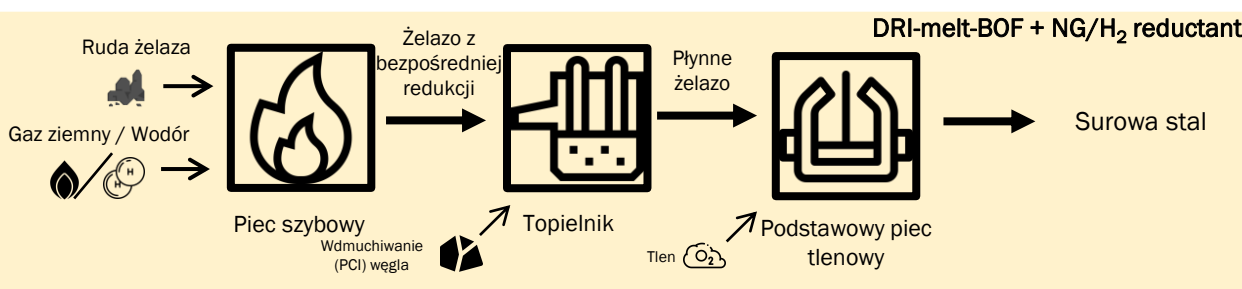


TRL ≥ 8
2026



Zapotrzebowanie na H₂
do 63 kgH₂/t stali

DRI-EAF + H₂ reductant: W procesie DRI-EAF zielony wodór jest reduktorem zamiast/obok gazu ziemnego. Zachodzi potrzeba dodatkowego podgrzania pieca szybowego oraz podawanego wodoru. Zużycie wodoru to ok. 63 kg/t surowej stali w przypadku wykorzystania wodoru jako reduktora na poziomie 100%.



TRL ≥ 8
2026



Zapotrzebowanie na H₂
do 63 kgH₂/t stali

DRI-melt-BOF + H₂ reductant: Połączenie wykorzystania elektrycznego pieca łukowego jako topielnika oraz podstawowego pieca tlenowego. Pozwala na wytworzenie stali z rudy żelaza o niższej jakości. Zwiększone zostaje zapotrzebowanie na energię elektryczną względem dwóch poprzednich metod.

- Sektor hutnictwa stali jest jednym z sektorów, w których obecnie wykorzystanie wodoru ma marginalny charakter (ok. 3% światowego zużycia), przy czym posiada znaczny potencjał dekarbonizacyjny dzięki wykorzystaniu wodoru o obniżonej emisyjności.
- Cechą charakterystyczną sektora hutnictwa stali jest możliwość wykorzystania wodoru jako surowca do redukcji rudy w procesach technologicznych.
- Wykorzystanie odnawialnego wodoru może znacznie zmniejszyć emisyjność procesu produkcji stali.
- Do procesu DRI-EAF potrzebna jest ruda żelaza o większej czystości niż BF-BOF. Obecnie tylko ok. 13% rudy żelaza ma jakość pozwalającą na wykorzystanie procesu DRI-EAF. Tym samym niezbędne jest wydobycie rud o wyższej jakości, bardziej zaawansowana obróbka wstępna rud niższej jakości lub rozwój technologii topnienia (DRI-melt-BOF). W przypadku wykorzystania w 100% wodoru niezbędne jest wdmuchiwanie węgla.
- Prognozowany poziom emisyjności wskazanych technologii w perspektywie 2050 r. wynosi: BF-BOF + H₂ injection - 1,47 tCO₂/t surowej stali, DRI-EAF + 50% H₂ - 0,69 tCO₂/t surowej stali, DRI-melt-EAF + 100% H₂ - 0,05 tCO₂/t surowej stali.

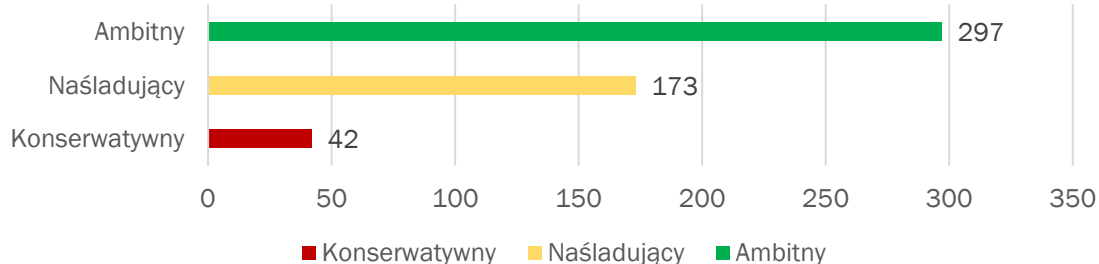
Źródło: American Iron and Steel Institute, 2023; Mission Possible Partnership, 2022; Air Liquide, 2022;

Kalkulacja wkładu sektora hutniczego do realizacji celu RFNBO w przemyśle

Państwo	Produkcja stali surowej w 2021 r. w mt	Udział procentowy w produkcji UE + EFTA
Niemcy	40,1	24,8%
Włochy	24,4	15,1%
Hiszpania	14,2	8,8%
Francja	13,9	8,6%
Polska	8,5	5,3%
Pozostałe	60,6	37,4%



Scenariusze zapotrzebowanie na wodór w 2030 r. w hutnictwie stali w Polsce (kt/rok)



Źródło: EUROFER 2022; Hydrogen Europe 2022; Hydrogen Europe & The Smarter Europe 2022; Mission Possible Partnership 2022; World Steel Association 2023;

- Ze względu na objęcie sektora produkcji żelaza i stali mechanizmem CBAM (ang. *carbon border adjustment mechanism*) od 2026 r. rozpocznie się stopniowe ograniczanie przyznawania bezpłatnych uprawnień do emisji w tym sektorze. W 2030 r. ich liczba będzie mniejsza o 48,5% w stosunku do sytuacji, gdyby CBAM nie obowiązywał. Spowoduje to potrzebę przyspieszenia dekarbonizacji procesów produkcyjnych dla uniknięcia nadmiernych obciążeń wynikających z kosztów emisji.
- Uzasadnione wydaje się założenie, że w pierwszej kolejności RFNBO będzie upowszechniać się w Polsce w sektorze metali żelaznych (huty stali), przy czym projekty rozwojowe mogą się pojawiać również w innych obszarach przerobu rudy np. hutnictwie miedzi.
- Uwzględniając potrzebę obniżenia emisyjności oraz wymóg zapewnienia odpowiedniego udziału RFNBO także w nowych sektorach przemysłowych wykorzystujących wodór należy zakładać, iż znaczną część wodoru wykorzystywanego w hutnictwie w 2030 r. i później stanowić będzie wodór spełniający wymogi RFNBO.
- W przypadku krajowego hutnictwa stali pozyskanie zielonego wodoru do dekarbonizacji może być znacznie utrudnione, ze względu na znaczne zapotrzebowanie na zdekarbonizowany wodór sektorów dotychczas go wykorzystujących tj. sektora rafineryjnego oraz chemicznego.

Podstawy prognostyczne przyjętych założeń w poszczególnych scenariuszach:

- **Ambitny** – Scenariusz przygotowany na bazie Hydrogen Europe & The Smarter Europe, *Steel From Solar Energy. A Techno-Economic Assessment of Green Steel Manufacturing*, 06/2022. Przekształcenie/zastąpienie instalacji w technologii BF-BOF procesem DRI-EAF i zużycie 51 kg wodoru na tonę stali.
- **Naśladujący** – Scenariusz przygotowany na bazie Hydrogen Europe, *Clean Hydrogen Monitor*, 2022. Zakłada, że krajowa produkcja stali będzie proporcjonalnie odzwierciedlać zaplanowane inwestycje w czysty wodór na terenie Unii Europejskiej oraz państw EFTA w celu zachowania konkurencyjności.
- **Konserwatywny** – Scenariusz przygotowany na bazie Mission Possible Partnership, *Making Net-Zero Steel Possible. An industry-backed, 1.5°C-aligned transition strategy*, 09/2022. Wykorzystano scenariusz bazowy niezakładający ambicji osiągnięcia neutralności klimatycznej. Udział poszczególnych zakładanych ścieżek produkcyjnych w technologiach produkcyjnych z wykorzystaniem wodoru w Europie został proporcjonalnie dopasowany do krajowej produkcji. Dla technologii BF-BOF założono konserwatywnie wykorzystanie 21 kg wodoru na tonę stali, natomiast dla technologii DRI-EAF wykorzystanie w 50% wodoru tj. 22 kg na tonę stali.

Ciepłownictwo przemysłowe, zawodowe i elektroenergetyka



Ciepłownictwo przemysłowe

Scenariusz bazowy: 10 tys. ton RFNBO

- Największy potencjał wykorzystania wodoru w ciepłownictwie przemysłowym występuje w sektorach obecnie wykorzystujących wodór np.: naftowym oraz chemicznym, a także dodatkowo w sektorach wymagających wysoko temperaturowego ciepła (≥ 400 °C) np. produkcja metali (np. huty stali), produkcja metali nieżelaznych (np. huty miedzi) czy w hutach szkła, zakładach ceramicznych i cementowniach.
- Pomimo mniejszej efektywności energetycznej wykorzystania wodoru (o ok. 35%) i technicznej możliwości elektryfikacji wytwarzanie wysokotemperaturowego ciepła, ze względu na nieproporcjonalnie wysokie koszty przeprojektowania instalacji ciepłowniczych i całych ciągów produkcyjnych, opłacalne może okazać się wykorzystanie wodoru.
- Poza wyzwaniem regulacyjnymi wskazanymi dla ciepłownictwa zawodowego istotnym bodźcem dekarbonizacyjnym będą wymogi wynikające z systemu ETS np. ograniczanie podaży bezpłatnych EUA dla instalacji objętych CBAM.
- Scenariusz bazowy został oparty o założenie wykorzystania ~5% wytworzonego wodoru w przemyśle bezpośrednio w ciepłownictwie wysokotemperaturowym, np. w projektach demonstracyjnych i w sytuacji krótkookresowych nadpodaży wodoru związanych z sytuacją występowania nadmiarowych mocy w systemie.

Uwzględniono w analizie liczbowej

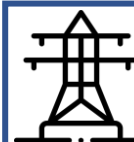


Ciepłownictwo zawodowe

Scenariusz bazowy: 10 tys. ton RFNBO

- Dla ciepłownictwa zawodowego dostarczającego ciepło systemowe, a także ciepłownictwa zawodowego niski i średniotemperaturowe, nie przewiduje się do 2030 r., aby wodór odgrywał w nich większą rolę ze względu na możliwość wykorzystania alternatywnych tańszych rozwiązań oraz występowanie bardziej priorytetowego popytu w innych sektorach.
- W okresie po 2035 r., ze względu na zaostrzające się wymogi dotyczące efektywnych systemów ciepłowniczych przewidziane w dyrektywie w sprawie efektywności energetycznej (EEDII) oraz utrudnione pozyskiwanie finansowania dla instalacji niespełniających wymogów emisyjności ustanowionych w ramach Taksonomii, mogą spowodować pojawienie się lokalnego zastosowania wodoru lub jego derywatów w ciepłownictwie zawodowym.
- Wykorzystanie wodoru w ciepłownictwie zawodowym będzie silnie zależne od lokalnych uwarunkowań, w szczególności od wkomponowania ciepłowni w regionalne systemy energetyczne i w ich specyfikę np. wynikającą z funkcjonowania doliny wodorowej, a także dostępności odnawialnych źródeł energii oraz stanu technicznego infrastruktury energetycznej.
- Scenariusz bazowy został oparty o założenia Polskiej Strategii Wodorowej w zakresie wykorzystania wodoru w ciepłownictwie.

Nie uwzględniono w analizie liczbowej



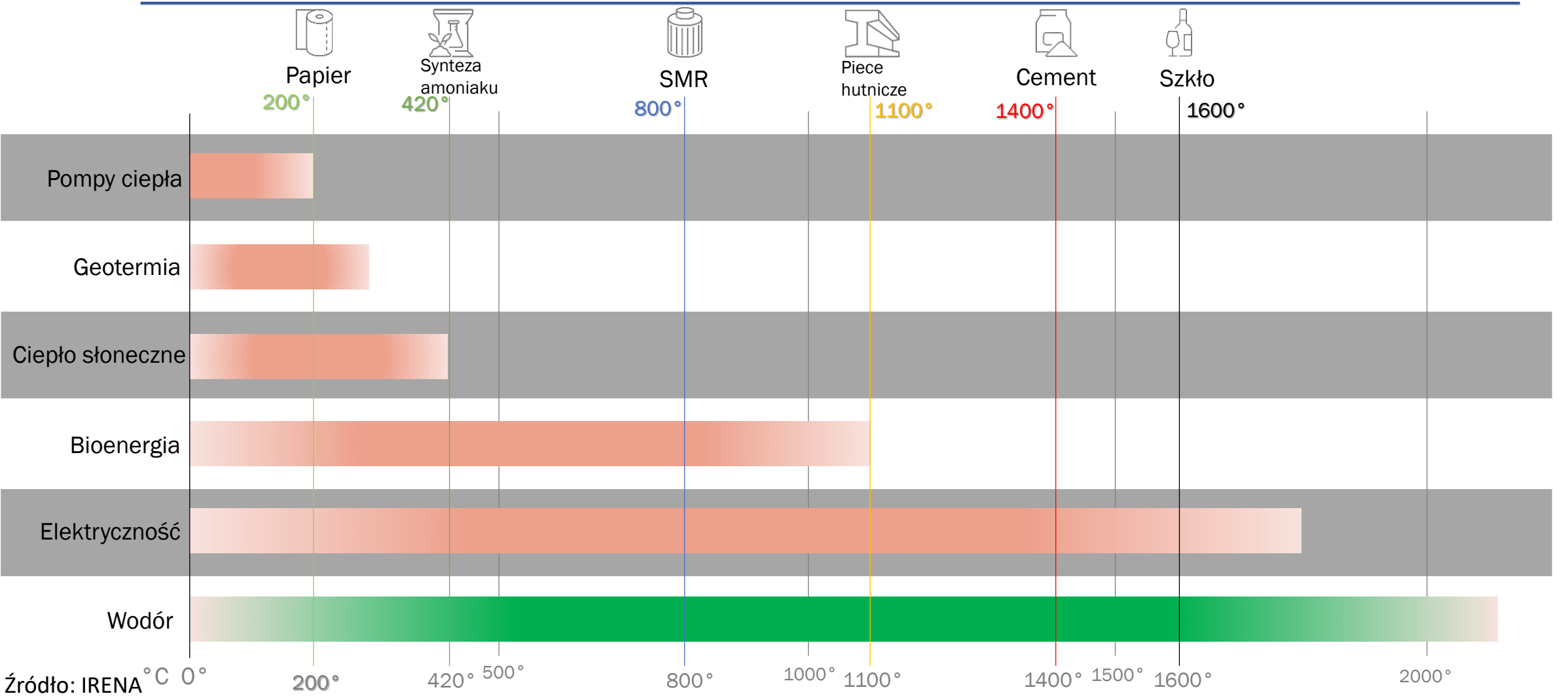
Elektroenergetyka

Scenariusz bazowy: 25 tys. ton RFNBO

- W odniesieniu do elektroenergetyki zawodowej wodór może występować w dwojakiej roli: jako domieszki do gazu zimnego w turbinach gazowych oraz w roli magazynu energii.
- Ze względu na wyższą efektywność energetyczną, gotowość infrastruktury energetycznej oraz brak konkurencyjności kosztowej do 2030 r. wodór nie będzie pełnił żadnej istotnej roli w bezpośrednim spalaniu gazów w celu wytwarzania energii elektrycznej (w tym w kogeneracji). Po 2035 r., ze względu na wymogi Taksonomii i obowiązek projektowania nowych jednostek dostosowanych do wykorzystania odnawialnych i niskoemisyjnych paliw gazowych rola wodoru może się stopniowo zwiększać.
- Rola wodoru jako magazynu energii, jako pośredniego etapu pomiędzy konwersją, a następnie rekonwersją do energii elektrycznej, będzie rosła wraz ze zwiększaniem się w systemie liczby niesterowalnych źródeł wytwórczych. Takie lokalne magazynowanie energii może służyć do realizacji usług elastyczności i zmniejszać potrzebę wdrażania redysponowania źródeł wytwórczych.
- Scenariusz bazowy zakłada wykorzystanie do produkcji wodoru nadmiarowej energii elektrycznej (założenie: 1,5 TWh) powstającej w okresie występowania nadwyżek w systemie elektroenergetycznym.

Nie uwzględniono w analizie liczbowej

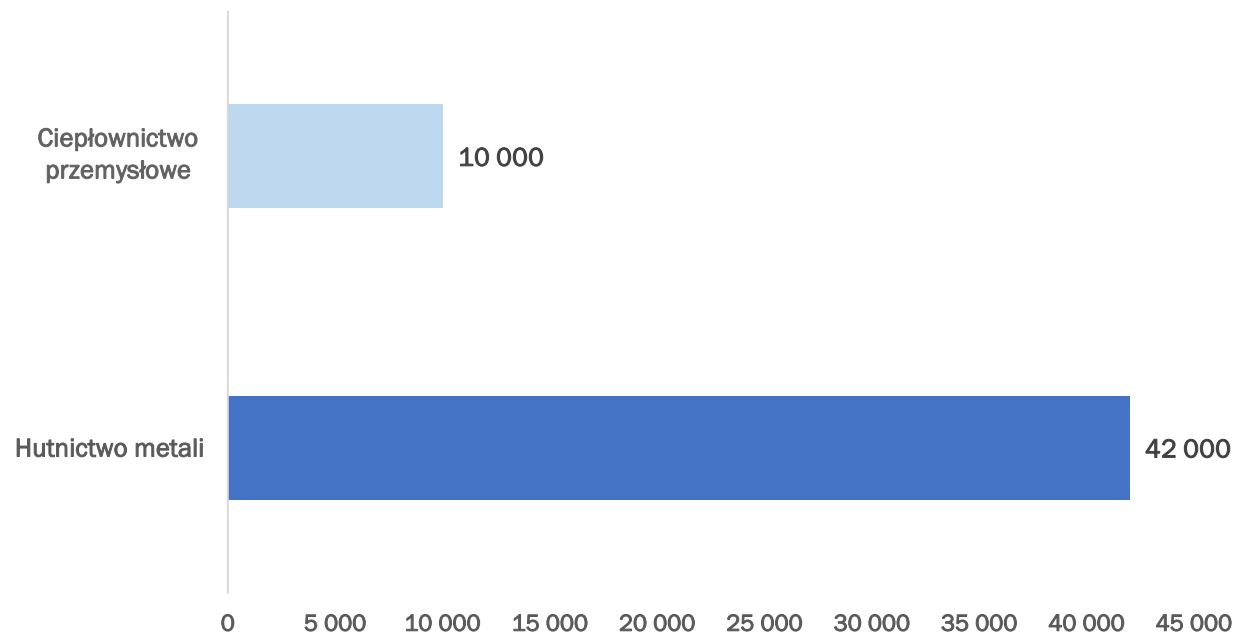
Temperatury robocze dla wybranych technologii ciepła odnawialnego i wymagania temperaturowe wybranych gałęzi przemysłu



Źródło: IRENA

Szacunkowe wolumeny zużycia RFNBO w nowych sektorach

Szacunkowe wolumeny zużycia wodoru RFNBO w nowych sektorach w 2030 r. (t)



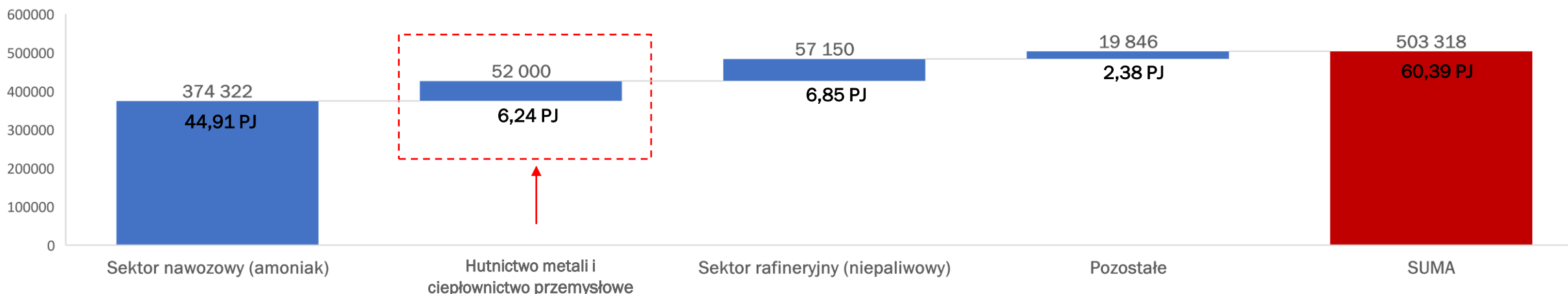
Łącznie: około 52 kt RFNBO H₂

Komentarz

- Zgodnie z przedstawioną analizą szczegółową dla sektora hutnictwa metali założono, że zużycie RFNBO w tym sektorze w 2030 r. wyniesie maksymalnie 42 kt (wariant bazowy).
- Uznaje się, że mimo dużych ambicji wykorzystania RFNBO w sektorze hutniczym w UE, w Polsce sektor ten nie będzie tak szybko się dekarbonizować i zastosowanie wodoru pozostanie na poziomie niższym niż średnia.
- Scenariusze naśladowujący i ambitny dla wykorzystania RFNBO w sektorze hutniczym należy traktować jako bardzo ambitne warianty dekarbonizacji skorelowane ze stabilnym otoczeniem regulacyjnym oraz dużym poziomem wsparcia publicznego.
- Jednocześnie założono, że do 2030 r. w Polsce może wystąpić zużycie RFNBO na potrzeby wysokotemperaturowych procesów cieplnych (ciepłownictwo przemysłowe).
- Wartości 10 kt zastosowania RFNBO w sektorze ciepłownictwa przemysłowego w 2030 r. jest jedynie eksperckim przybliżeniem bazującym na wybranych materiałach źródłowych. Zastosowanie wodoru RFNBO w sektorze ciepła przemysłowego również musiałoby być skorelowane z odpowiednią kreacją polityki finansowo-regulacyjnej państwa.
- Mogą wystąpić także inne, nowe sektory zastosowania RFNBO w 2030 r. lecz nie uwzględniono ich w analizie liczbowej np. elektroenergetyka, ciepłownictwo zawodowe.

Kalkulacja celu RFNBO z uwzględnieniem nowych sektorów (wartość mianownika wzoru) – wariant **rozszerzony**

Wolumen wodoru użytego na potrzeby energetyczne i nieenergetyczne w przemyśle w 2030 r. według danych z 2022 r. (t)



- 374 kt szarego wodoru używanego do produkcji amoniaku = 44,91 PJ
- Sektor nawozowy będzie w znaczącym stopniu odpowiadał za bazę do wyliczenia celu RFNBO
- Obecnie wodór ten jest produkowany głównie w reakcji reformingu parowego metanu

- 52 kt wodoru RFNBO nowo wyprodukowanego w tych sektorach na potrzeby dekarbonizacji procesów technologicznych = 6,24 PJ
- Wartość 52 kt wodoru RFNBO i 6,24 PJ zostanie bezpośrednio wpisana także w licznik celu, przez co wpłynie na całą kalkulację celu przemysłowego

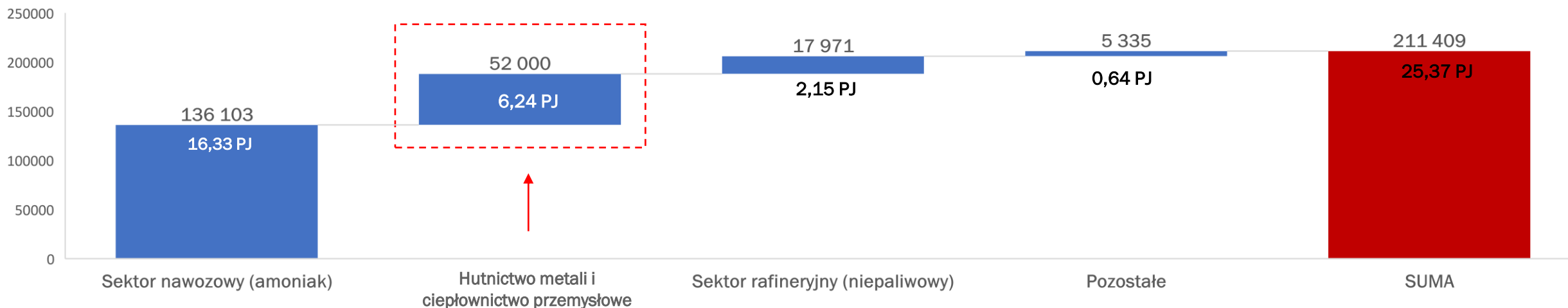
- 57,1 kt szarego wodoru używanego do przerobu ropy na potrzeby inne niż paliwa transportowe (np. produkcja bazowych chemikaliów) = 6,85 PJ
- Szacunki CE Delft wskazują, że około 15% wodoru używanego w rafineriach w UE służy do produkcji surowców chemicznych, a nie paliw transportowych*

- 19,8 kt stanowią pozostałe sektory takie jak sektor gazów technicznych, sektor spożywczy, wodór jako chłodziwo, chemia poza amoniakiem = 2,38 PJ
- Obszar ten jest stosunkowo najmniej rozpoznany i wymagane są szczegółowe dane rynkowe dla zmniejszenia marginesu błędów

- 503 kt zostanie przypisane do mianownika wzoru RFNBO jako baza do wyliczenia celu
- **Przeliczenie energetyczne wskazuje, że około 503 kt wodoru to odpowiednik 60,39 PJ (petadżuli) energii przyjmując wartość energetyczną wodoru na poziomie 120 MJ/kg**

Kalkulacja celu RFNBO z uwzględnieniem nowych sektorów (wartość licznika wzoru) – wariant **rozszerzony**

Wolumen wodoru RFNBO użytego na potrzeby energetyczne i nieenergetyczne w przemyśle w 2030 r. według danych z 2022 r. (t)



- W wariantcie rozszerzonym sektor nawozowy generuje 136 kt popytu wodoru RFNBO używany do produkcji amoniaku = 16,33 PJ
- Wartość ta jest o 21,1 kt mniejsza niż w wariantcie bazowym z racji na obecność nowych sektorów takich jak hutnictwo i ciepło przemysłowe

- W wariantcie rozszerzonym sektor hutnictwa metali i ciepła przemysłowego generuje 52 kt popytu wodoru RFNBO używany do procesów produkcji = 6,24 PJ
- Są to dwa nowe sektory zastosowania wodoru, wpływające na wolumeny RFNBO wymagane w innych sektorach przemysłu dla realizacji celu 42%

- W wariantcie rozszerzonym sektor rafineryjny (pozapaliwowy) generuje 18 kt popytu wodoru RFNBO używany do procesów oczyszczania ropy = 2,15 PJ
- Wartość ta jest o 6 kt mniejsza niż w wariantcie bazowym z racji na obecność nowych sektorów takich jak hutnictwo i ciepłownictwo przemysłowe

- W wariantcie rozszerzonym sektory pozostałe (chemia inna niż amoniak, inne sektory) generują 5,33 kt popytu wodoru RFNBO
- Wartość ta jest o 3 kt mniejsza niż w wariantcie bazowym z racji na obecność nowych sektorów takich jak hutnictwo i ciepłownictwo przemysłowe

- **Przeliczenie energetyczne wskazuje, że 25,37 PJ (petadżule) RFNBO zapewni realizację 42% celu przemysłowego w 2030 r.**
- 211 kt wodoru RFNBO będzie wymagane dla odpowiednich procesów przemysłowych dla realizacji celu przemysłowego RFNBO z RED III

Realizacja celu przemysłowego RFNBO w 2030 r. - wariant **rozszerzony**

Na poniższym wykresie przedstawiono przeliczenie w zakresie realizacji celu przemysłowego RFNBO w 2030 r. zgodnie z dyrektywą RED III. Szacuje się, że dla realizacji celu w **wariantcie rozszerzonym** wymagana będzie produkcji około 211 kt wodoru RFNBO ze źródeł odnawialnych innych niż biomasa.

Teoretyczna wymagana produkcja 2030 r. = 211 tysiące ton wodoru RFNBO (tzw. zielonego wodoru)

25,37 PJ RFNBO

(Licznik)

Wartość energetyczna RFNBO użytego w przemyśle na cele energetyczne i nieenergetyczne

60,39 PJ wodoru

(Mianownik)

Wartość energetyczna wodoru użytego w przemyśle na potrzeby energetyczne i nieenergetyczne wyrażona w MJ

X 100% =

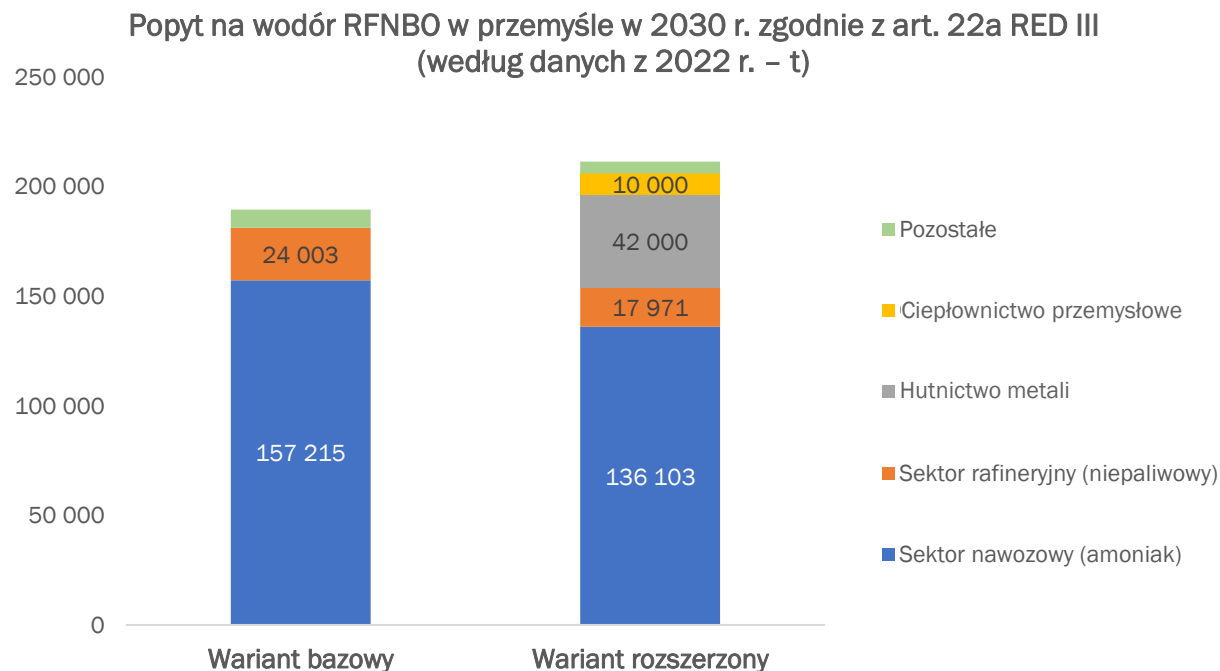
42%

% udział RFNBO w przemyśle



- Za około 65% realizacji celu przemysłowego RFNBO odpowiada wodór RFNBO użyty do produkcji amoniaku RFNBO (tzw. zielonego amoniaku) = **136 kt H₂**.
- Za około 19% realizacji celu przemysłowego RFNBO odpowiada wodór RFNBO użyty w sektorze hutnictwa i ciepła przemysłowego (m.in. głównie w procesach wysokotemperaturowych – stal, miedź, klinkier) = **52 kt H₂**.
- Sumarycznie, zakłada się, że realizacja wariantu rozszerzonego wygeneruje popyt na **około 211 kt H₂ RFNBO** do bezpośredniego zastosowania jako surowiec docelowy lub jako pośredni do produkcji amoniaku.
- **Wariant rozszerzony** zakłada realizację celu przemysłowego RFNBO zarówno przez sektory, które obecnie wykorzystują tzw. wodór szary jak i uwzględnia powstanie zapotrzebowania na paliwa RFNBO w nowych sektorach np. hutnictwo, cement – zależne od kreacji polityki krajowej i otoczenia regulacyjno-finansowego.

Podsumowanie potencjalnych wariantów realizacji celu przemysłowego RFNBO w dwóch wariantach – bazowy / rozszerzony



Popyt na wodór RFNBO w przemyśle w 2030 r. zgodnie z art. 22a RED III (według danych z 2022 r. – kt)

Sektor przemysłu	Wariant bazowy	Wariant rozszerzony
Sektor nawozowy (amoniak)	157	136
Sektor rafineryjny (nie paliwowy)	24	18
Hutnictwo metali	0	42
Ciepłownictwo przemysłowe	0	10
Pozostałe	8	5
SUMA	189	211

Komentarz

- Według danych z 2022 r., popyt na wodór RFNBO w 2030 r. dla realizacji celu przemysłowego wyniesie 189 - 211 kt (w zależności od wariantu).
- Znacząca część realizacji celu będzie stanowić sektor nawozowy i użycie wodoru RFNBO do produkcji amoniaku (136 – 157 kt w zależności od wariantu).
- W przypadku kreacji odpowiedniej polityki krajowej istotną kontrybucję do celu przemysłowego RFNBO mogą zapewnić także sektor hutnictwa metali oraz ciepła przemysłowego = około 52 kt RFNBO.
- Sektor rafineryjny, sektor chemiczny poza amoniakiem oraz pozostałe sektory użycia wodoru pozostaną ze znikomym wpływem na realizację celu przemysłowego.

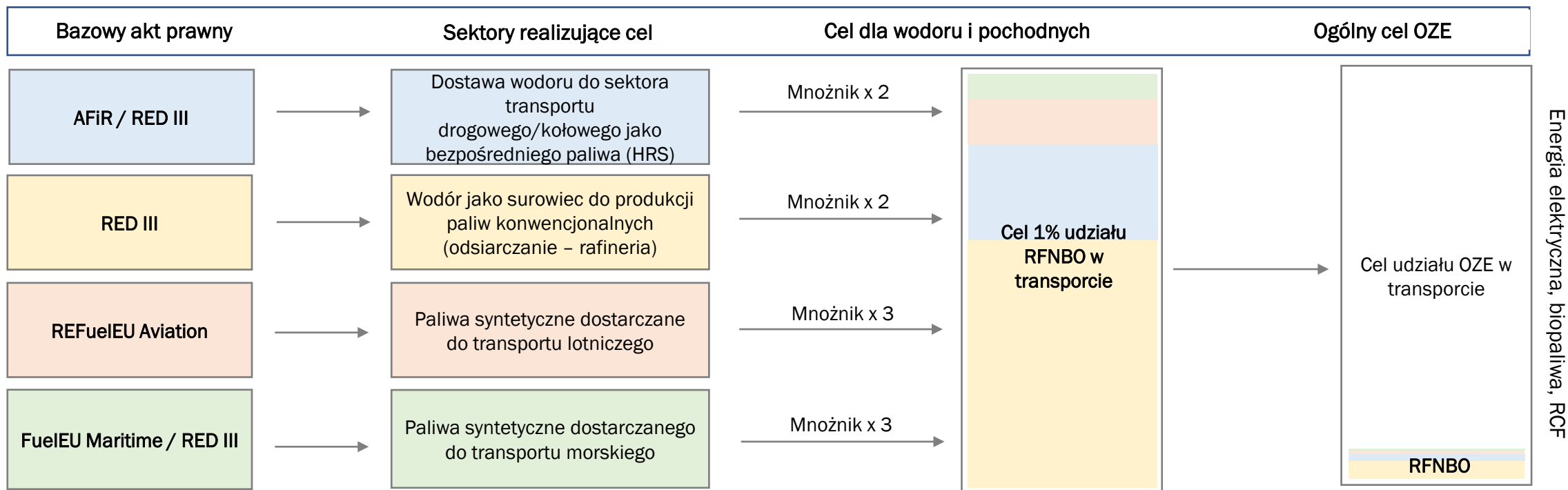
3

Transport



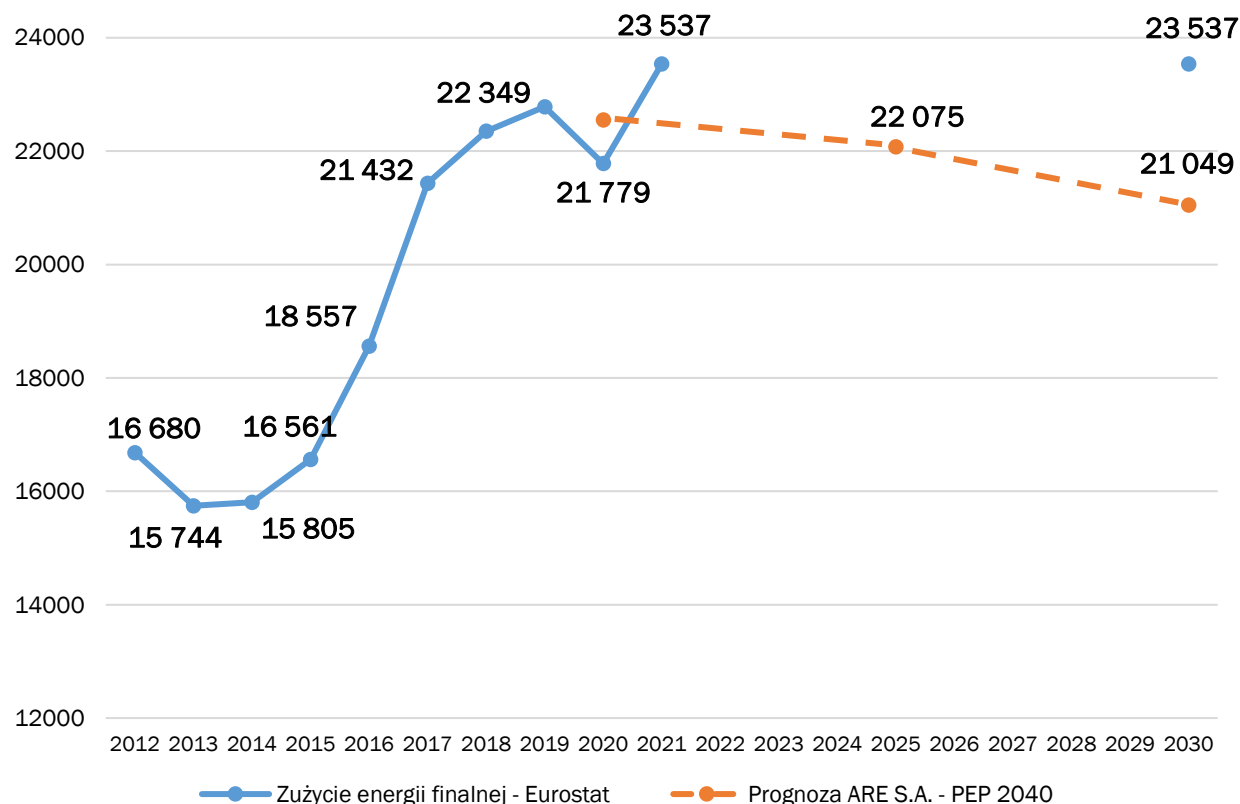
Perspektywa realizacji celu transportowego RFNBO – akty prawne, sektory, mnożniki

Można założyć, że **ogólny cel transportowy RFNBO z RED III (art. 25)** będzie zasadniczo realizowany **na cztery sposoby**: 1) dostawy bezpośrednie wodoru jako paliwa napędowego, 2) użycie wodoru jako surowca do produkcji paliw konwencjonalnych oraz dostarczanie paliw syntetycznych w 3) transporcie morskim i 4) lotniczym. Przyjmuje się również, że wybór sektorów realizujących cel będzie zasadniczo determinowany wskazanymi aktami prawnymi. Przy rozliczaniu celu transportowego RFNBO państwa członkowskie **będą mogły skorzystać z tzw. mnożników**, które będą **dwu lub trzykrotnie** zwiększać wartość energetyczną paliw dostarczaną do transportu jako forma zachęty dla rozwoju rynku wodoru i paliw pochodnych w poniższych sektorach.



* Struktura kolorystyczna przedstawia prawdopodobny rozkład realizacji poszczególnych celów regulacyjnych z RED III

Zużycie energii finalnej w sektorze transportu w Polsce [ktoe] – podstawa do kwantyfikacji celów dyrektywy oraz rozporządzeń



Komentarz

- Zużycie energii w transporcie oraz udział transportu w całkowitym końcowym zużyciu energii finalnej w kraju wyraźnie rosły w ostatniej dekadzie.
- Wg. danych Eurostat w 2021 roku finalne zużycie energii w transporcie wyniosło **23 537 ktoe**¹.
- Prognoza stanowiąca załącznik do PEP 2040 zakłada spadek zużycia energii finalnej w 2030r. do **21 049 ktoe**².
- Jednym z celów długoterminowych jest wzrost efektywności energetycznej, która ma skutkować zmniejszeniem zużycia energii, w tym w sektorze transportu.
- W prognozie przedstawionej w załączniku nr.2 do PEP 2040 założono ograniczenie zużycia energii finalnej w transporcie poprzez popularyzację elektromobilności, szczególnie w transporcie pasażerskim.
- W prognozie przyjęto 2 warianty zużycia energii końcowej w 2030 r.:
 - Wariant 1** (wyższy poziom zużycia energii) – zużycie energii na szczytowym poziomie z 2021r.;
 - Wariant 2** (niższy poziom zużycia energii) – zużycie energii na prognozowanym poziomie w załączniku nr. 2 do PEP 2040

1. Eurostat, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/TEN00124_custom_5800255/default/table?lang=en

2. Załącznik nr. 2 do PEP 2040, Wnioski z analiz prognostycznych dla sektora energetycznego, <https://www.gov.pl/web/klimat/polityka-energetyczna-polski-do-2040-r-przyjeta-przez-rade-ministrow>

Prognozowane zapotrzebowanie na RFNBO w sektorze transportu w 2030 r.

Według dokonanych obliczeń - 1% udziału paliw odnawialnych pochodzenia niebiologicznego (RFNBO) odpowiada wartości 9,85 PJ RFNBO dla 2021 r. oraz 8,83 PJ RFNBO dla 2030 r. Do dalszych analiz przyjęto średnią dla tych dwóch wartości, czyli 9,34 PJ RFNBO. Należy zauważyć, że wartość ta nie składa się jedynie z wodoru RFNBO, ale także z paliw syntetycznych RFNBO, szczególnie w przypadku sektora lotnictwa i morskiego. Do celów prognostycznych przyjęto wielkość zużycia energii finalnej w transporcie w 2030 r. na poziomie średniej z obu wariantów – 9,34 PJ.

Wariant	Wariant 1 - zużycie energii na poziomie z 2021r. ¹			Wariant 2 - zużycie energii w 2030r. wg prognozy z załącznika do PEP 2040 ²			
	Jednostka	toe	TWh	PJ	toe	TWh	PJ
Zużycie energii finalnej w transporcie		23 537 000 toe	273.74 TWh	985.45 PJ	21 094 000 toe	245,30 TWh	883,20 PJ
29% - co najmniej 29% udziału energii OZE w końcowym zużyciu w transporcie		6 825 730 toe	79.38 TWh	285.78 PJ	6 117 260 toe	71,14 TWh	256,12 PJ
5,5% - min. udział biopaliw produkowanych z surowców nieżywnościowych oraz paliw pochodzenia niebiologicznego (RFNBO)		1 294 535 toe	15.06 TWh	54.20 PJ	1 160 170 toe	13,49 TWh	48,58 PJ
1% - min. udział paliw odnawialnych pochodzenia niebiologicznego (RFNBO)		235 370 toe	2.74 TWh	9.85 PJ	210 940 toe	2,45 TWh	8,83 PJ
Średnie zużycie energii finalnej w transporcie (wariant 1 – 2)				9,34 PJ			

1. Eurostat, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/TEN00124_custom_5800255/default/table?lang=en

2. Załącznik nr. 2 do PEP 2040, Wnioski z analiz prognostycznych dla sektora energetycznego, <https://www.gov.pl/web/klimat/polityka-energetyczna-polski-do-2040-r-przyjeta-przez-rade-ministrow>

3. Założenie: 1 kg H₂ - 33,6 kWh ; 1 toe = 11 630 kWh ;

Wymogi AFiR, a realizacja celu transportowego RFNBO

Na potrzeby niniejszej analizy założono, że minimalny popyt na wodór RFNBO dostarczany bezpośrednio do transportu kołowego/drogowego z wykorzystaniem stacji tankowania wodoru (HRS) będzie wynikał z **wymogów rozporządzenia AFiR** przyjętego w 3 kwartale 2023 r. przez organy UE. We wrześniu 2023 r. MKiŚ zaproponowało wstępną lokalizację oraz liczbę HRS, które powinny zostać wybudowane w Polsce zgodnie z AFiR. Składają się na tą liczbę zarówno stacje przy drogach sieci TEN-T jak i węzłach miejskich. Na podstawie art. 6 AFiR przyjęto, że nowo budowane HRS wzdłuż TEN-T będą miały **techniczną wydajność tankowania 1 tona dziennie** – analiza zakłada wykorzystanie **całej wydajności (1t) lub połowy wydajności (0,5t)** stacji w 2030 r. W wariantie rozszerzonym założono dodatkową budowę 16 stacji tankowania wodoru ponad wymogi AFiR, po jednym w każdym województwie.

Propozycja MKiŚ w zakresie rozmieszczenia stacji tankowania wodoru według AFiR



■ Stacje tankowania wodoru

34 lokalizacje

Wybór i weryfikacja lokalizacji stacji tankowania wodoru

Wybór:

- Punkt startowy – węzły miejskie – obecnie 8, po rewizji rozporządzenia TEN-T - 30
- Warunek podstawowy – maksymalnie duża odległość pomiędzy stacjami tankowania wodoru – 200 km
- Uwzględnienie planowanych lub realizowanych inwestycji współfinansowanych ze środków NFOŚiGW oraz środków europejskich w ramach CEF i IPCEI

Źródła: MKiŚ, rozporządzenie AFiR

Wariant bazowy

Założenia:

- 34 stacje tankowania wodoru zgodnie z AFiR
- Brak dodatkowych stacji ponad cel AFiR
- Wykorzystanie połowy wydajności każdej stacji (0,5t na dobę)
- Praca stacji przez 360 dni w roku (5 dni serwisowych)

Wolumen RFNBO:

6 120 t H₂

Wariant rozszerzony

Założenia:

- 34 stacje tankowania wodoru zgodnie z AFiR
- Dodatkowe 16 stacji tankowania ponad cel AFiR, po 1 stacji w każdym województwie
- Wykorzystanie pełnej wydajności każdej stacji (1t na dobę)
- Praca stacji przez 360 dni w roku (5 dni serwisowych)

Wolumen RFNBO:

18 000 t H₂

Scenariusze rozwoju wodorowego transportu kołowego oraz pozostałych pojazdów w Polsce wg. dyrektywy RED III oraz rozporządzenia AFiR

Wariant bazowy i wariant rozszerzony różnią się od siebie zarówno tempem rozwoju infrastruktury tankowania wodoru (zgodnie z założeniami AFiR) w transporcie drogowym/kołowym jak i rozwojem nowych rodzajów pojazdów wodorowych w pozostałych sektorach, m.in. pojazdy użytkowe, kolej, żegluga śródlądowa). Założenia co do liczby eksploatowanych autobusów komunikacji miejskiej, transportu kolejowego oraz pozostałych pojazdów wynikają z celów przyjętych w Polskiej Strategii Wodorowej do roku 2030 z perspektywą do 2040 roku. Zakłada się, że wszystkie z poniższych rodzajów transportu będą zasilane wodorem RFNBO w 2030 r. i jednocześnie zapewnią kontrybucję do realizacji transportowego celu RFNBO zgodnie z RED III.

Wariant bazowy

1) Bezpośrednie dostarczenie wodoru do HRS (transport drogowy)	
W 50% wykorzystywana wydolność krajowej infrastruktury 34 stacji tankowania H ₂	6 120 ton H ₂ rocznie
a) Liczba eksploatowanych autobusów w miejskiej komunikacji publicznej: 500 szt.	3 600 ton H ₂ rocznie
b) Konsumpcja wodoru przez pozostałe pojazdy drogowe, w tym samochody osobowe oraz ciężarowe (max. ok. 16 800 samochodów osobowych przejeżdżających 15 tys. km rocznie)	2 520 ton H ₂ rocznie
2) Transport kolejowy oraz pozostałe pojazdy	
Liczba eksploatowanych pociągów ¹ : 10 szt.	500 ton H ₂ rocznie
Liczba eksploatowanych wózków widłowych ¹ : 500 szt.	150 ton H ₂ rocznie
Transport wodny śródlądowy i przybrzeżny ¹ : 5 jednostek	122,6 ton H ₂ rocznie
SUMA: 6 892 t RNFB0 H₂	

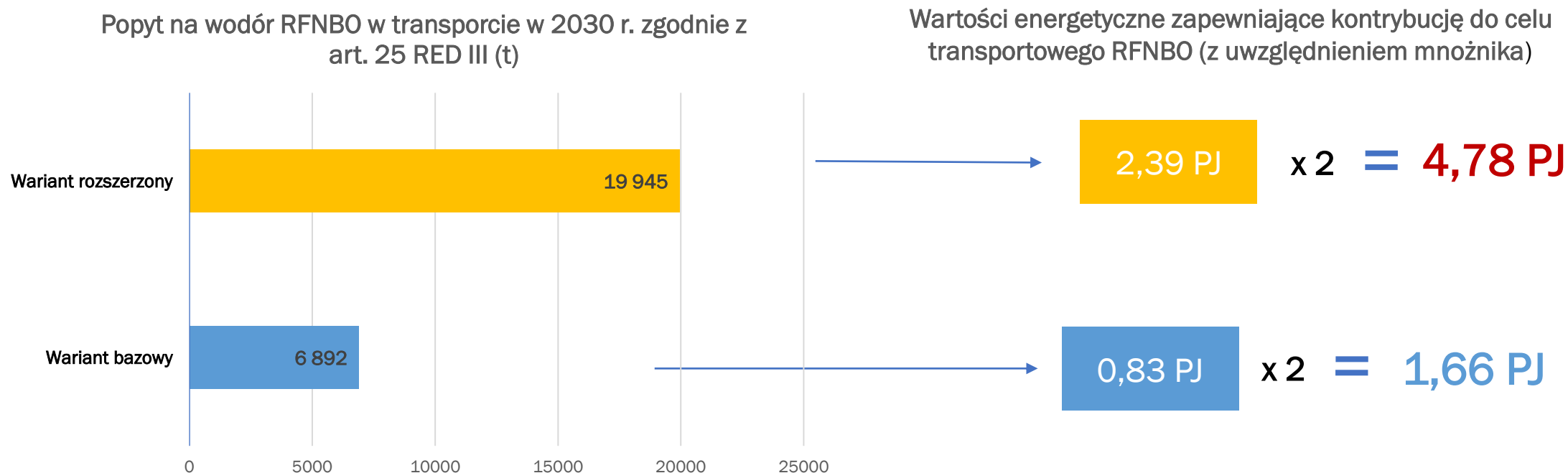
Wariant rozszerzony

1) Bezpośrednie dostarczenie wodoru do HRS (transport drogowy)	
W 100% wykorzystywana wydolność krajowej infrastruktury 34 stacji tankowania H ₂ + 16 stacji tankowania w województwach	18 000 ton H ₂ rocznie
a) Liczba eksploatowanych autobusów w miejskiej komunikacji publicznej: 1000 szt.	7 200 ton H ₂ rocznie
b) Konsumpcja wodoru przez pozostałe pojazdy drogowe, w tym samochody osobowe oraz ciężarowe (max. ok. 72 000 samochodów osobowych przejeżdżających 15 tys. km rocznie)	10 800 ton H ₂ rocznie
2) Transport kolejowy oraz pozostałe pojazdy	
Liczba eksploatowanych pociągów ¹ : 25 szt.	1 250 ton H ₂ rocznie
Liczba eksploatowanych wózków widłowych ¹ : 1500 szt.	450 ton H ₂ rocznie
Transport wodny śródlądowy i przybrzeżny ¹ : 10 jednostek	245,2 ton H ₂ rocznie
SUMA: 19 945 t RNFB0 H₂	

Źródło: Załącznik nr. 9 do PSW 2030, Analiza potencjału technologii wodorowych w Polsce do roku 2030 z perspektywą do 2040 roku, <https://www.gov.pl/web/klimat/polska-strategia-wodorowa-do-roku-2030>

Wymogi AFiR, a realizacja celu transportowego RFNBO

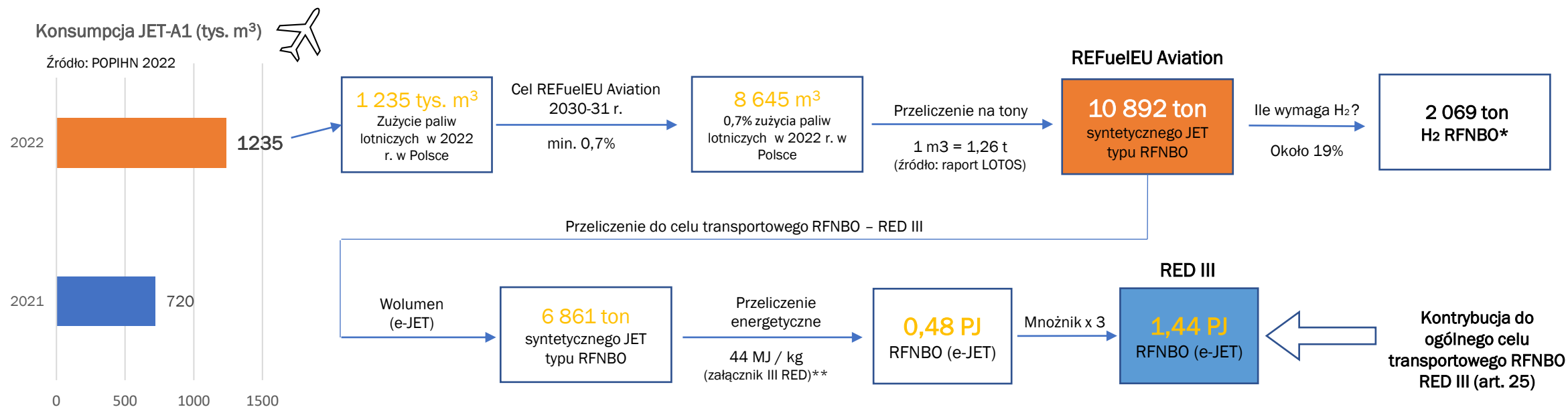
Na podstawie przedstawionych analiz popytu na wodór RFNBO w różnych rodzajach transportu określono dwa warianty kontrybucji do celu transportowego RFNBO. Uwzględniając brzmienie dyrektywy RED III oraz przewidziane mnożniki popyt na wodór RFNBO dostarczany bezpośrednio do sektora transportu (jako paliwo) wyniesie 6,89 – 19,95 kt, co przekłada się na kontrybucję do celu transportowego RFNBO (w wartościach energetycznych) na poziomie 1,66 - 4,78 PJ.



* Przy rozliczaniu celu transportowego powyższe wartości wolumenowe H2 są przeliczane na wartości energetyczne (PJ) i mnożone x 2 zgodnie z brzmieniem RED III (art. 25 i 27)

Pochodne wodoru w transporcie lotniczym – REFueIEU Aviation / RED III

Paliwa syntetyczne RFNBO (e-JET) dostarczane do sektora lotnictwa będą zapewniały kontrybucję do dwóch celów regulacyjnych: 1) cel dla paliw syntetycznych w REFueIEU Aviation oraz 2) ogólny cel transportowy RFNBO w RED III. Zakłada się, że dostarczane syntetyczne paliwa lotnicze RFNBO (e-JET) będą mieszane z konwencjonalnymi (JET A-1) i w taki sposób możliwa będzie realizacji obu celów. Jednocześnie przyjmuje się, że wiodącym rodzajem paliwa będzie syntetyczna kerozyna produkowana w procesie Fischera-Tropscha wskazana w załączniku III Dyrektywy RED. Podstawą do wyliczenia celów będzie zużycie paliw w sektorze lotniczym we wskazanym roku, na potrzeby niniejszej analizy za rok bazowy przyjęto 2022 r.

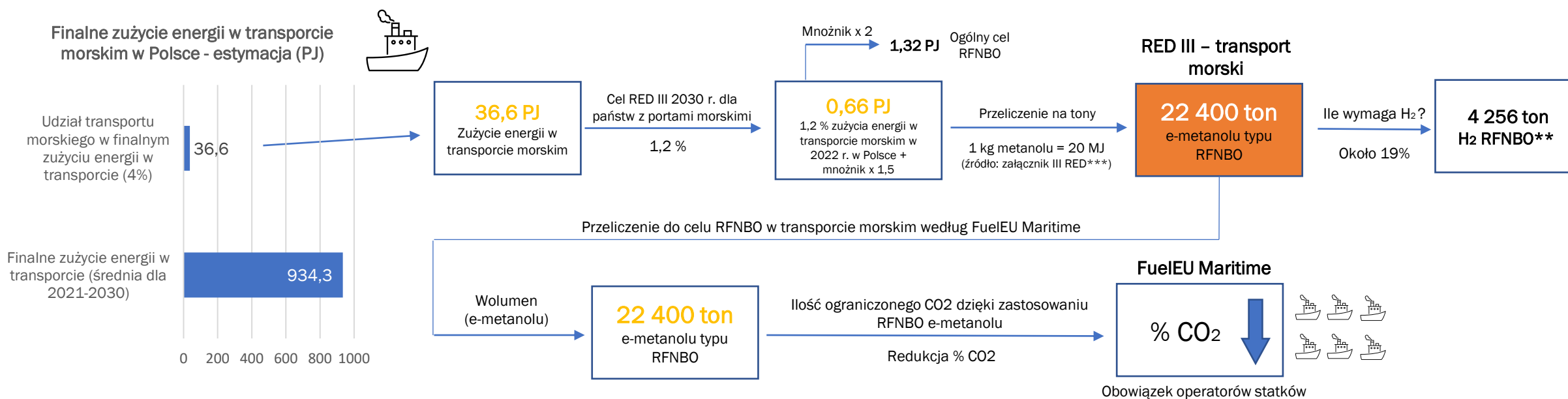


* Przeliczenie jest jedynie szacunkowym przybliżeniem na podstawie zbliżonego procesu produkcyjnego: <https://decarbonisationtechnology.com/article/162/conversion-of-co2-to-methanol>

** Zgodnie z załącznikiem III do RED syntetyczne paliwo lotnicze wyprodukowane w procesie Fischera-Tropscha charakteryzuje się wartością energetyczną 44 MJ/kg

Pochodne wodoru w transporcie morskim – FuelEU Maritime / RED III

Paliwa syntetyczne RFNBO dostarczane do sektora morskiego będą zapewniały kontrybucję do trzech celów regulacyjnych: 1) dobrowolny cel dla użycia paliw RFNBO w transporcie morskim według FuelEU Maritime do 2032 r., 2) dobrowolny cel dla użycia paliw RFNBO w transporcie morskim według RED III do 2030 r. 3) ogólny cel transportowy RFNBO w RED III. Jednocześnie przyjmuje się, że wiodącym rodzajem paliwa RFNBO stosowanym w transporcie morskim do 2030 r. będzie e-metanol (źródło: DNV, Maersk) wskazany w załączniku III Dyrektywy RED. Podstawą do wyliczenia celów będzie wartość 36,6 PJ, czyli 4% całkowitego zużycia energii w transporcie w Polsce. **Wartość 4% jest jedynie eksperckim przybliżeniem na podstawie udziału transportu morskiego w strukturze zużycia energii w transporcie w UE***.



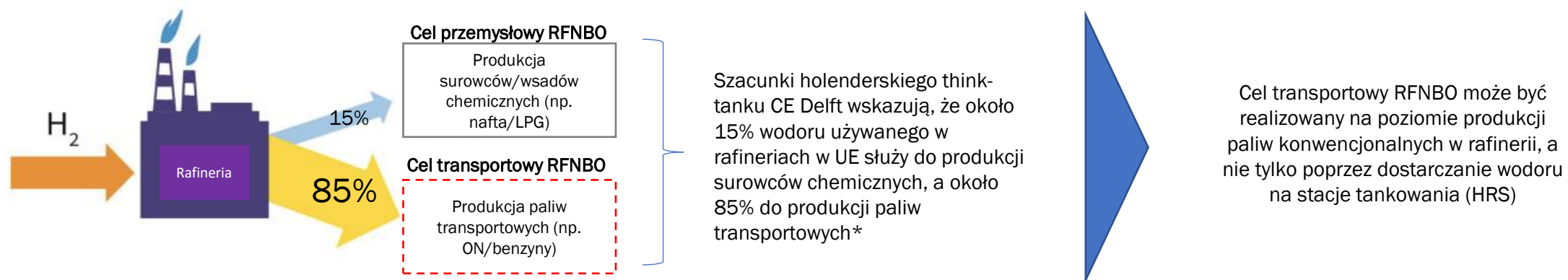
* Dostępne dane wskazują, że udział zużycia energii w transporcie morskim wynosi około 2-10% całkowitego zużycia energii w transporcie np. European Environment Agency, EITP Bioenergy (brakuje dokładnych danych dla Polski)

** Przeliczenie jest jedynie szacunkowym przybliżeniem na podstawie zblizonego procesu produkcyjnego: <https://decarbonisationtechnology.com/article/162/conversion-of-co2-to-methanol>

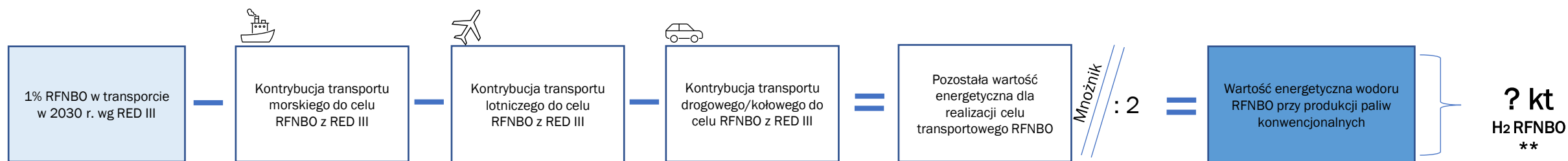
** Zgodnie z załącznikiem III do RED metanol wyprodukowany z OZE charakteryzuje się wartością energetyczną 20 MJ/kg

Wodór RFNBO używany jako surowiec do produkcji konwencjonalnych paliw transportowych – metodologia kalkulacji

Wodór jest powszechnie wykorzystywanym surowcem w procesie przerobu ropy naftowej w instalacjach rafineryjnych (odsiarczanie/oczyszczanie frakcji ropy naftowej). Cel transportowy RFNBO wskazany w art. 25 RED III można także realizować wykorzystując wodór RFNBO (zamiast wodoru szarego) przy produkcji konwencjonalnych paliw transportowych.



Schemat kalkulacji – ile wodoru RFNBO na poziomie rafinerii do produkcji paliw konwencjonalnych?



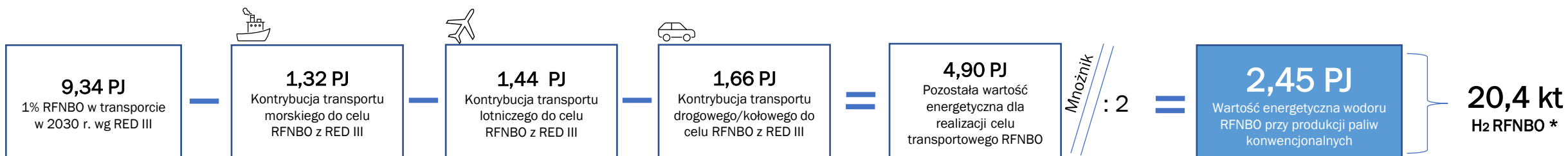
Wolumen wodoru RFNBO, który będzie używany w 2030 r. do produkcji transportowych paliw konwencjonalnych (benzyna, olej napędowy) będzie bezpośrednio zależeć od ilości paliw RFNBO dostarczanych bezpośrednio do różnych rodzajów transportu jako paliwo docelowe (na stacje tankowania/bunkrowania)

* 50% hydrogen for Dutch industry - Analysis of consequences draft RED III, CE Delft, 2022, niemniej dane te powinny zostać sprawdzone i potwierdzone dla rynku polskiego

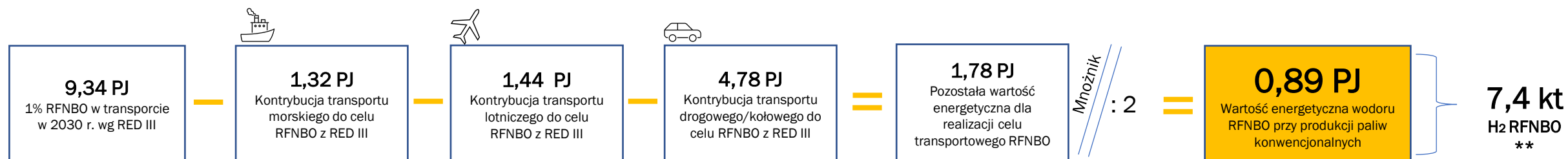
Wodór RFNBO używany jako surowiec do produkcji konwencjonalnych paliw transportowych – wariantowa kontrybucja do celu RFNBO

Schemat kalkulacji – ile wodoru RFNBO na poziomie rafinerii do produkcji paliw konwencjonalnych?

Wariant bazowy – duży udział wodoru RFNBO na poziomie rafinerii w realizacji celu transportowego



Wariant rozszerzony – dynamiczny rozwój użycia wodoru RFNBO w transporcie kołowym/drogowym

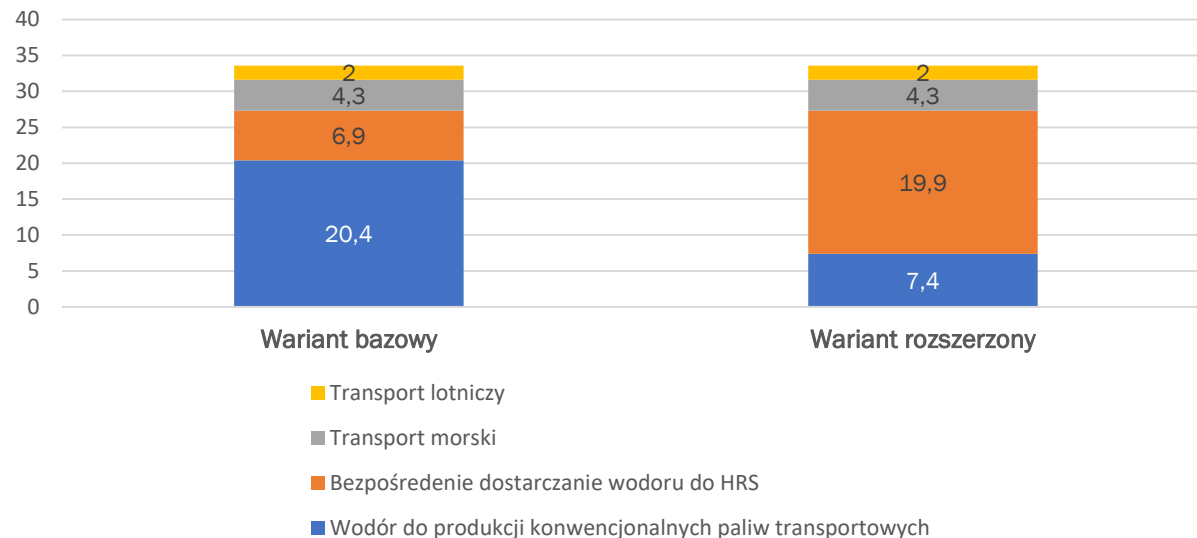


* Wartość ta stanowi wyłącznie około 6% całkowitego wolumenu wodoru wykorzystywanego w Polsce w procesach rafineryjnych w 2022 r. (381 kt).

** Wartość ta stanowi wyłącznie około 3% całego wolumenu wodoru wykorzystywanego w Polsce w procesach rafineryjnych w 2022 r. (381 kt).

Potencjalny struktura realizacji celu transportowego RFNBO w 2030 r. zgodnie z art. 25 RED III – wariant bazowy / rozszerzony

Popyt na wodór RFNBO w transporcie w 2030 r. zgodnie z art. 25 RED III (kt)



Popyt na wodór RFNBO w transporcie w 2030 r. zgodnie z art. 25 RED III (kt)

Sektor	Wariant bazowy [kt]	Wariant rozszerzony [kt]
Wodór do produkcji konwencjonalnych paliw transportowych	20,4	7,4
Bezpośrednie dostarczanie wodoru do HRS	6,9	19,9
Transport morski	4,3	4,3
Transport lotniczy	2	2
SUMA	33,6	33,6

Komentarz

- Znacząca większość celu transportowego RFNBO w Polsce może być zrealizowana na poziomie instalacji rafineryjnych i produkcji paliw konwencjonalnych, a nie w ramach zasilania zeroemisyjnych pojazdów wodorowych (wariant bazowy wydaje się najbardziej prawdopodobnym do 2030 r.).
- Zakłada się, że bezpośrednie dostarczanie wodoru do HRS będzie realizowane głównie na potrzeby zasilania transportu miejskiego lub kolei opartych o napędy FCEV, zgodnie z założeniami Polskiej Strategii Wodorowej. W przypadku wariantu rozszerzonego zakłada się dynamiczny rozwój transportu kołowego/drogowego opartego o napędy FCEV, który może odpowiadać za nawet około 18 kt popytu na wodór RFNBO (jest to scenariusz mniej prawdopodobny).
- Transport morski i lotniczy z racji na wysoki stopień innowacyjności i wczesną gotowość komercyjną będą stanowiły o najmniejszej kontrybucji do celu transportowego RFNBO (może się to zmienić po 2030 r.).

4

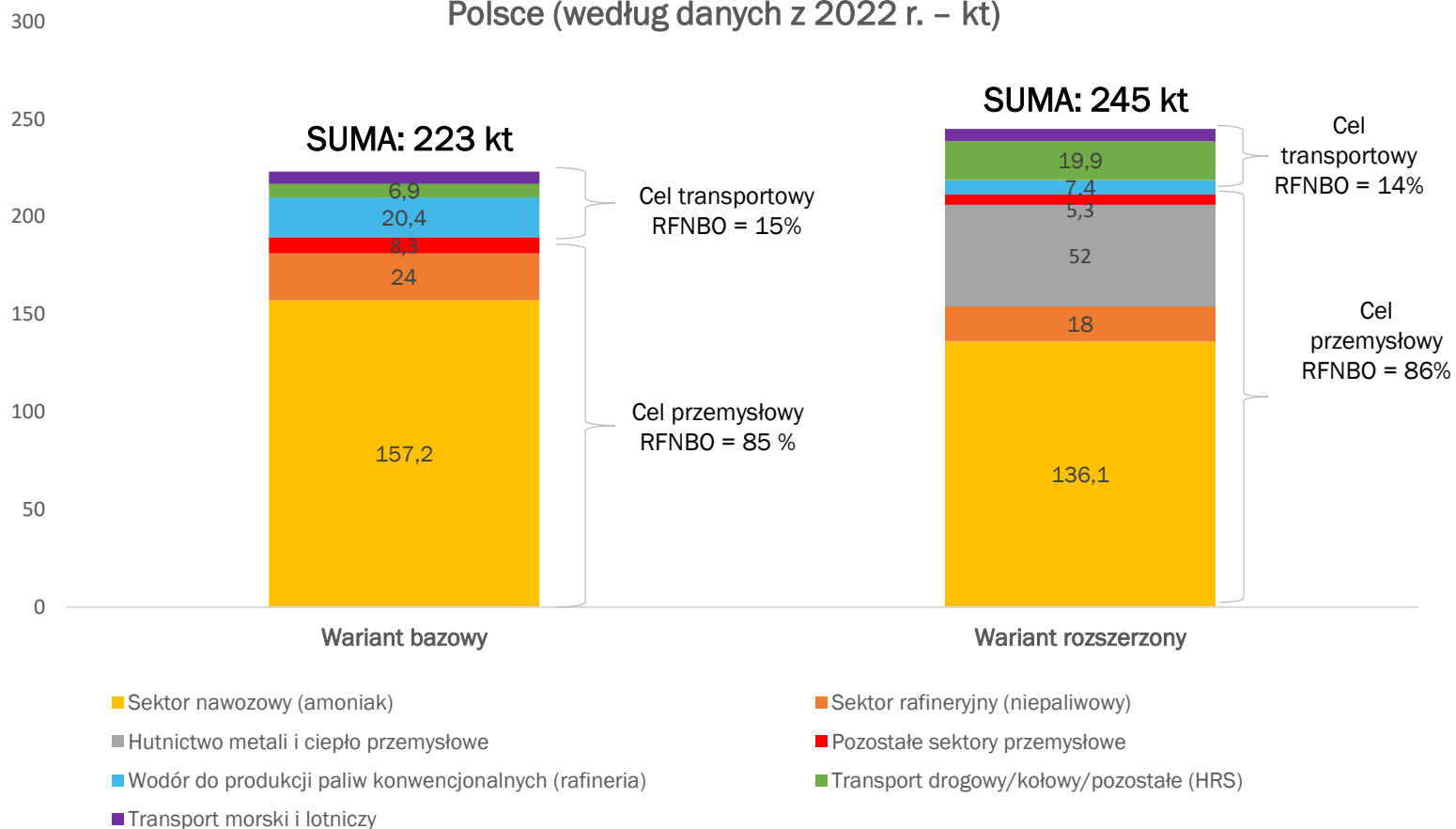
Podsumowanie sektorowe



Podsumowanie sektorowe – popyt na wodór (RFNBO) w Polsce zgodnie z RED III

Komentarz

Prognozowany popyt na wodór (RFNBO) w 2030 r. zgodnie z celami RED III w Polsce (według danych z 2022 r. – kt)

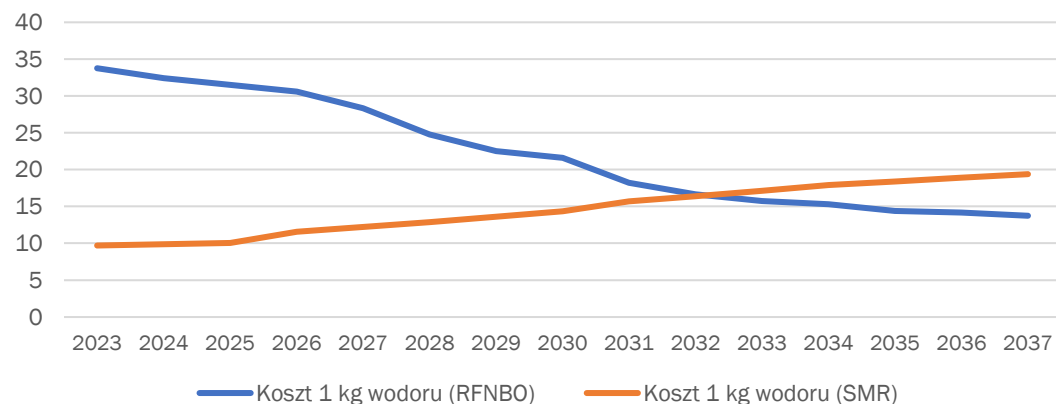


- Zgodnie z przeprowadzoną analizą łączny popyt na wodór RFNBO w 2030 r. (według danych z 2022 r.) może wynieść 223 – 245 kt w zależności od wariantu.
- Zużycie wodoru w transporcie będzie stanowiło 14-15% całego popytu na wodór RFNBO w gospodarce polskiej zgodnie z celami RED III.
- Zużycie wodoru w przemyśle będzie stanowiło 85-86% całego popytu na wodór RFNBO w gospodarce polskiej zgodnie z celami RED III.
- Sektor nawozowy (amoniak) będzie odpowiadał za nawet 54-69% zapotrzebowania na wodór RFNBO w 2030 r.
- Trudno obecnie ocenić przyszły popyt na wodór RFNBO w bezpośrednim zastosowaniu w transporcie (jako paliwo docelowe) stąd wprowadzono wariantową analizę w tym zakresie. Niemniej bardziej prawdopodobna wydaje się realizacja celu transportowego na poziomie rafinerii i produkcji paliw konwencjonalnych.
- Wydaje się, że bardziej prawdopodobna będzie realizacja wariantu bazowego, niemniej rozwój popytu na wodór RFNBO w nowych sektorach będzie mocno skorelowany z kreacją polityki krajowej w tym otoczenia regulacyjno-finansowego.

Luka finansowa na rynku wodoru i prognozowane koszty produkcji

Różnica pomiędzy kosztem wytworzenia wodoru szarego (SMR) i wodoru zielonego (RFNBO) będzie się stopniowo zmniejszać, niemniej konieczne będzie pokrycie tej różnicy w postaci długoterminowych kontraktów publicznych szczególnie w pierwszych etapach rozwoju rynku (dla realizacji celów regulacyjnych na 2030 r., a także 2035 r.).

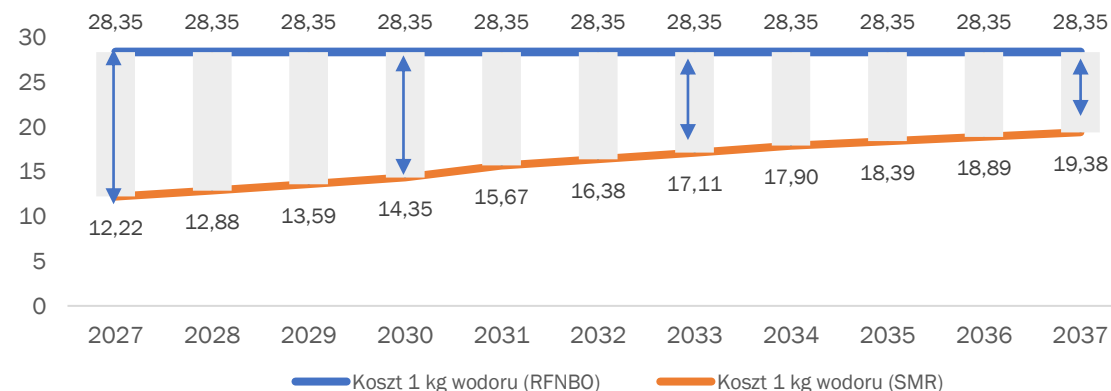
Koszt wytworzenia 1 kg wodoru (RFNBO) vs. koszt wytworzenia 1 kg wodoru (SMR) w perspektywie 2023 – 2037 r. (PLN/kg)



- Przyjmuje się, że do około 2031 – 2033 r. wytworzenie 1 kg wodoru RFNBO będzie droższe niż wodoru szarego.
- Wraz z dalszym rozwojem technologii produkcyjnych wodoru RFNBO, potencjalnym spadkiem kosztów energii elektrycznej z OZE, a także wzrostem kosztów EU ETS nastąpi wyrównanie kosztów wytworzenia obu rodzajów wodoru.
- W związku z powyższym pomoc publiczna alokowana dla sektora wodoru będzie zmniejszać się wraz z upływem czasu, stosunkowo największe wsparcie będzie wymagane dla pierwszych projektów produkcyjnych RFNBO (kontraktowanych przed 2030 r.).

Źródła: MKiŚ, Hydrogen Europe, TradingEconomics, EEX

Przykładowa luka finansowa dla instalacji otrzymującej 10-letnie wsparcie kontraktowe w latach 2027 – 2037 (PLN/kg)

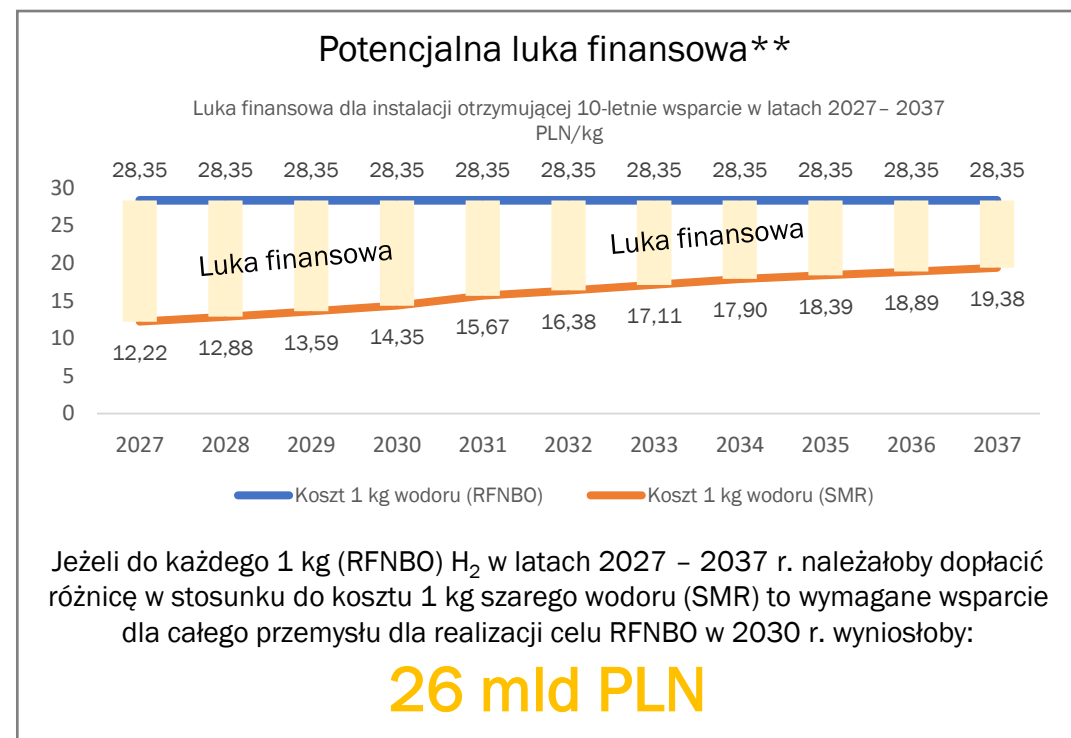
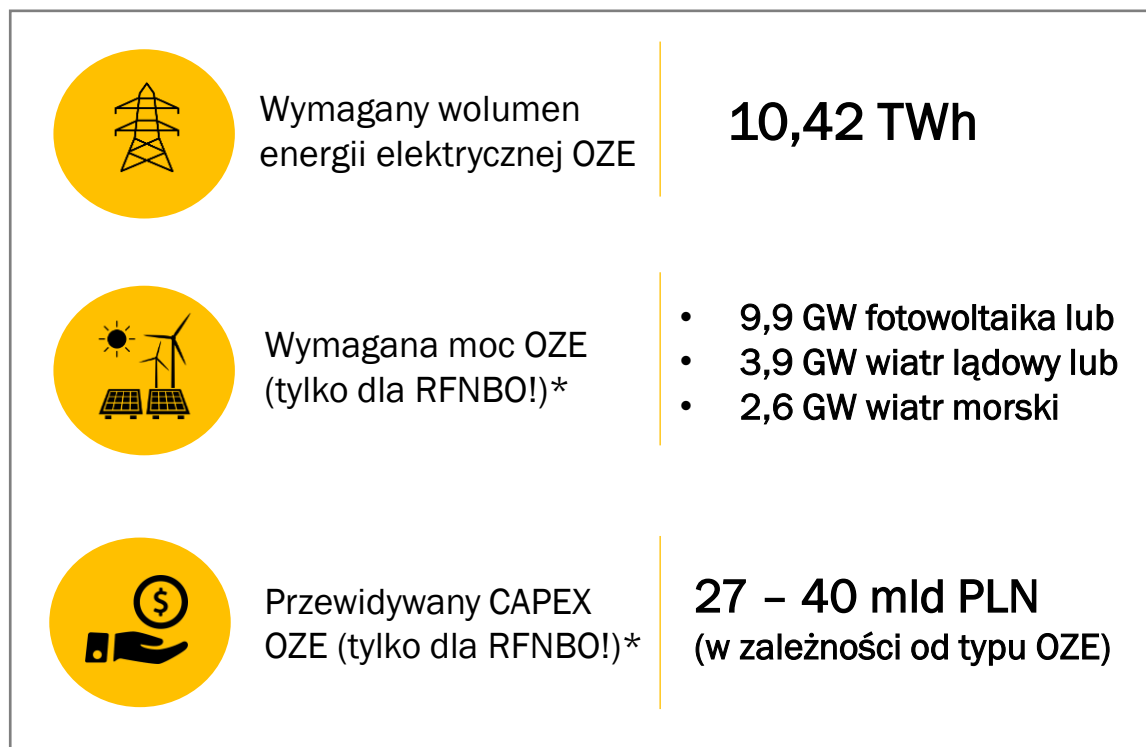


- Zakłada się, że w ramach potencjalnego systemu wsparcia wytwórcy wodoru RFNBO otrzymaliby minimum 10-letnie wsparcie kontraktowe do poziomu stałej ceny zgłoszonej w ramach procedury aukcyjnej (kontrakt różnicowy).
- Wypłacana różnica pokrywałaby nadmiarowe koszty wytworzenia 1 kg wodoru RFNBO w porównaniu do aktualnego kosztu produkcji wodoru szarego (SMR), wypłacane subsyduium w pierwszych aukcjach byłoby stosunkowo wyższe niż w kolejnych.
- **Przykładowy model wsparcia dla projektu zgłoszonego w aukcji w 2027 r. i otrzymującego 10-letnie wsparcie kontraktowe do 2037 r. jest wykorzystany w dalszych obliczeniach luki finansowej wymaganej do pokrycia dla realizacji celów regulacyjnych RED III.**

Wymagana moc źródeł OZE i luka finansowa RFNBO w sektorze przemysłowym – wariant bazowy

Wariant bazowy - przemysł

Wymagana produkcja H₂ w przemyśle w 2030 r. = **189,5 tysięcy ton wodoru RFNBO (tzw. zielonego wodoru)**



* CAPEX: 12 mln PLN/MW wiatr morski; 7 mln PLN/MW wiatr lądowy 4 mln PLN/MW fotowoltaika, sprawności: 12% fotowoltaika, 30% wiatr lądowy, 45% wiatr morski, zużycie energii elektroliza: 55 kWh/kg H₂

** Cena gazu ziemnego = 30 EUR/MWh, uwzględniono wzrost cen uprawnień do emisji CO₂ i zmiany w EU ETS, zakłada się sztywną cenę RFNBO w ramach 10-letniego kontraktu wsparcia na podstawie danych Hydrogen Europe.

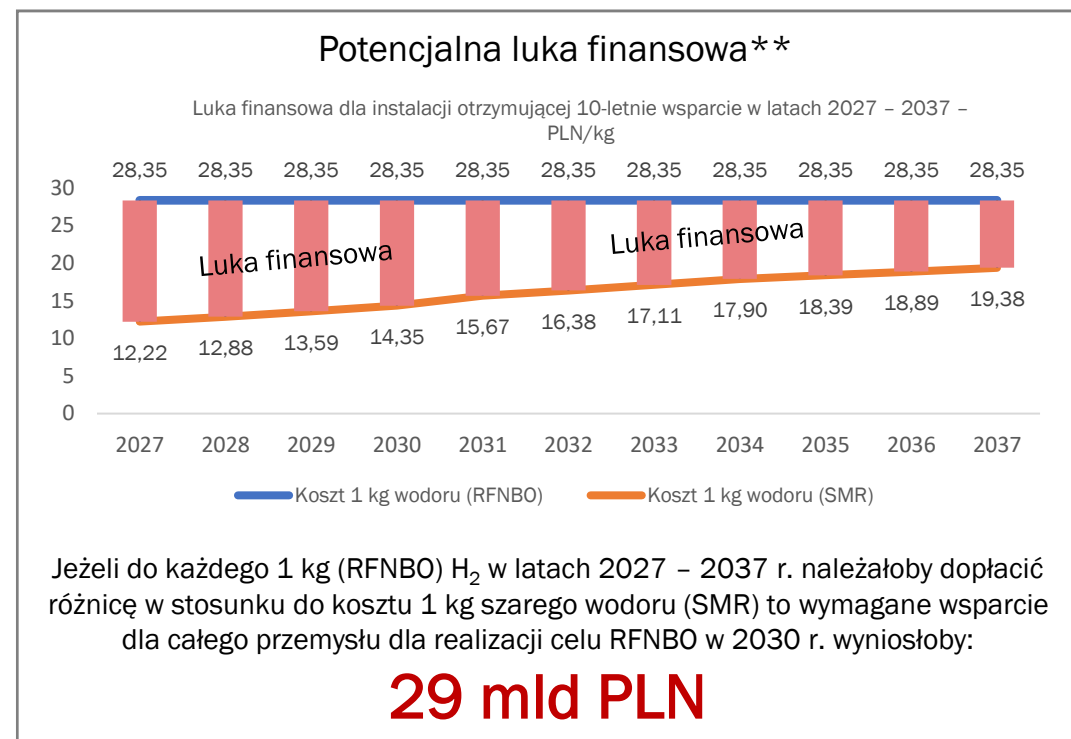
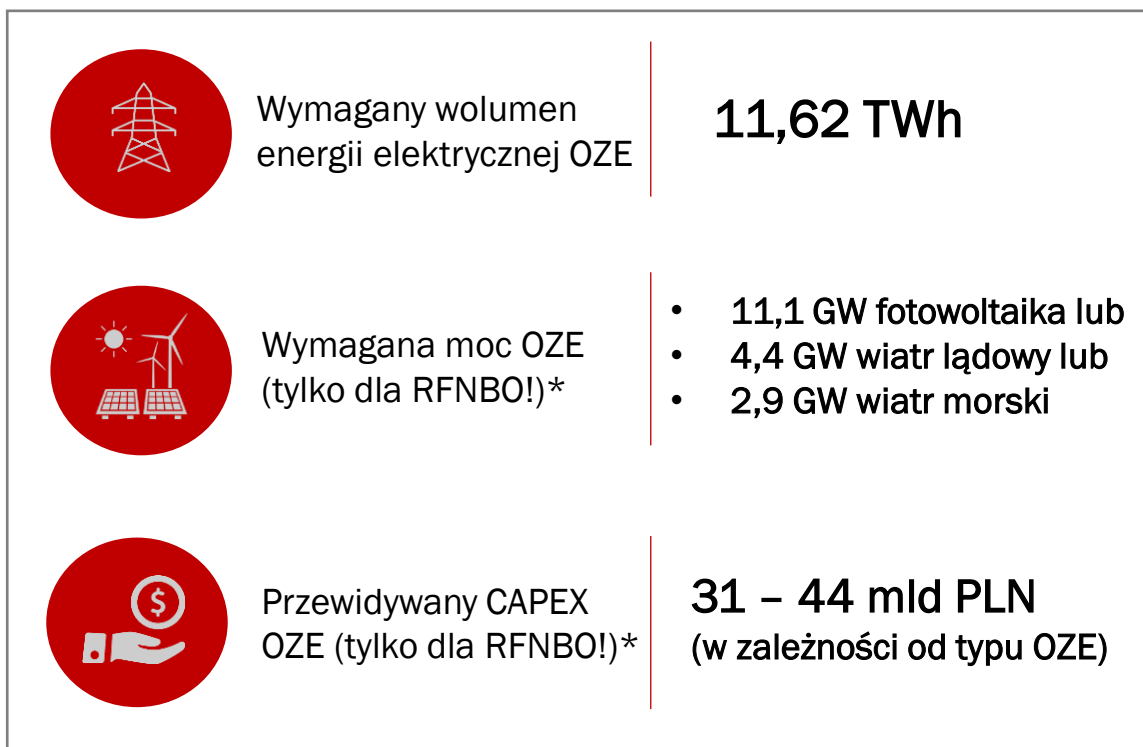
Projekty RFNBO w kolejnych latach mogą generować niższe LCOH.

Źródła: PSEW, IEO, Hydrogen Europe, TradingEconomics, EEX

Wymagana moc źródeł OZE i luka finansowa RFNBO w sektorze przemysłowym – wariant rozszerzony

Wariant rozszerzony - przemysł

Wymagana produkcja H₂ w przemyśle w 2030 r. = **211,4 tysięcy ton wodoru RFNBO (tzw. zielonego wodoru)**



* CAPEX: 12 mln PLN/MW wiatr morski; 7 mln PLN/MW wiatr lądowy 4 mln PLN/MW fotowoltaika, sprawności: 12% fotowoltaika, 30% wiatr lądowy, 45% wiatr morski, zużycie energii elektroliza: 55 kWh/kg H₂

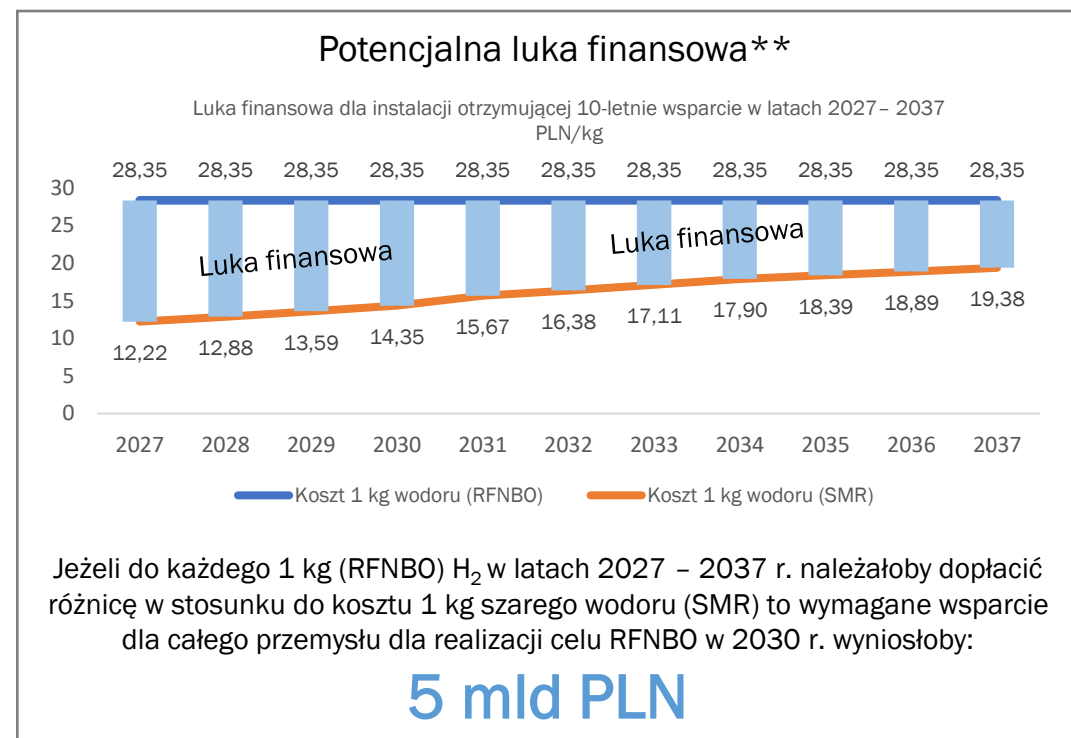
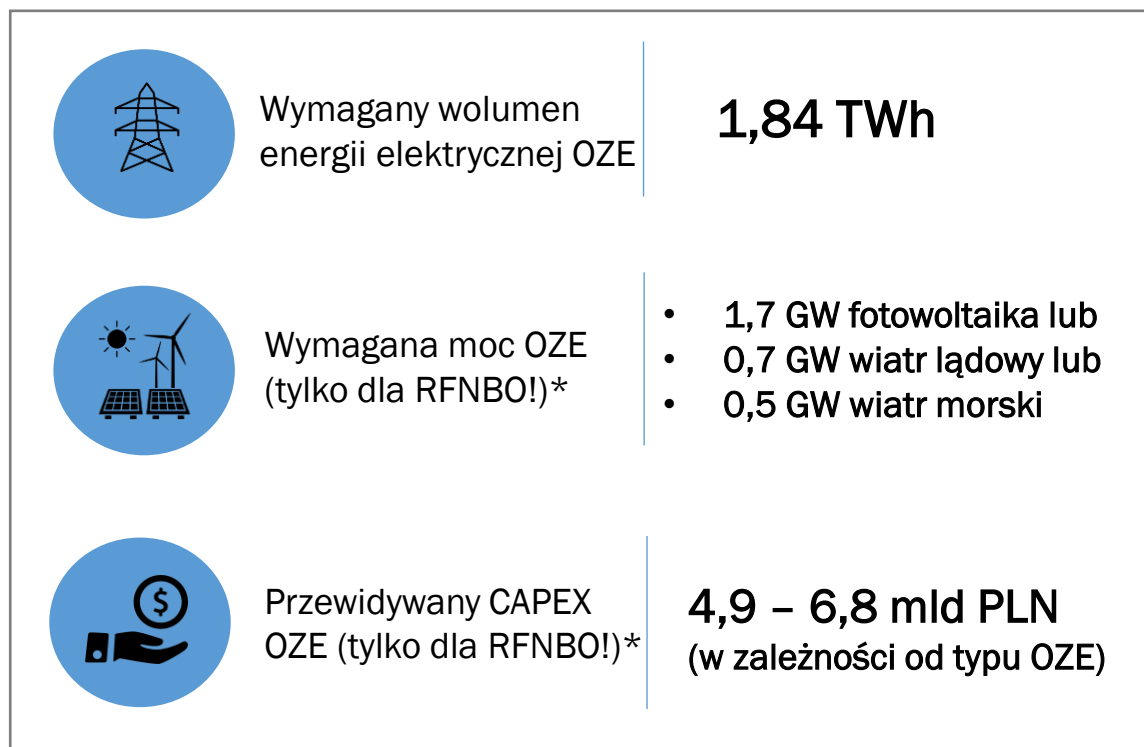
** Cena gazu ziemnego = 30 EUR/MWh, uwzględniono wzrost cen uprawnień do emisji CO₂ i zmiany w EU ETS, zakłada się sztywną cenę RFNBO w ramach 10-letniego kontraktu wsparcia na podstawie danych Hydrogen Europe.

Projekty RFNBO w kolejnych latach mogą generować niższe LCOH.

Źródła: PSEW, IEO, Hydrogen Europe, TradingEconomics, EEX

Wymagana moc źródeł OZE i luka finansowa RFNBO w sektorze transportowym

Wymagana produkcja H₂ w transporcie w 2030 r. = **33,6 tysięcy ton wodoru RFNBO (tzw. zielonego wodoru)**
 wariant bazowy i rozszerzony posiadają taki sam wolumen zapotrzebowania na RFNBO



* CAPEX: 12 mln PLN/MW wiatr morski; 7 mln PLN/MW wiatr lądowy 4 mln PLN/MW fotowoltaika, sprawności: 12% fotowoltaika, 30% wiatr lądowy, 45% wiatr morski, zużycie energii elektroliza: 55 kWh/kg H₂

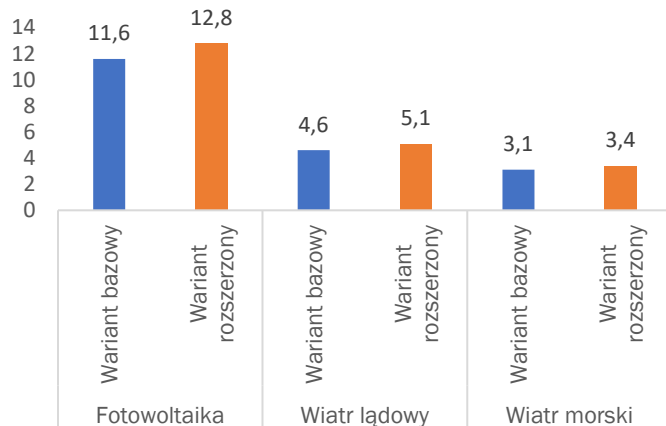
** Cena gazu ziemnego = 30 EUR/MWh, uwzględniono wzrost cen uprawnień do emisji CO₂ i zmiany w EU ETS, zakłada się sztywną cenę RFNBO w ramach 10-letniego kontraktu wsparcia na podstawie danych Hydrogen Europe.

Projekty RFNBO w kolejnych latach mogą generować niższe LCOH.

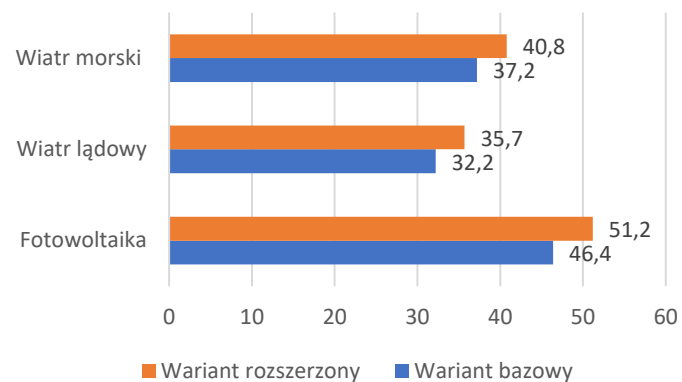
Źródła: PSEW, IEO, Hydrogen Europe, TradingEconomics, EEX

Podsumowanie sektorowe – wymagana moc OZE i luka finansowa

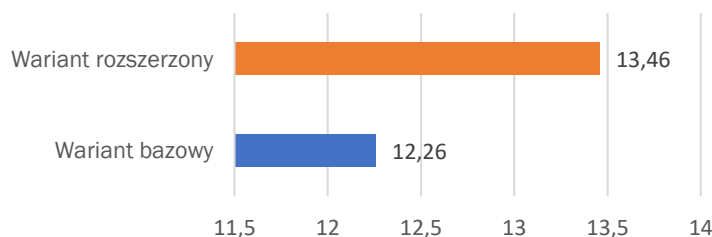
Wymagane moce OZE dla realizacji celów RFNBO w 2030 r. (GW)



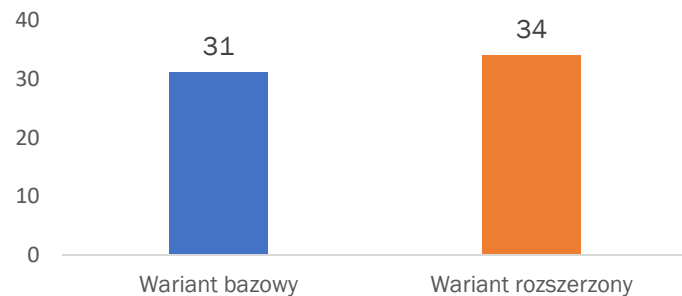
Wymagane nakłady inwestycyjne na źródła OZE (mld PLN)



Wolumen energii elektrycznej niezbędny do produkcji RFNBO zgodnie z RED III (TWh)



Potencjalna luka finansowa pomiędzy kosztem H2 RFNBO, a szary H2 w okresie 2027 – 2037 r. (10 letni okres wsparcia dla realizacji celów RFNBO 2030 r.) – mld PLN

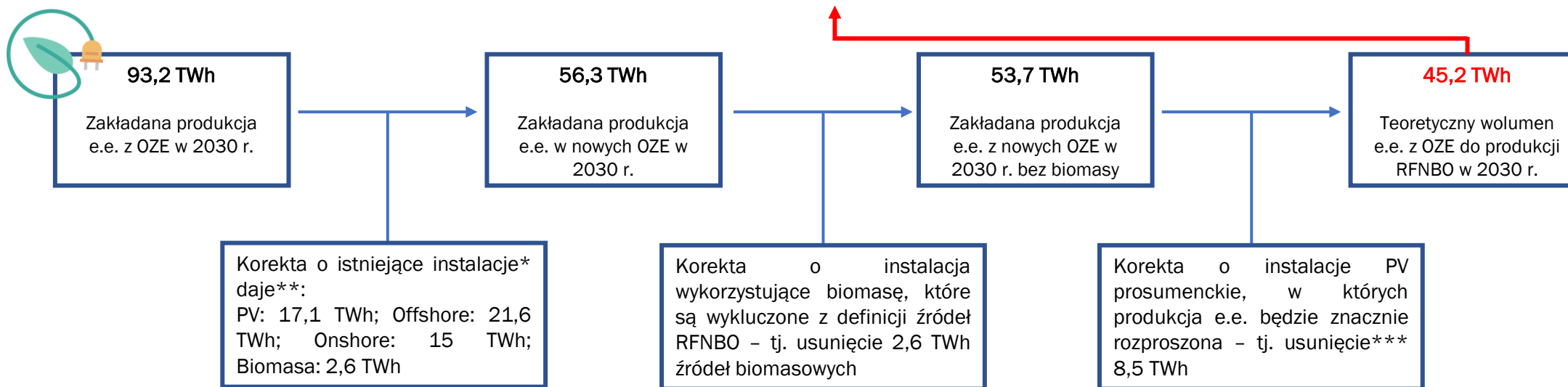


- Realizacja celów RED III w zakresie RFNBO spowoduje konieczność rozwoju około 11,6-12,8 GW fotowoltaiki lub 4,6 – 5,1 GW wiatru na lądzie lub 3,1-3,4 GW wiatru morskiego (prawdopodobny będzie mix tych źródeł).
- Dla realizacji produkcji wymaganych wolumenów wodoru RFNBO w 2030 r. niezbędne będą inwestycje na poziomie 46,4 - 51,2 mld PLN w fotowoltaikę lub 32,2 – 35,7 mld PLN w wiatraki lądowe lub 37,2-40,8 mld PLN w wiatraki morskie (według cen z 2022 r.).
- Do zasilenia instalacji produkcji wodoru RFNBO konieczne będzie zabezpieczenie 12,26-13,46 TWh energii elektrycznej tylko w 2030 r. (wartości te będą rosły od 2035 r. wraz z kolejnymi celami RFNBO).
- Przy założeniu 10-letniego okresu wsparcia (2027-2037 r.) dla projektów realizujących cele RFNBO na 2030 r. **wymagany poziom pomocy publicznej może wynieść 31– 34 mld PLN**, a dla realizacji kolejnych celów RFNBO na 2035 r. i dalej **wymagane będzie prawdopodobnie zabezpieczenie kolejnych środków budżetowych (niemniej luka finansowa powinna się zmniejszać)**.
- Luka finansowa w wysokości 31–34 mld PLN **nie uwzględnia szeregu kluczowych inwestycji systemowych** np. nakładów niezbędnych na sieci energetyczne (wodorowe, gazowe i elektroenergetyczne), infrastrukturę magazynową, rozbudowę oraz dostosowanie infrastruktury odbiorczej. Tym samym **ostateczny poziom nakładów na rozwój gospodarki wodorowej w Polsce może być kilkukrotnie wyższy**.

Analiza potencjalnego uzupełniania zapotrzebowania na RFNBO poprzez import

Komentarz

- Wskazany potencjał na poziomie 45,2 TWh **ma charakter wyłącznie teoretyczny**, gdyż oznaczałoby, że każda nowo oddana do produkcji energii elektrycznej instalacja OZE produkowałaby wyłącznie na potrzeby zasilania elektrolizerów. Założenie to jest faktycznie niemożliwe do realizacji ze względu na m.in.: **kryterium dodatkowości** oraz **wysokie ceny energii elektrycznej na rynku hurtowym**.
- Spełnienie wymogu dodatkowości powiązane jest z obowiązkiem, co do zasady, zapewnienia, iż instalacja zasilająca elektrolizer **nie otrzymała wsparcia w formie pomocy operacyjnej ani pomocy inwestycyjnej**. W sposób znaczący będzie to ograniczać dostępność źródeł OZE możliwych do wykorzystania, gdyż inwestor już na etapie podejmowania decyzji inwestycyjnej powinien zrezygnować z mechanizmów pomocowych, aby nie naruszyć zasady dodatkowości, co wymaga podejmowania decyzji inwestycji wspólnie z offtakerem energii elektrycznej, który gwarantując zakładany zwrot z inwestycji.
- Wysokie ceny energii elektrycznej na rynku towarowym zmniejszają atrakcyjność dla inwestorów zawierania umów PPA (ang. *power purchase agreement*) z odbiorcami przemysłowymi zainteresowanymi wytwarzaniem RFNBO. Zgodnie z założeniami Polskiej Strategii Wodorowej **dla konkurencyjności produkcji elektrolitycznej cena energii elektrycznej powinna wynosić 10-20 EUR/MWh**, a średnioważona cena na TGE kontraktu rocznego z dostawą pasmową **w 2023 r. wyniosła ok. 250 EUR/MWh** (163 EUR/MWh w 2021 r.). Tym samym ceny te znacząco przekraczały prognozowany koszt opłacalności produkcji RFNBO.



(*) Ze względu na wymóg spełnienia kryterium dodatkowości (ang. *additionality*) istniejące instalacje OZE nie będą mogły zostać wykorzystane do produkcji RFNBO w instalacjach wytwórczych, które rozpoczną działalność po 2027 r. Przy czym taka możliwość zaistnieje w przypadku dokonania modernizacji instalacji tj. inwestycji przekraczających 30% inwestycji, która byłaby potrzebna, aby zbudować podobną nową instalację.

(**) Nie uwzględniono elektrowni wodnych przepływowych, ze względu na produkcję zaledwie 35 GWh rocznie w nowych jednostkach.

(***) Aktualizacja PEP2040 zakłada, że w 2030 r. udział mocy zainstalowanych PV prosumenckich wyniesie prawie 50% ogółu mocy zainstalowanych w PV. Jest to proporcja odmienna względem I kw. 2023 r., gdzie prosumenci odpowiadali za niemal 74% mocy zainstalowanych w PV.

Potencjał uzupełnienia zapotrzebowania na RFNBO za pomocą importu

Komentarz

- Dotychczas nie przeprowadzono w ramach opracowywania planistycznych polityk państwowych pogłębionej analizy zapotrzebowania i możliwości importu RFNBO.
- Import będzie uzależniony od krajowego potencjału wytwarzania RFNBO.
- W zależności od źródła danych potencjalna luka na 2030 r. pomiędzy krajową produkcją RFNBO a zapotrzebowaniem wynosi:
 - Wariant optymistyczny (PSW*): 33-55 kt*;
 - Wariant umiarkowany (EHB): 137-159 kt;
 - Wariant pesymistyczny (Fraunhofer): 215-236 kt.
- Potencjalna luka może zostać może zostać uzupełniona poprzez import RFNBO za pomocą transportu rurociągów przesyłowych lub z wykorzystaniem infrastruktury portowej.
- Niezależnie jednak od wybranej metody transportu zasadniczym wyzwaniem będzie dostarczenie zaimportowanego RFNBO do odbiorców końcowych.
- Zakłada się, że transport morski RFNBO, ze względu na niedostępność tankowców oraz ograniczoną liczbę projektów infrastrukturalnych, do 2030 r. nie nastąpi w formie dużych dostaw ciekłego wodoru.



Rurociąg przesyłowy Nordic-Baltic Hydrogen Corridor

Nordic-Baltic Hydrogen Corridor (N-B HC) stanowi inicjatywę w ramach projektu European Hydrogen Backbone mającego przygotowywać plany pod realizację wewnątrzunijnej infrastruktury transportowej dla wodoru. W ramach pięciu wyróżnionych korytarzy wodorowych jedna z nitek N-B HC ma prowadzić z Finlandii przez Estonię, Łotwę, Litwę oraz Polskę do Niemiec.

Potencjał importowy



580 kt H₂

Koszt transportu H₂**



~0,11
EUR/kgH₂/1000km

Bliskość popytu



- Mazowieckie Zakłady Rafineryjne i Petrochemiczne w Płocku
- Zakłady azotowe we Włocławku
- Zakład hutniczy ArcelorMittal Warszawa



Transport morski i odbiór RFNBO w terminalach

RFNBO może być transportowane również za pomocą tankowców (np. pod postacią ciekłego wodoru lub amoniaku). Możliwa jest budowa dedykowanych terminali (lądowe / FSRU) lub przebudowa istniejących terminali LNG. Jednostkowe koszty dostosowania istniejącej infrastruktury zależne są od konkretnej instalacji. Dostosowanie terminalu LNG do odbioru wodoru ciekłego pozwala wykorzystać ponownie ok. 50% CAPEX-u a w przypadku dostosowania do odbioru amoniaku ok. 70% CAPEX-u.

Potencjał importowy



~160 kt H₂

Koszt transportu H₂***



~0,014 (NH₃)
~0,083 (LH₂)
EUR/kgH₂/1000km

Bliskość popytu



- Rafineria w Gdańsku-Rudnikach
- Zakłady Chemiczne "Police"



Przebieg wschodniej nitki Nordic-Baltic Hydrogen Corridor
Źródło: ontras.com

- Ze względu na potrzebę zapewnienia bezpieczeństwa dostaw gazu założono, że do 2030 r. nie dojdzie do rekonwersji infrastruktury LNG do infrastruktury RFNBO-ready.
- Ze względu na istniejącą / planowaną infrastrukturę Police, Świnoujście oraz Gdańsk mogłyby stanowić pożądaną lokalizację terminala.
- Założony potencjał na podstawie planowanych terminali na amoniak w Rotterdamie (2026 r.) oraz Antwerpii (2027 r.).

Źródła: MKiŚ, Polska Strategia Wodorowa; EHB, Five hydrogen supply corridors for Europe in 2030; Fraunhofer, Clean Hydrogen Deployment in the Europe-MENA Region from 2030 to 2050; Guidehouse, Facilitating hydrogen imports from non-EU countries; IEA, The Future of Hydrogen. Seizing today's opportunities; Clean Hydrogen Partnership, Study on hydrogen in ports and industrial coastal areas; G. Tchorek (red.), Łańcuch wartości gospodarki wodorowej w Polsce

(*) Wariant PSW dotyczy wodoru odnawialnego (uwzględniającego biomasę) oraz wodoru niskoemisyjnego z wyższym poziomem emisyjności niż w RED III. Nie jest miarodajne do analiz luki popytowo-podażowej.

(**) Koszt transportu (na 2030 r.) nie uwzględnia kosztów związanych z magazynowaniem i innymi usługami systemowymi. Przy ich uwzględnieniu koszt może urosnąć nawet od dwóch do pięciu razy. Zob. G. Tchorek (red.), Łańcuch wartości gospodarki wodorowej w Polsce, maj 2023 oraz IEA, The Future of Hydrogen. Seizing today's opportunities, czerwiec 2019.

(***) Koszt transportu (na 2030 r.) ograniczony do kosztów frachtu. W przypadku uwzględnienia innych elementów następuje znaczący wzrost. Na temat kosztów również konwersji / rekonwersji i magazynowania zob. G. Tchorek (red.), Łańcuch wartości gospodarki wodorowej w Polsce, maj 2023.






5

Wnioski i rekomendacje



Wymagania dyrektywy RED III – skala wyzwania dla Polski

Czy Polska jest gotowa na realizację celów RFNBO wskazanych w RED III wyłącznie z wykorzystaniem własnych zdolności produkcyjnych ?

-  Zaspokojenie potrzeb energetycznych sektora zielonego wodoru i pochodnych (RFNBO) wymagałoby zabezpieczenia około 25% wolumenu energii elektrycznej z OZE produkowanej w 2030 r. według aktualizacji PEP2040 (około 12,3 – 13,5 TWh)
-  Jeżeli produkcja RFNBO byłaby realizowana z wykorzystaniem źródeł fotowoltaicznych to całość ich nowych mocy przyłączeniowych powstałych w latach 2023 - 2030 r. (około 11,6-12,8 GW) powinna zostać skierowana na elektrolizę (według aktualizacji PEP2040).
-  Gdyby dzisiaj realizować cele RFNBO należałoby na te cele zagospodarować około 1/2 rynku lądowych farm wiatrowych lub około 3/4 rynku fotowoltaiki.
-  Obie planowane aukcje dla morskich farm wiatrowych (łącznie około 4 GW) planowane na 2025 r. i 2027 r. teoretycznie powinny być realizowane w celu zabezpieczenia energii elektrycznej dla produkcji wodoru RFNBO.
-  Ponad połowę powierzchni Warszawy musiałaby zajmować turbiny wiatrowe żeby pokryć całkowite zapotrzebowanie na energię elektryczną dla produkcji RFNBO w 2030 r.
- Biorąc pod uwagę trudność w uruchomieniu źródeł OZE dedykowanych 100% realizacji celów RFNBO potencjał importowy jest szacowany na poziome ok. 160 000 ton wodoru rocznie .

Wnioski

- **Popyt całkowity** - zgodnie z celami regulacyjnymi wskazanymi w dyrektywie RED III, rozporządzeniach REFuelEU Aviation i FuelEU Maritime szacunkowy popyt na zielony wodór (RFNBO) w Polsce w 2030 r. wyniesie 223 – 245 tysięcy ton (według danych za 2022 r.)
- **Przemysł** – 83-85% popytu na zielony wodór (RFNBO) w 2030 r. będzie stanowić zapotrzebowanie przemysłu, z czego około $\frac{3}{4}$ wolumenu będzie konsumowane przez sektor chemiczny (produkcja amoniaku). Łączny popyt na zielony wodór (RFNBO) w polskim przemyśle w 2030 r. wyniesie około 189 – 211 tysięcy ton (według danych z 2022 r.)
- **Transport** - Około 14-15% popytu na zielony wodór (RFNBO) w 2030 r. będzie stanowić zapotrzebowanie sektora transportu lub sektora rafineryjnego, który będzie używać zielonego wodoru do produkcji konwencjonalnych paliw transportowych (w zależności od sposobu realizacji art. 25 RED III przez Polskę). Łączny popyt na zielony wodór (RFNBO) w polskim transporcie w 2030 r. wyniesie około 33,6 tysięcy ton
- **Transport** – Dyrektywa RED III wyznacza cel i pośrednio wielkość wykorzystania RFNBO w sektorze transportu, jednak struktura popytu będzie zależała od krajowych strategii realizacji celu. Bezpośrednie wykorzystanie wodoru w pojazdach drogowych będzie w głównej mierze zdeterminowane poprzez dwa czynniki - **liczbę stacji tankowania H₂ (minimalna liczba jest zdefiniowana przez rozporządzenie AFiR) oraz dostępność pojazdów, wynikającą z otoczenia rynkowego. Pozostała, brakująca część wodoru do realizacji celu RED III, z dużym prawdopodobieństwem będzie musiała zostać wykorzystana do substytucji wodoru szarego przy produkcji konwencjonalnych paliw transportowych**
- **Zapotrzebowanie na OZE** – szacuje się, że dla produkcji zielonego wodoru (RFNBO) w 2030 r. wymagane będzie około 12,3 – 13,5 TWh zielonej energii elektrycznej OZE
- **Luka finansowa** – wstępne kalkulacje wskazują, że dla utrzymania konkurencyjności krajowej i międzynarodowej konsumenci zielonego wodoru (RFNBO) będą potrzebowali około 31 – 34 mld PLN finansowania publicznego dla pokrycia luki finansowej pomiędzy kosztem szarego, a zielonego wodoru (RFNBO) dla realizacji celów na 2030 r. (oczekiwany minimum 10 – letni okres wsparcia 2027-2037 r.). Dodatkowo należy w planach dekarbonizacyjnych państwa uwzględnić nakłady na dodatkowe inwestycje w infrastrukturę m.in.: sieci energetyczne oraz dostosowanie infrastruktury u odbiorców końcowych
- **Zabezpieczenie przyszłego popytu** – wydaje się, że z racji na duże potrzeby pozyskania zielonej energii elektrycznej dla produkcji RFNBO, do 2030 r. część zapotrzebowania na zielony wodór i pochodne będzie realizowane z wykorzystaniem importu. Niezbędna jest budowa odpowiedniej infrastruktury w kraju.

Rekomendacje 1/2

- **Podjęcie szczegółowych analiz ekonomicznych i regulacyjnych w zakresie wpływu RED III na poszczególne sektory polskiej gospodarki, w tym przeprowadzenie sprawnej transpozycji przepisów do prawa krajowego, co zasadniczo zmityguje ryzyka regulacyjne na rynku zielonego wodoru i jego derywatów w Polsce (cele na poziomie krajowym, zasady rozliczania, poziom kar).**
- **Wprowadzenie uznanych systemów certyfikacji zielonego wodoru i paliw pochodnych w Polsce zgodnie z brzmieniem RED II i RED III, tak aby szczegółowo określić warunki produkcji paliw, które zapewnią kontrybucję do celów RFNBO.**
- **Przeprowadzenie strategicznej analizy dostępności źródeł OZE w Polsce pod produkcję zielonego wodoru i pochodnych w perspektywie do 2030 r. w tym określenie luki wolumenowej RFNBO, która będzie musiała być zabezpieczona importem.**
- **Wraz z rozwojem produkcji RFNBO i źródeł odnawialnych należy zaplanować oraz zabezpieczyć poprzez wdrożenie spójnej polityki regulacyjnej wytwarzania innych rodzajów wodoru przyczyniających się do dekarbonizacji rynku gazu w Polsce m.in.: wodoru niskoemisyjnego (SMR+CCS/U) oraz wodoru pochodzącego ze źródeł biomasowych.**
- **Rozpoczęcie prac nad budową dedykowanej infrastruktury rurociąkowej, magazynowej i terminalowej dla obsługi dostaw RFNBO wraz z określeniem niezbędnego wolumenu dostaw zabezpieczających realizację wiążących celów regulacyjnych w zakresie RFNBO oraz określeniem nośników (ciekły wodór, amoniak, metanol, LOHC), w których dostawy będą następować.**

Rekomendacje 2/2

- Przeprowadzenie działań planistycznych mających określić sposoby dostarczenia zaimportowanego RFNBO do centrów popytowych zlokalizowanych w znacznej części na południu Polski (sektor nawozowy i hutniczy). Należy wziąć pod uwagę rozwój infrastruktury rurociąkowej oraz możliwości transportu rzeczno / kolejowego.
- Określenie roli RFNBO w dekarbonizacji ciepłownictwa przemysłowego wysokotemperaturowego, które w perspektywie do 2035 r. może stanowić istotny czynnik hamujący możliwość dekarbonizacji sektora przemysłowego w Polsce.
- Dokonanie analizy możliwości uruchomienia krajowej produkcji e-metanolu z wykorzystaniem RFNBO, która mogłaby zaspokoić część krajowego zapotrzebowania i zmniejszyć uzależnienie krajowych podmiotów od importu, jednocześnie przyczyniając się do dekarbonizacji przemysłu chemicznego i rafineryjnego. Obecnie w Polsce nie funkcjonuje żaden zakład produkcji metanolu, całość wykorzystywanego w gospodarce metanolu pochodzi z importu.
- Wprowadzenie ułatwień regulacyjnych oraz dedykowanych obszarów rozwoju wytwarzania RFNBO zlokalizowanych w pobliżu głównych ośrodków popytowych, obszary takie powinny korzystać z ułatwionych procedur realizacji inwestycji oraz mieć dedykowane środki na ten cel.
- Jak najszybsze wdrożenie mechanizmu pomocowego pokrywającego lukę pomiędzy kosztem wykorzystania wodoru pochodzącego z węglowodorów, a RFNBO, co pozytywnie wpłynie na rozwój całego sektora gazów zdekarbonizowanych oraz będzie stanowić osłonę dla odbiorców końcowych przed wzrostem cen paliw, nawozów oraz produktów hutniczych.
- Rekomendowanym jest przeanalizowanie możliwości realizacji przyszłych aukcji dla morskich farm wiatrowych (2025 r. i 2027 r.) w połączeniu z modelem wsparcia dla produkcji zielonego wodoru i jego pochodnych.



Wodorowy most

Jednym z największych wyzwań współczesnej energetyki jest wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii w taki sposób by stanowiły stabilne źródło energii wspierając pewność działania systemu elektroenergetycznego. Transformacja odnawialnych, ale niestabilnych źródeł energii w źródła stabilne może odbyć się z wykorzystaniem wodoru. Jednym z animatorów tego procesu w Polsce jest TAURON Polska Energia.

Energetyka może występować zarówno jako producent zielonego wodoru na bazie wytwarzanej przez siebie zielonej energii, jak i odbiorca wykorzystujący wodór do produkcji energii elektrycznej i ciepła. Instalacje Power-to-Gas w energetyce mogą także pełnić funkcje wielkoskalowych magazynów energii, w powiązaniu np. z farmami offshore. Potencjał tkwi także w produkcji wodoru w powiązaniu z energetyką jądrową, zarówno wielkoskalową jak i SMR.

Strategia Grupy TAURON na lata 2022-2030 zakłada, że wodór jest jednym z siedmiu innowacyjnych rozwiązań wspierających Zielony Zwrot TAURONA. Grupa TAURON jest gotowa na pełne zaangażowanie w rozwój rynku wodoru w Polsce. Firma ma doświadczenia związane z realizacją projektów CO2-SNG i TENNESSEE, które traktować można jako 'pre-hydrogen'. Aktualnie w ramach projektu Hydrogen Poland TAURON planuje przemysłowe wdrożenie w postaci budowy instalacji power-to-gas o łącznej mocy nawet 36 MW w elektrolizerach.

Do największych przeszkód w rozwoju projektów wodorowych można zaliczyć kłopoty regulacyjne. Na poziomie Unii Europejskiej wciąż nie ma jasności co do definicji poszczególnych rodzajów wodoru uzależnionych od metody ich wytworzenia. Przy celach takich jak 10 mln ton produkcji zielonego wodoru do 2030 r. w ramach UE, budżet pierwszej aukcji Europejskiego Banku Wodorowego ma wynosić zaledwie 800 mln euro. To zdecydowanie za mało, żeby pobudzić rynek wodorowy we wszystkich państwach UE i zająć wysokie miejsce w światowym wyścigu na rynku wodorowym – obok USA. Energetyka

potrzebuje też zdecydowanie więcej wsparcia z funduszy publicznych, szczególnie w początkowej fazie rozwoju rynku. Kolejne kluczowe pytanie, na które pilnie potrzebujemy odpowiedzi: czy poszczególne państwa członkowskie wezmą udział w II części Banku Wodorowego czy zdecydują się wyłącznie na własne mechanizmy rozwoju tego rynku?

Doświadczenia TAURONA

Od 2014 r. Tauron realizuje projekty badawczo-rozwojowe i innowacyjne powiązane z wytwarzaniem wodoru w procesie elektrolizy i produkcją paliw na jego bazie: projekty w skali pilotowej CO2-SNG (zakończony) oraz TENNESSEE (w trakcie realizacji). Obecnie prowadzone są działania zmierzające do uruchomienia dużego projektu demonstracyjnego w zakresie wytwarzania zielonego wodoru „Hydrogen Poland”, który to projekt został w ubiegłym roku zgłoszony do programu IPCEI.

Grupa TAURON nie angażuje się w działające obecnie doliny wodorowe, choć nie wyklucza przystąpienia do tych lub podobnych inicjatyw w przyszłości, jeśli pojawią się konkretne korzyści dla Grupy. TAURON w tym roku przystąpił do stowarzyszenia Hydrogen Europe. W ostatnich latach wydatki na realizację projektów CO2-SNG oraz TENNESSEE, a także na przygotowanie projektu Hydrogen Poland, to niemal 20 mln zł. Przejście ze skali badawczej do pełnego przemysłowego wdrożenia (jak w przygotowywanym projekcie Hydrogen Poland) wiąże się z istotnymi wydatkami.



Artur Michalski,
wiceprezes Narodowego
Funduszu Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej



**NARODOWY FUNDUSZ
OCHRONY ŚRODOWISKA
i GOSPODARKI WODNEJ**

Wodór – ważny czynnik transformacji gospodarki z finansowym wsparciem z NFOŚiGW

Rozwój technologii wodorowych jest jednym z kluczowych elementów umożliwiających przeprowadzenie w Polsce procesu transformacji gospodarki w kierunku nisko- i zeroemisyjnym. Wymaga on jednak utworzenia krajowego łańcucha dostaw na rynku wodoru.

Kluczowe jest wsparcie popytu, w tym stworzenie odpowiednich warunków technicznych i zachęt dla przedsiębiorców. Za równie ważne trzeba uznać wsparcie rozwoju i upowszechnianie metod produkcji wodoru oraz zapewnienie finansowania technologii wodorowych, co przyczyni się do dalszego postępu w tej dziedzinie.

Kierując się tymi założeniami, Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, będąc największą w kraju publiczną instytucją finansującą ekorozwój Polski, konsekwentnie wspiera przedsięwzięcia zmierzające do rozwoju gospodarki zeroemisyjnej. Dlatego z pełnym przekonaniem włącza się również w finansowanie przedsięwzięć w szeroko rozumianej gospodarce wodorowej.

Uruchomiony przez NFOŚiGW program „Wodoryzacja gospodarki” skierowany jest na rozwój niskoemisyjnej i zeroemisyjnej gospodarki. Planowane wsparcie przeznaczone będzie na realizację projektów dotyczących wdrożenia technologii wodorowych – wraz z infrastrukturą techniczną służącą do wytwarzania, magazynowania, transportu oraz wykorzystania wodoru.

Z kolei w programie „Energia Plus” finansowaniem objęta jest budowa/ przebudowa jednostek wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej, w których do produkcji energii wykorzystuje się m.in. wodór.

Wsparcie z NFOŚiGW na budowę instalacji do wytwarzania ciepła z energii elektrycznej generowanej przy użyciu wodoru można uzyskać z programu „Wsparcie dla przemysłu energochłonnego”.

Dopełnieniem tych propozycji są programy dotyczące wsparcia budowy jednostek wytwórczych pracujących w warunkach wysokosprawnej kogeneracji, w której do produkcji energii wykorzystuje się m.in. wodór.

W sektorze transportu wsparciem z NFOŚiGW objęta jest infrastruktura ładowania i tankowania wodoru. Dodatkowo program „Zielony Transport Publiczny” daje możliwość udzielania samorządom i operatorom komunikacji miejskiej dotacji i pożyczek na zakup zeroemisyjnych autobusów elektrycznych i wodorowych.

We wspieraniu gospodarki wodorowej NFOŚiGW widzi szansę podnoszenia poziomu innowacyjności polskiej gospodarki. Program „Innowacje dla Środowiska” pozwala na sfinansowanie innowacyjnych rozwiązań w obszarze technologii środowiskowych, w tym wodorowych, zgodnych z zasadą DNSH, czyli „Nie czyń znaczącej szkody” środowisku (ang. Do No Significant Harm).