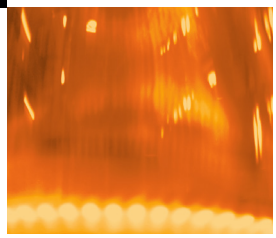
# Produkcja pod napięciem #3

## Elektryfikacja na mapie zeroemisyjnych rozwiązań dla przemysłu energochłonnego

Klaudia Janik, Marta Anczewska

Warszawa 2025



REFORM

© Fundacja Instytut Reform, 2025

Powielanie dozwolone pod warunkiem podania źródła.

**Autorki**

Klaudia Janik, Marta Anczewska

**Współpraca**

Aleksander Śniegocki, Aneta Stefańczyk, Bernard Swoczyna

**Redakcja**

Aneta Wieczerzak-Krusińska

**Projekt szaty graficznej raportu**

Zofia Lasocka

**Opracowanie graficzne**

Anna Gierak

**Data publikacji**

Październik 2025

**Rekomendowane cytowanie:**

Janik, K., Anczewska, M. (2025); *Produkcja pod napięciem #3. Elektryfikacja na mapie zeroemisyjnych rozwiązań dla przemysłu energochłonnego*, Warszawa: Instytut Reform.

Źródło fotografii na okładce: tunart/iStock

**Instytut Reform**

office@ireform.eu | ul. Puławska 26/1, 02-512 Warszawa | www.ireform.eu

**Instytut Reform to niezależny think tank, którego celem jest ciągłe doskonalenie polityk publicznych w Polsce, Europie i na świecie. Jednym z kluczowych obszarów działania Instytutu jest wsparcie transformacji energetycznej oraz ochrony klimatu.**

# Spis Treści

**Słowniczek pojęć** **4**

**Streszczenie** **5**

**1. Transformacja przemysłu energochłonnego – plan pilnie potrzebny** **7**

1.1. Znaczenie przemysłu energochłonnego w Polsce 8

1.2. Dlaczego przemysł energochłonny tak trudno zdekarbonizować? 11

1.3. Potencjalne rozwiązania technologiczne dla wymienionych barier 13

**2. Możliwości elektryfikacji branż energochłonnych** **19**

2.1. Przemysł chemiczny 19

2.2. Produkcja cementu 20

2.3. Produkcja ceramiki 20

2.4. Produkcja szkła 21

2.5. Produkcja stali 22

2.6. Produkcja aluminium 25

2.7. Produkcja innych metali nieżelaznych 26

2.8. Obróbka plastyczna metali 26

**3. Unijnie strategie i akcenty we wsparciu dekarbonizacji przemysłów energochłonnych** **27**

3.1. Kompas Konkurencyjności 27

3.2. Pakt dla czystego przemysłu (CID) 28

3.3. Plan działania na rzecz przystępnej cenowo energii 29

3.4. Ramowe zasady udzielania pomocy publicznej 29

3.5. Harmonogram planowanych działań 30

3.6. Akt w sprawie przemysłu neutralnego klimatycznie (NZIA) 32

3.7. Implikacje unijnych aktów dla Polski 33

**4. Gdzie jesteśmy w planowaniu?** **36**

4.1. Krajowy Plan w dziedzinie Energii i Klimatu – założenia dla przemysłu 36

4.2. Strategia dekarbonizacji przemysłu – wielka nieobecna 38

**5. Spojrzenie w przyszłość: kluczowe elementy dekarbonizacji przemysłu energochłonnego** **39**

5.1. Spójny zestaw strategii sektorowych 39

5.2. Pilotaże i budowa łańcucha dostaw 39

5.3. Dostosowanie założeń dotyczących produkcji energii 40

5.4. Pragmatyczne spojrzenie na opcje importu zielonych produktów i surowców 41

**6. Podsumowanie** **42**

**Załącznik 1 – Działania z KPEiK dla dekarbonizacji przemysłu** **46**

# Słowniczek pojęć

| | |
|---|---|
| **CID** | ang. *Clean Industrial Deal*; pol. Pakt dla czystego przemysłu |
| **CCS/U** | ang. *carbon capture and storage/utilisation*, pol. technologie wychwytu i magazynowania/wykorzystania dwutlenku węgla |
| **CfD** | ang. *Contracts for Difference*; kontrakt różnicowy to umowa wyrównująca wytwórcy energii (w tym ciepła) koszt jego sprzedaży do określonej kwoty. Jeśli cena sprzedaży różni się w górę lub w dół od określonej kwoty, różnica jest wypłacana lub pobierana od wytwórcy |
| **CBAM** | ang. *Carbon Border Adjustment Mechanism*, unijny mechanizm dotyczący importu do Unii Europejskiej określonych towarów, którego celem jest wycena emisji gazów cieplarnianych, wyemitowanych przy produkcji tych towarów w krajach trzecich |
| **DRI** | ang. *direct reducted iron*, pol. żelazo bezpośrednio zredukowane |
| **EAF** | ang. *electric arc furnance*, pol. piec łukowy |
| **ETS2** | ang. *Emission Trading System* 2; rozszerzenie systemu handlu uprawnieniami do emisji $CO_2$ na małe źródła emisji, opłata będzie w praktyce doliczana do ceny paliwa |
| **EU ETS** | ang. *Emission Trading System*; działający w Unii Europejskiej system handlu uprawnieniami do emisji $CO_2$ obejmujący tylko duże źródła emisji, np. kotły o mocy cieplnej powyżej 20 MW |
| **$H_2$ DRI-EAF** | ang. *Hydrogen Direct Reduced Iron - Electric Arc Furnace*, metoda produkcji stali pierwotnej polegająca na przetapianiu żelaza bezpośrednio zredukowanego (wyprodukowanego przy wykorzystaniu zeroemisyjnego wodoru) w piecu łukowym |
| **HPR** | ang. *hydrogen plasma reduction*, pol. technologia redukcji plazmą wodorową |
| **KPEiK** | Krajowy Plan w dziedzinie Energii i Klimatu |
| **NZIA** | ang. *Net-Zero Industry Act*; pol. Akt o przemyśle neutralnym emisyjnie |
| **PEP2040** | Polityka energetyczna Polski do roku 2040 |
| **PPA** | ang. *Power Purchase Agreement*; umowa typu PPA to długoterminowa umowa na dostawę energii elektrycznej, zawierana zazwyczaj pomiędzy wytwórcą energii elektrycznej a jej odbiorcą |
| **RFNBO** | ang. *Renewable Fuels of Non-Biogenic Origin*; pol. paliwa odnawialne pochodzenia niebiologicznego; paliwa ciekłe i gazowe produkowane ze źródeł odnawialnych innych niż biomasa (czyli z energii wiatrowej, słonecznej, wodnej lub geotermalnej) |
| **SMR** | ang. *Small Modular Reactor*; pol. małe reaktory modułowe |
| **VHTR** | ang. *very-high temperature reactor*, pol. reaktor wysokotemperaturowy |

# Streszczenie

## Kontekst transformacji

Osiągnięcie polskich i europejskich celów związanych z transformacją klimatyczno-energetyczną nie uda się bez przyspieszenia dekarbonizacji przemysłu energochłonnego. Sektory o dużym zapotrzebowaniu na energię są jednak silnie uzależnione od tempa transformacji systemu elektroenergetycznego. Dlatego kluczowe jest rzetelne oszacowanie potrzeb w zakresie dostaw zeroemisyjnych nośników energii oraz zmapowanie wyzwań technologicznych w tych branżach.

## Kluczowe bariery dekarbonizacji przemysłu energochłonnego

Przemysł energochłonny charakteryzuje się dużym zapotrzebowaniem na ciepło wysokotemperaturowe, którego dostarczenie w sposób zeroemisyjny nadal jest wyzwaniem. Wiele branż jest wciąż silnie uzależnionych od paliw kopalnych, a jednocześnie generuje trudne do ograniczenia procesowe emisje dwutlenku węgla. Technologie istotne dla ich dekarbonizacji, takie jak zielony wodór czy wychwytywanie i składowanie lub wykorzystanie dwutlenku węgla (CCS/U), nadal oczekują na komercjalizację. Z kolei elektryfikacja procesów napotyka na bariery ekonomiczne wynikające z niekorzystnego stosunku cen energii do gazu.

## Elektryfikacja jako ścieżka redukcji emisji

Pomimo tych wyzwań rozwiązania pozwalające ograniczyć emisje w przemyśle energochłonnym mogą być wdrażane już w perspektywie krótko- i średnioterminowej. Produkcja ciepła wysokotemperaturowego może zostać częściowo zdekarbonizowana przez elektryfikację bezpośrednią (piece elektryczne i łukowe, kotły elektrodowe, systemy odzysku ciepła) oraz wykorzystywanie biopaliw (biomasa, biogaz, biometanol).

Elektryfikacja bezpośrednia będzie realną ścieżką transformacji dla wielu gałęzi przemysłu, w tym branży chemicznej, cementowej, ceramicznej, szklarskiej i hutniczej. Przemysł chemiczny – oprócz zeroemisyjnej energii elektrycznej – będzie dodatkowo wymagał znacznych wolumenów odnawialnego wodoru i paliw syntetycznych (np. zielonego amoniaku i zielonego metanolu). W przypadku materiałów mineralnych – w szczególności w przemyśle cementowym – kluczowe znaczenie będą miały instalacje wychwytu $CO_2$, umożliwiające redukcję emisji procesowych.

W produkcji stali transformacja może przebiegać trzema torami: poprzez wychwyt emisji w tradycyjnych procesach lub przez produkcję stali w piecach łukowych ze złomu bądź żelaza bezpośrednio zredukowanego.

## Europejskie ramy wsparcia

Na poziomie europejskim dekarbonizacja przemysłu stała się jednym z głównych priorytetów polityki gospodarczej. Unia Europejska tworzy obecnie systemowe ramy i strategie, które mają obniżyć koszty energii, wspierać rozwój czystych technologii oraz zwiększać konkurencyjność przedsiębiorstw i europejskich produktów. Zaproponowane inicjatywy dają państwom członkowskim większą elastyczność w udzielaniu pomocy publicznej zakładom przemysłowym, a także oferują narzędzia ułatwiające dostęp do energii z OZE oraz wsparcie finansowe i pozafinansowe (np. przez kryteria w przetargach) dla inwestycji w niskoemisyjne technologie w Europie. Skumulowany efekt tych działań ma zapewnić odpowiedni wkład przemysłu w dekarbonizację gospodarki do 2030 roku.

## Luka strategiczna w Polsce

Wykorzystanie nowych instrumentów unijnych wymaga działań na poziomie krajowym. Polska nie ma jednak nadal krajowej strategii dekarbonizacji przemysłu ani kompleksowego podejścia do kluczowych dla dekarbonizacji technologii, takich jak wodór, CCS/U czy elektryfikacja bezpośrednia.

Obecnie projektowane dokumenty strategiczne – takie jak KPEiK czy Strategia Rozwoju Polski do 2035 roku (inaczej średniookresowa strategia rozwoju kraju) – koncentrują się głównie na zmianach w energetyce, bez uwzględniania rosnącego zapotrzebowania na zieloną energię, wynikającego z transformacji przemysłu. Mimo wzmianek o konieczności dekarbonizacji, brakuje szczegółowego opisania zmian, jakie będą zachodziły w poszczególnych sektorach (z rozróżnieniem na przemysł energochłonny i pozostałe) i opisania roli państwa w nawigowaniu tym przedsięwzięciem. To tworzy poważną lukę strategiczną dla planowania elektryfikacji procesów produkcyjnych, nadrobienia zapóźnienia w rozwoju technologii takich jak CCS/U oraz rozwinięcia przewag konkurencyjnych w wybranych obszarach. Uniemożliwia to też optymalne skorzystanie ze środków finansowych dostępnych w ramach europejskiego nowego otwarcia na rzecz czystego przemysłu.

## Polityka przemysłowa to warunek skutecznej transformacji

Jeśli Polska chce pozostać krajem przemysłowym konieczne jest opracowanie spójnego zestawu strategii sektorowych. To z krajowej strategii przemysłowej powinny wynikać założenia strategii wodorowej oraz dotyczącej CCS/U. Cele i działania zaplanowane w tych dokumentach powinny znaleźć odzwierciedlenie w toczącej się obecnie aktualizacji ambicji w Krajowym Planie w dziedzinie Energii i Klimatu, a następnie w przygotowaniu Polityki Energetycznej Polski do 2040. Pełna realizacja strategicznego podejścia do planowania transformacji procesów przemysłowych wymaga także odzwierciedlenia tych założeń w planach rozbudowy infrastruktury do transportu energii elektrycznej i gazów.

Podjęcie świadomych decyzji o kształcie krajowej polityki przemysłowej jest warunkiem wyznaczenia realistycznych celów rozwoju systemu elektroenergetycznego. Są to naczynia połączone warunkujące nasze bezpieczeństwo energetyczne i odporność gospodarczą.

# 1. Transformacja przemysłu energochłonnego – plan pilnie potrzebny

Unia Europejska konsekwentnie realizuje model rozwoju, w którym neutralność klimatyczna i dekarbonizacja gospodarki są kluczowymi motorami wzrostu. Obowiązujące regulacje i cele wyznaczone na 2030 rok, a także wstępne dyskusje dotyczące horyzontów 2035 i 2040 potwierdzają ten kierunek. Budowa gospodarki neutralnej klimatycznie jest zadaniem o bezprecedensowej skali. Jednocześnie jest to najlepsza droga do zmniejszenia zależności od importowanych paliw kopalnych. W obliczu globalnych napięć politycznych, które wpływają na dostępność i ceny surowców takich jak gaz czy ropa, transformacja energetyczna staje się kwestią nie tylko gospodarczą, lecz także sprawą bezpieczeństwa energetycznego i narodowego. Kryzys energetyczny w 2022 roku, kiedy ceny gazu w Europie wzrosły nawet o ponad 400%, boleśnie pokazał tę podatność i podkreślił wagę dywersyfikacji i budowy niezależności energetycznej.

Zależność od importowanych paliw przekłada się bezpośrednio na koszty energii dla europejskiego przemysłu. W konsekwencji osłabia to konkurencyjność towarów w UE i na świecie. Szczególnie dotkliwie odczuwa to Polska, gdzie produkcja energii wciąż opiera się na źródłach o wysokim śladzie węglowym. W efekcie rosnące ceny energii najmocniej uderzają w sektory energochłonne, ograniczając ich zdolność do konkurowania z producentami korzystającymi z tańszej i czystszej energii.

Znajdujemy się w ważnym momencie. Unia Europejska dostrzegła ryzyko osłabienia własnego przemysłu i uruchamia dodatkowe działania i fundusze na przyspieszenie dekarbonizacji. Utrzymanie konkurencyjności Polski i Europy wymaga podjęcia strategicznych decyzji dotyczących przemysłu energochłonnego. Konieczne jest krajowe zdefiniowanie przewag konkurencyjnych, a następnie zaplanowanie odpowiednich inwestycji, które umożliwią dekarbonizację tych gałęzi, na których Polsce zależy najbardziej.

W Polsce szczególną rolę w tym względzie odgrywa strategia KPEiK (a w kolejnym kroku PEP 2040), która wyznacza ścieżkę transformacji systemu energetyczno-paliwowego – nie tylko na potrzeby dekarbonizacji ciepłownictwa, ogrzewnictwa i transportu, ale także przemysłu. Modelowanie scenariuszy rozwoju musi więc uwzględniać wolumeny energii wynikające z elektryfikacji czy zmiany technologii we wszystkich tych sektorach. Brak uwzględnienia potrzeb przemysłu w prognozach na popyt energii sprawi, że zacznie on konkurować o dostęp do czystej energii z OZE i atomu z elektryfikującymi się ciepłownictwem, transportem i gospodarstwami domowymi.

Aby transformacja przemysłu energochłonnego była skuteczna, potrzebne są świadome decyzje o priorytetach krajowej polityki przemysłowej. Należy przy tym uwzględniać ograniczone zasoby, ich efektywne wykorzystanie oraz konkurencję między poszczególnymi branżami np. o dostęp do zeroemisyjnej energii. Konieczne jest także jasne określenie, które części produkcji poszczególnych branż Polska zamierza utrzymać na swoim terenie – niezależnie od kosztów – ze względu na bezpieczeństwo i odporność, a które rozwijać w oparciu o mechanizmy konkurencyjne na rynku europejskim lub globalnym. Brak takich decyzji grozi niekontrolowaną restrukturyzacją przemysłu energochłonnego oraz rozwojem kluczowej infrastruktury energetycznej w oderwaniu od rzeczywistych potrzeb społeczno-gospodarczych. **W obliczu barier we wdrażaniu technologii dekarbonizacyjnych, takich jak wychwyt $CO_2$, małe reaktory jądrowe, zielony wodór czy technologie elektryfikacji bezpośredniej, konieczne jest precyzyjne zmapowanie wyzwań i możliwych ścieżek rozwoju dla każdej gałęzi przemysłu energochłonnego.**

## 1.1. Znaczenie przemysłu energochłonnego w Polsce

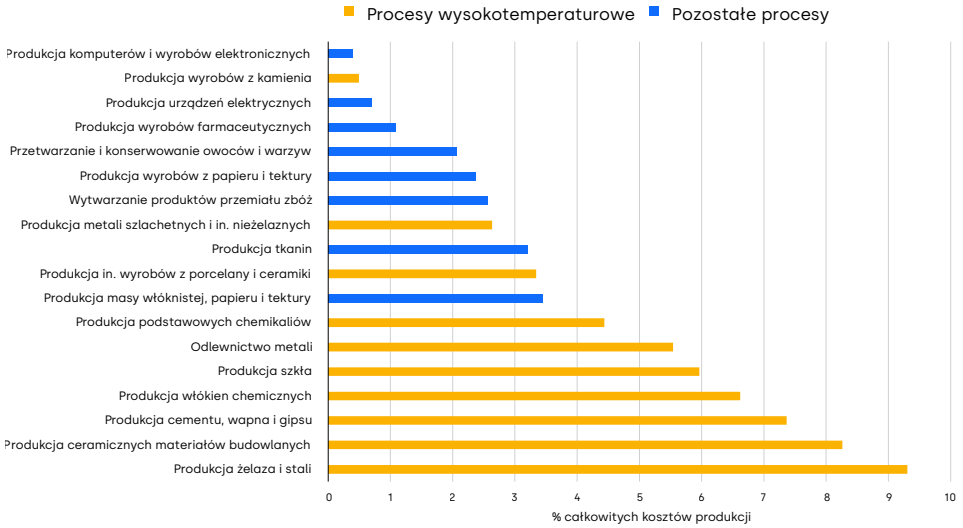
### Przemysł energochłonny – rozważane sektory

Przemysł energochłonny obejmuje sektory, w których koszty energii stanowią istotną część kosztów produkcji. Najczęściej dotyczy to procesów wysokotemperaturowych, np. w chemii, hutnictwie czy produkcji cementu. Jednocześnie udział kosztów energii różni się między branżami, także w tych wykorzystujących technologie wysokotemperaturowe – w hutnictwie i produkcji ceramiki przekracza 8% kosztów całkowitych (por. Rysunek 1), podczas gdy w kamieniarstwie nie przekracza 1%.

Do przemysłu energochłonnego wysokotemperaturowego zaliczyć można następujące sektory:

- **przemysł chemiczny** – produkcja chemikaliów podstawowych, włókien chemicznych, pestycydów, farb i lakierów;
- **produkcja wyrobów mineralnych –** produkcja szkła, ceramiki, cementu, wapna i gipsu, wyrobów ogniotrwałych, materiałów budowlanych i wyrobów ściernych;
- **produkcja metali i wyrobów metalowych** – produkcja żelaza i stali, metali szlachetnych i innych metali nieżelaznych, wyrobów ze stali i metalowych.

**Rysunek 1** Udział kosztów energii w całkowitych kosztach produkcji w wybranych sektorach przemysłu w Polsce w 2021 roku.




*Źródło: Dane Komisji Europejskiej*[1].

[1] Dane dostępne na stronie Komisji Europejskiej.

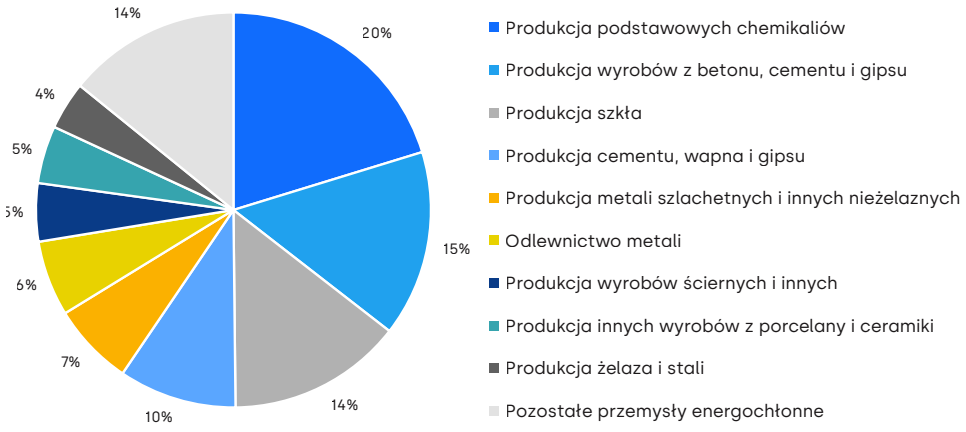
## Wartość dodana przemysłu energochłonnego

Wartość dodana to miara ekonomiczna określająca nową wartość wytworzoną w przedsiębiorstwach. Stanowi różnicę między wartością wytworzonych i sprzedanych dóbr i usług, a wartością dóbr i usług wykorzystanych w procesie produkcji. Można ją też policzyć jako sumę zysków przedsiębiorstw i wynagrodzenia za pracę.

**W 2023 roku wartość dodana przemysłów energochłonnych wysokotemperaturowych w Polsce wyniosła 11 mld euro – czyli ok. 50 mld złotych – i stanowiła 1,7% polskiego PKB. Udział ten spadł z 2,6% w 2021 roku do 2,4% w 2022 roku.** Spadek wartości dodanej polskiego przemysłu wysokotemperaturowego w 2023 roku – związany z generalnym pogorszeniem się koniunktury dla europejskiego przemysłu po pełnoskalowej inwazji Rosji na Ukrainę – wyniósł 21,6%. Spadek wynikał wyłącznie z niższych zysków przedsiębiorstw, przy wzroście płac w 2023 roku o 8,6% (względem 2022 roku).

W Polsce ponad połowę wartości dodanej w przemysłach wysokotemperaturowych daje produkcja z surowców mineralnych – głównie betonu, cementu i gipsu (15%) oraz szkła (14%). Podobny udział mają przemysł chemiczny (20%), a także produkcja metali i wyrobów metalowych (24%).

**Rysunek 2** Struktura wartości dodanej przemysłu energochłonnego wysokotemperaturowego w Polsce w 2023 roku.

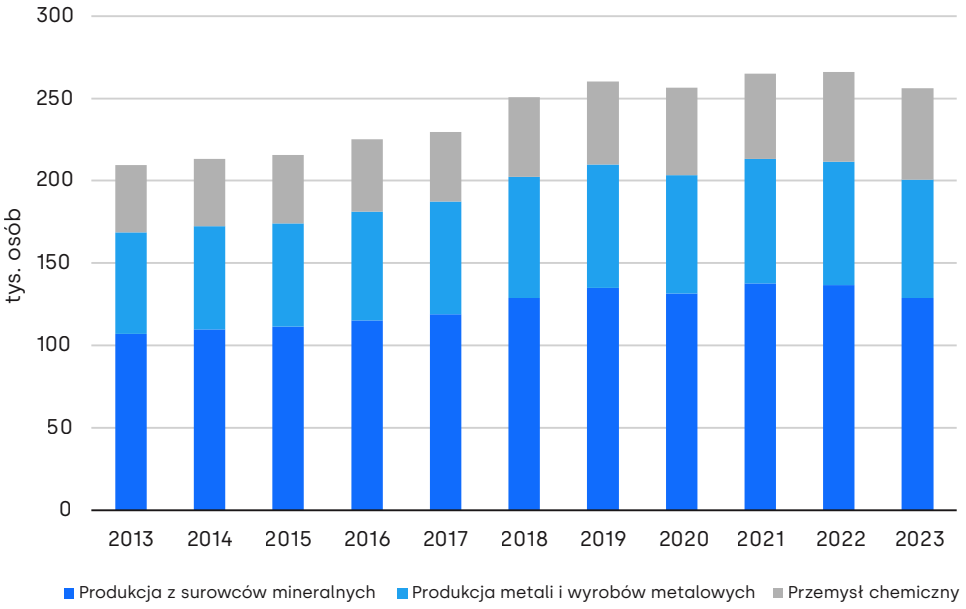



*Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Eurostatu.*

## Zatrudnienie

**Przemysł energochłonny wysokotemperaturowy w Polsce zatrudnia ponad 256 tys. osób, czyli ok. 1,5% wszystkich pracujących.** Najwięcej – ponad 128 tys. osób – pracuje w produkcji surowców mineralnych, w tym ponad 80 tys. przy wytwarzaniu szkła, betonu, cementu i gipsu. Blisko 72 tys. osób jest zatrudnionych z kolei w przemyśle metalowym, a ponad 55 tys. – w przemyśle chemicznym. Zatrudnienie systematycznie rosło w ubiegłej dekadzie, napędzane zwiększaniem się popytu na pracę w sektorze mineralnym. Po pandemii trend ten jednak wygasł, a w kolejnych latach poziom zatrudnienia ulegał tylko umiarkowanym wahaniom w ujęciu rocznym.

**Rysunek 3** Struktura zatrudnienia w przemyśle energochłonnym wysokotemperaturowym w Polsce w latach 2013-2023.




*Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Eurostatu.*

### Rola przemysłu energochłonnego dla gospodarki

Jak widać na podstawie przedstawionych statystyk, **sektory przemysłu energochłonnego wysokotemperaturowego mają ograniczony bezpośredni udział w tworzeniu PKB Polski. Odgrywają jednak ważną rolę z innych powodów**. Po pierwsze, zatrudnienie w tych sektorach znajduje ponad ćwierć miliona Polaków – dla porównania cały sektor przemysłu odpowiada za zatrudnienie 3 mln osób w Polsce[2] (czyli 19,8% wszystkich pracowników). Ponadto mają one znaczenie strategiczne dla wymiany handlowej i bezpieczeństwa państwa, a także stanowią istotne ogniwa w tworzeniu lokalnych łańcuchów wartości, zarówno krajowych, jak i europejskich: Polska jest trzecim co do wielkości producentem cementu w UE[3] oraz siódmym producentem chemikaliów[4].

[2] Buchholtz, S., Dusiło, M., (2024), *Nowy ład przemysłowy 2024+: Jak rozsądnie zmodernizować polski przemysł?*, Forum Energii.

[3] Stowarzyszenie Producentów Betonu, EY, (2024), *Wpływ branży cementowej na gospodarkę Polski.*

[4] Mrówczyński, K., Kowalski, P., Kurek, E., (2025), *W poszukiwaniu „zielonego środka". Aktualna sytuacja, wyzwania i perspektywy sektora chemicznego w Polsce*, Bank Pekao.

## 1.2. Dlaczego przemysł energochłonny tak trudno zdekarbonizować?

Duża część przemysłu energochłonnego należy do branż szczególnie trudnych do dekarbo-nizacji (ang. *hard-to-abate sectors*). Na drodze do ich zeroemisyjności stoją nie tylko wysokie koszty i nieadekwatne regulacje, ale także brak odpowiednich technologii. Główne źródła barier technologicznych można podzielić na trzy kategorie:

### 1) konieczność stosowania pochodnych paliw kopalnych

Część procesów produkcyjnych wymaga zastosowania substancji otrzymywanych z paliw kopalnych:

- ropa naftowa – jej pochodne stosowane są m.in. w produkcji tworzyw sztucznych i leków;
- węgiel – z węgla koksowego powstaje koks, który jest niezbędny do produkcji stali;
- gaz ziemny – **reforming parowy gazu ziemnego to najpowszechniejsza metoda produkcji wodoru.**

Wodór jest kluczowym surowcem w przemyśle chemicznym (służy m.in. do produkcji amoniaku), hutniczym (stosowany jest do obróbki termicznej metali, spawania i precyzyjnego cięcia) oraz szklarskim (używany jest w procesach obróbki cieplnej szkła, cięcia i polerowania).

### 2) procesowa emisja dwutlenku węgla

Procesowa emisja dwutlenku węgla powstaje w wyniku reakcji chemicznych, niezwiązanych bezpośrednio ze spalaniem paliw. Najbardziej znacząca jest w branży cementowej. Emisje procesowe występują także przy produkcji stali, aluminium, szkła i ceramiki.

### 3) zapotrzebowanie na ciepło o wysokiej temperaturze

Jak wskazano w opracowaniu Instytutu Reform *Produkcja pod napięciem. Droga do konkurencyjnego i czystego przemysłu w Polsce*, temperatura powyżej 200°C praktycznie wyklucza stosowanie pomp ciepła do produkcji ciepła procesowego, a temperatura powyżej 400°C ogranicza zastosowanie części innych technologii elektryfikacji. Jednocześnie wiele procesów przemysłowych wymaga temperatur przekraczających nawet 1000°C. Osiągnięcie takich temperatur odbywa się obecnie dzięki spalaniu paliw kopalnych, przede wszystkim gazu ziemnego.

Poniżej zestawiono najważniejsze gałęzie przemysłu energochłonnego w kontekście ich największych wyzwań dekarbonizacyjnych. **W wielu branżach wymienione wyżej bariery nakładają się na siebie, co zwiększa złożoność rozwiązań technologicznych koniecznych do dekarbonizacji tych sektorów.**

**Tabela 1** Zestawienie barier technologicznych dla dekarbonizacji w przemysłach energochłonnych.

| Przemysł | | Pochodne paliw | Emisja procesowa | Wysoka temperatura |
|---|---|---|---|---|
| Chemiczny | produkcja amoniaku[5] | wodór[6] | – | ~500°C |
| | produkcja metanolu[7] | wodór[8] | – | – |
| Mineralny | produkcja cementu | – | TAK (~60%) | ~1450°C |
| | produkcja ceramiki | – | TAK (~20%) | 800°C - 2750°C |
| | produkcja szkła | wodór[9] | TAK (~20%) | >1000°C |
| Hutniczy | produkcja stali | węgiel koksowy[10] | TAK | >1400°C |
| | produkcja metali nieżelaznych | – | TAK (elektroliza aluminium) | ołów >1100°C<br>cynk >400°C<br>miedź >1100°C<br>nikiel >1500°C<br>aluminium>900°C |
| | obróbka metali (np. walcowanie) | – | – | stal >800°C<br>aluminium >400°C<br>mosiądz >750°C<br>miedź >750°C<br>nikiel >1100°C |

*Źródło: Opracowanie własne Instytutu Reform*

[5] Amoniak stanowi jedną z podstawowych substancji chemicznych używanych w przemyśle. Duże wolumeny amoniaku używane są do produkcji nawozów azotowych.

[6] Wodór jest niezbędny do reakcji syntezy amoniaku.

[7] Metanol wykorzystywany jest m.in. do produkcji tworzyw sztucznych, rozpuszczalników, leków, detergentów czy kosmetyków.

[8] Wodór jest niezbędny do reakcji syntezy metanolu.

[9] W przemyśle szklarskim wodór potrzebny jest do procesów takich jak obróbka termiczna, cięcie i polerowanie szkła.

[10] Z węgla koksowego produkowany jest koks.

## 1.3. Potencjalne rozwiązania technologiczne dla wymienionych barier

Dla procesów wymagających substratów z paliw kopalnych rozwiązaniem są zeroemisyjny wodór i paliwa syntetyczne. Branże z procesowymi emisjami dwutlenku węgla muszą z kolei skorzystać z technologii CCS/U (ang. *carbon capture and storage/utilisation*). Sektory o wysokim zapotrzebowaniu na temperaturę mają szerszy wachlarz dostępnych opcji – poza paliwami syntetycznymi i instalacjami CCS/U rozwiązaniami są biopaliwa (biomasa, biogaz, biometanol), małe reaktory jądrowe (SMR) i elektryfikacja bezpośrednia (za pomocą pieców łukowych lub elektrycznych).

Poniżej krótko opisujemy wymienione technologie oraz ograniczenia związane z ich zastosowaniem.

### 1.3.1. Zielony wodór i paliwa syntetyczne

#### Charakterystyka technologii

Obecnie zdecydowaną większość wodoru w przemyśle stanowi wodór szary, pochodzący z reformingu parowego gazu ziemnego. W tym procesie metan (główny składnik gazu ziemnego) reaguje z parą wodną, a produktami są wodór i dwutlenek węgla. Na każdy kilogram wodoru szarego przypada około 10 kg $CO_2$, co czyni go wysoce emisyjnym.

Wodór[11] może być produkowany także w procesie elektrolizy wody, w którym powstaje wodór i tlen, bez bezpośrednich emisji $CO_2$. Proces ten przeprowadzany jest w elektrolizerach, a do jego zasilenia wykorzystuje się energię elektryczną. Całkowite emisje $CO_2$ zależą więc od źródła dostarczanej energii elektrycznej[12]. Jeśli energia pochodzi tylko ze źródeł odnawialnych, wodór nazywany jest zielonym. Jeśli zaś źródłem zasilania elektrolizera jest energia ze źródeł jądrowych, wyprodukowany wodór zyskuje miano różowego. Zeroemisyjny wodór może następnie służyć do syntezy chemicznej przy produkcji paliw syntetycznych, np. e-metanolu.

[11] EPICO KlimaInnovation (2025), *Electrifying Energy Intensive Industries: Ramping Up Hydrogen Production and Steering it Toward Industrial Decarbonisation*.

[12] Gdybyśmy chcieli zasilić elektrolizer energią elektryczną pochodzącą z krajowego systemu elektroenergetycznego, to emisyjność tak wyprodukowanego wodoru przekroczyłaby 30 $kgCO_2/kgH_2$. Jest to trzykrotnie więcej niż emisyjność wodoru szarego. Dlatego też, aby zmniejszyć wypadkową emisyjność produkcji wodoru, musimy rozwijać nowe zeroemisyjne źródła energii elektrycznej.

#### Ograniczenia

Koszty

Technologia elektrolizy wody jest dobrze rozwinięta, a elektrolizery do produkcji wodoru są komercyjnie dostępne. Jednak obecnie koszty produkcji zielonego wodoru kilkukrotnie przewyższają koszty produkcji wodoru szarego[13]. Przekłada się to na dominującą pozycję wodoru szarego na rynku. W przyszłości relacja kosztowa może ulec zmianie wraz ze wzrostem cen uprawnień do emisji i spadkiem kosztów technologii elektrolizerów i OZE.

Zapotrzebowanie na energię elektryczną

W Polsce produkuje się około 1,3 mln ton wodoru szarego rocznie[14]. Aby zastąpić go wodorem zielonym potrzeba byłoby 72 TWh dodatkowej energii elektrycznej z OZE[15]. Dla porównania w 2024 roku krajowa produkcja z OZE wyniosła 49,7 TWh[16], a prognozy na 2030 rok zakładają 99,9 TWh. Nawet wtedy podaż energii z OZE będzie niewystarczająca, aby zapewnić potrzebne wolumeny produkcji.

[13] International Energy Agency (2024), *Global Hydrogen Review 2024*.

[14] Pilszyk, M., Juszczak, A., Gonera, Ł. (2023), *Wyścig po wodór. Państwa i ich strategie wodorowe*, Policy Paper, nr 5, Polski Instytut Ekonomiczny, Warszawa.

[15] Do wyprodukowania 1 kg wodoru w procesie elektrolizy, potrzeba około 55kWh energii elektrycznej.

[16] Kwidziński, K., Dusiło, M., (2025), *Transformacja energetyczna w Polsce*, Forum Energii.

### Rola technologii w dekarbonizacji przemysłu energochłonnego

Dodatkowe 72 TWh zielonej energii elektrycznej to znaczący wolumen, zwłaszcza w szerszym kontekście elektryfikacji gospodarki – rosnącego zapotrzebowania na prąd w ogrzewnictwie, ciepłownictwie i transporcie. Oznacza to konieczność maksymalnie efektywnego wykorzystania energii elektrycznej.

Spalanie zielonego wodoru na potrzeby ciepła wysokotemperaturowego jest mniej efektywne energetycznie niż elektryfikacja bezpośrednia. Innymi słowy, produkcja i wykorzystanie wodoru do wytwarzania ciepła (np. przez spalanie) wymaga więcej energii elektrycznej niż bezpośrednie jej użycie do produkcji ciepła. Z tego powodu zeroemisyjny wodór powinien być wykorzystywany w gałęziach przemysłu, które nie mają lepszych alternatyw. Zeroemisyjny wodór będzie zatem istotnym rozwiązaniem w przemyśle chemicznym, petrochemicznym i stalowym.

## 1.3.2. Instalacje CCS/U

### Charakterystyka technologii

Technologia CCS/U (ang. *carbon capture and storage/utilisation*[17]) polega na wychwytywaniu $CO_2$ ze spalin, a następnie jego transportowaniu i magazynowaniu pod ziemią lub wykorzystywaniu w procesach produkcyjnych. Procesowi wychwytu $CO_2$ najczęściej poddawane są spaliny opuszczające komin, gdyż właśnie w tym miejscu charakteryzują się one wysoką koncentracją dwutlenku węgla. Wykorzystuje do tego specjalne membrany lub fizyczne i chemiczne zjawiska absorpcji czy adsorpcji. Dwutlenek węgla pozyskany w ten sposób może być wykorzystany przez przemysł m.in. do produkcji paliw syntetycznych i tworzyw sztucznych. Alternatywą jest przetransportowanie i odpowiednie zmagazynowanie $CO_2$. Możliwe jest składowanie skroplonego $CO_2$ w podziemnych formacjach skalnych czy wyeksploatowanych złożach ropy i gazu, a także pod dnem morza.

[17] DNV (2025), *Energy Transition Outlook CCS to 2050. Carbon capture and storage: from turning point in 2025 to scale by mid-century.*

### Ograniczenia

Na świecie działa obecnie około 50 instalacji CCS/U (stan na 2024 rok) o łącznej zdolności wychwytu 51 mln ton $CO_2$ rocznie[18]. Główne ograniczenia dla komercjalizacji tej technologii dotyczą aspektów ekonomicznych, w tym wysokich kosztów inwestycyjnych i operacyjnych, a także braku modelu biznesowego. Skala rozwoju technologii CCS/U w kraju zależy także od:

- umiejscowienia i rozmiaru infrastruktury do transportu $CO_2$;
- dostępności i lokalizacji potencjalnych składowisk wychwyconego dwutlenku węgla.

Budowa infrastruktury do transportu wychwyconego $CO_2$ wymaga znaczących nakładów inwestycyjnych i współpracy międzynarodowej. Z kolei wybór lokalizacji składowisk może napotykać opór społeczny i jest związany z ryzykiem. Nie wszystkie kraje posiadają odpowiednie formacje geologiczne, a ich identyfikacja i zatwierdzanie trwa długo.

[18] Global CCS Institute (2024), *Collaborating for a net-zero future.*

### Rola technologii w dekarbonizacji przemysłu energochłonnego

Z uwagi na niepewne tempo budowy infrastruktury do przesyłu i magazynowania dwutlenku węgla, nowe instalacje CCS/U powinny być w pierwszej kolejności rozwijane w sektorach

najtrudniejszych do dekarbonizacji. Mowa tu w szczególności o **zakładach, w których procesowe emisje $CO_2$ nie mogą być wyeliminowane bez zmian w samym procesie przemysłowym**. Technologia CCS/U będzie stanowić istotny element strategii dekarbonizacyjnej przede wszystkim dla przemysłu mineralnego. Technologia CCS/U może być stosowana również w hutnictwie oraz do produkcji wodoru z gazu ziemnego (tzw. błękitny wodór).

### 1.3.3. Biopaliwa

#### Charakterystyka technologii

Ciepło wysokotemperaturowe w przemyśle można częściowo pozyskać z biopaliw: biomasy, biogazu czy biometanu. Biomasa może stanowić alternatywę dla węgla kamiennego. Z kolei gaz ziemny, potrzebny w procesach przemysłowych, może zostać zastąpiony biometanem.

#### Ograniczenia

Skala wykorzystania biopaliw jest ograniczona dostępnością surowców pozyskiwanych w sposób zrównoważony.

Zgodnie z założeniami KPEiK biomasa, biometan i biogaz mają odegrać kluczową rolę w dekarbonizacji ciepłownictwa systemowego. Ich udział w produkcji ciepła systemowego wzrośnie do 12% (29,2 PJ) w 2030 roku oraz 34% (65,8 PJ) w 2040 roku[19]. Skierowanie dużych wolumenów biopaliw do ciepłownictwa ograniczy jednak ich dostępność dla przemysłu.

[19] Oszacowanie na podstawie tabeli 2.12 z załącznika 1 (Scenariusz WAM) do projektu KPEiK z lipca 2025.

#### Rola technologii w dekarbonizacji przemysłu energochłonnego

W przypadku biomasy duże znaczenie ma zasada kaskadowości[20]. Według niej pierwszeństwo w dostępie do surowca (np. zrębki leśnej i odpadów z przetwórstwa tartacznego) powinny mieć sektory produkujące nowe wyroby (np. przemysł meblowy), zaś spalanie biomasy na cele energetyczne powinno być ostatecznością. Dlatego pozyskanie biomasy energetycznej powinno być łatwiejsze dla przemysłu papierniczego i drzewnego, gdzie powstaje ona jako produkt uboczny procesu produkcyjnego. **Przemysł energochłonny powinien traktować biomasę jako uzupełnienie działań dekarbonizacyjnych, a nie jako podstawę do przeprowadzenia transformacji energetycznej całego tego sektora** (zbyt mały wolumen).

**Podobnie ograniczony dla przemysłu będzie wolumen biogazu i biometanu.** Po pierwsze, branża spożywcza – posiadająca najlepszy dostęp do substratów do produkcji biogazu – najprawdopodobniej wykorzysta je na własne potrzeby. Po drugie, w długim horyzoncie biometan i biogaz będą krytycznym zasobem do bilansowania systemu elektroenergetycznego z rosnącym udziałem zależnych od pogody źródeł odnawialnych. To bilansowanie będzie odbywało się poprzez elastyczną pracę źródeł kogeneracyjnych spalających biogaz i biometan. Tymczasem większość procesów w przemyśle energochłonnym wymaga stabilnych parametrów pracy, co wyklucza ich efektywne wykorzystanie w takiej roli.

[20] Zasada kaskadowości wykorzystania biomasy jest elementem unijnej strategii budowania gospodarki obiegu zamkniętego. Szczegółowe wytyczne dotyczące kaskadowego wykorzystania biomasy znajdziesz w publikacji Komisji Europejskiej (2018), Wytyczne dotyczące kaskadowego wykorzystywania biomasy z wybranymi przykładami dobrych praktyk w zakresie wykorzystania biomasy drzewnej, dostępnej tutaj.

### 1.3.4. SMR

#### Charakterystyka technologii

Małe reaktory jądrowe (ang. *small modular reactors*, dalej SMR[21]) zapewniają stały profil produkcji ciepła i energii elektrycznej, który dobrze współgra ze stabilnym zapotrzebowaniem na energię w przemyśle.

[21] Organisation for Economic Co-operation and Development (2021), *Small Modular Reactors Challenges and Opportunities*.

### Ograniczenia

Technologia SMR jest w fazie wczesnej komercjalizacji na świecie. Horyzont jej wdrożenia w Polsce nie jest określony. Najbardziej zaawansowane są projekty SMR wykorzystujące technologię reaktorów lekkowodnych ciśnieniowych. Produkują one ciepło o temperaturze do 350°C, a zatem zbyt niskiej dla przemysłu wysokotemperaturowego. W fazie badań są reaktory wysokotemperaturowe (ang. very-high temperature reactor, dalej VHTR), pozwalającymi osiągnąć temperaturę powyżej 950°C. Jednak horyzont ich komercjalizacji jest jeszcze mniej pewny[22].

[22] Obecnie na świecie pracują tylko dwa demonstracyjne reaktory wysokotemperaturowe - jeden o mocy 30MWt w Japonii i jeden o mocy 200MWe w Chinach. Więcej o fazie rozwoju reaktorów wysokotemperaturowych możesz przeczytać na stronie GEN IV International Forum.

### Rola technologii w dekarbonizacji przemysłu energochłonnego

**SMR będą pełniły rolę w dostarczaniu zeroemisyjnej energii elektrycznej na potrzeby przemysłu energochłonnego.** Będzie ona wykorzystywana do bezpośredniej elektryfikacji procesów przemysłowych czy np. produkcji różowego wodoru.

## 1.3.5. Elektryfikacja bezpośrednia

### Charakterystyka technologii

Technologie elektryfikacji bezpośredniej mogą zostać wykorzystane do produkcji ciepła wysokotemperaturowego przy wykorzystaniu energii elektrycznej. Niektóre zastosowania już wdrożono:

- w przemyśle szklarskim – wytapianie szkła w piecach elektrycznych;
- w przemyśle stalowym – przetapianie złomu w piecach łukowych.

Poniżej zestawiono technologie elektryfikacji bezpośredniej w zależności od poziomu dojrzałości technologicznej oraz zastosowań.

**Tabela 2** Technologie elektryfikacji bezpośredniej.

| Technologia | Parametry | Dojrzałość technologiczna | Zastosowanie | Ograniczenia |
|---|---|---|---|---|
| Pompy ciepła | Ciepło do 150-200°C; SCOP 1,5-6,0 Moduły do 20 MW | Technologia rozwijana dla temperatur powyżej 150°C | Produkcja wody i pary do 150°C | Ograniczenia technologiczne (zakres temperatur) |
| Kotły elektrodowe | Ciepło do 500°C; Sprawność do 99% Moce do 75 MW | Technologia dojrzała | Produkcja pary do 500°C (np. przemysł chemiczny) | Bariery ekonomiczne |
| Piece elektryczne | Ciepło do 1850°C; Sprawność do 99% Moce do 80 kW/m² | Istnieją aplikacje praktyczne (huty szkła) | Piece do kalcynacji (produkcja cementu), produkcji szkła i ceramiki | Niska wydajność w porównaniu do tradycyjnych technologii |

*Źródło: Opracowanie na podstawie raportu Agora Industry (2024), Direct electrification of industrial process heat An assessment of technologies, potentials and future prospects for the EU, dostępnego tutaj.*

**Tabela 2 cd.** Technologie elektryfikacji bezpośredniej.

| Technologia | Parametry | Dojrzałość technologiczna | Zastosowanie | Ograniczenia |
|---|---|---|---|---|
| Piece indukcyjne | Ciepło do 3000°C; Sprawność 75% Moce do 42 MW | Istnieją aplikacje praktyczne (hutnictwo) | Hutnictwo | Bariery ekonomiczne |
| Piece łukowe | Ciepło do 1800°C; Sprawność 40-75% Moce do 200 MW | Istnieją aplikacje praktyczne (przetapianie złomu) | Hutnictwo, produkcja stali wtórnej | Nie można zastosować do produkcji stali pierwotnej |
| Palniki plazmowe | Ciepło do 5000°C; Sprawność 50%-90% Moce do 8 MW | Wymaga badań i rozwoju dla nowych zastosowań przemysłowych | Możliwe zastosowanie np. w produkcji cementu | Technologia wymaga dalszych badań i rozwoju |
| Shock-wave heating | Ciepło 700-1000°C; Sprawność 90% Moce do 1-50 MW | Technologia w fazie badań i rozwoju | Możliwe zastosowanie np. w produkcji cementu | Technologia wymaga dalszych badań i rozwoju |

*Źródło: Opracowanie na podstawie raportu Agora Industry (2024), Direct electrification of industrial process heat An assessment of technologies, potentials and future prospects for the EU, dostępnego tutaj.*

### Ograniczenia

Dostępność energii elektrycznej

Elektryfikacja przemysłu energochłonnego (przynajmniej częściowa) jest już dziś technologicznie możliwa. Jednakże przeprowadzenie jej na szeroką skalę wymaga dużych, strategicznie zaplanowanych inwestycji w zeroemisyjne źródła energii elektrycznej.

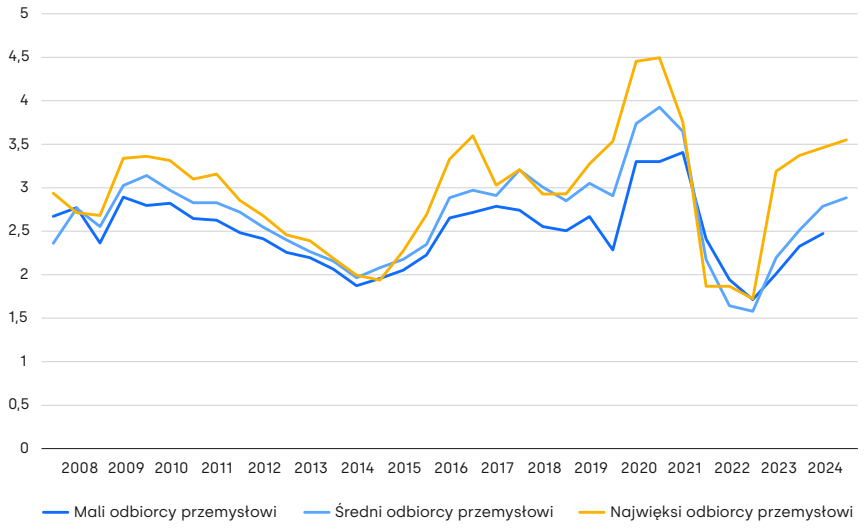
Koszt

Z perspektywy zakładów przemysłowych decyzja o inwestycji w technologię elektryfikacji zapadnie tylko wtedy, gdy koszt ciepła wytworzonego z energii elektrycznej będzie niższy niż utrzymanie istniejącej instalacji i alternatywnych technologii.

**Stosunek cen elektryczności i gazu a elektryfikacja bezpośrednia**

W perspektywie lat 2025-2040 opłacalność elektryfikacji bezpośredniej hamuje wysoki stosunek cen energii elektrycznej do cen gazu ziemnego (ang. *electricity to gas price ratio*). Obecnie wskaźnik ten wynosi około 2,5 przy uwzględnieniu jedynie cen energii elektrycznej i gazu ziemnego. Po doliczeniu opłat sieciowych oraz kosztów emisji $CO_2$ dla gazu ziemnego wskaźnik rośnie do poziomu 3,5. Dla przemysłu energochłonnego elektryfikacja staje się opłacalna przy poziomie 1,1 i niższym.

**Rysunek 4** Stosunek cen elektryczności i gazu dla przemysłu w Polsce.




*Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Eurostatu. Ceny w ujęciu z wyłączeniem VAT oraz innych podatków i opłat podlegających zwrotowi.*

Rozwój źródeł OZE o niskich kosztach krańcowych może obniżać hurtowe ceny energii elektrycznej. Jednocześnie transformacji energetycznej towarzyszy konieczność podnoszenia opłat w taryfie dystrybucyjnej ze względu na rosnące nakłady inwestycyjne na rozwój sieci elektroenergetycznych oraz koszty rynku mocy i rynku bilansującego. W efekcie całkowite koszty zakupu energii elektrycznej nie spadną znacząco.

Należy spodziewać się także znacznego wzrostu kosztów gazu ziemnego w związku z wejściem w życie systemu ETS2 i kurczącą się pulą uprawnień do emisji $CO_2$ w systemie ETS1. Trudno przewidzieć, czy łączne oddziaływanie tych czynników obniży wskaźnik do poziomu zapewniającego opłacalność elektryfikacji bezpośredniej.

W tym czasie konieczne jest zapewnienie przemysłowi wsparcia operacyjnego dla procesów elektryfikacji. Więcej na ten temat można przeczytać w opracowaniu Instytutu Reform pt. *Produkcja pod napięciem #2 Aspekty finansowe elektryfikacji przetwórstwa przemysłowego w Polsce.*

## Rola technologii w dekarbonizacji przemysłu energochłonnego

**Elektryfikacja bezpośrednia pozwala na dekarbonizację ciepła wysokotemperaturowego w wielu gałęziach przemysłu.** W branżach wymagających zastosowania zeroemisyjnego wodoru lub instalacji CCS/U może ona wspierać dekarbonizację wybranych części procesów przemysłowych. Taka dywersyfikacja technologiczna daje branżom energochłonnym możliwość optymalizacji kosztów energii.

# 2. Możliwości elektryfikacji branż energochłonnych

W tym rozdziale analizujemy techniczne możliwości elektryfikacji bezpośredniej w poszczególnych gałęziach przemysłu energochłonnego: chemicznym, cementowym, mineralnym (ceramika), szklarskim, stalowym oraz w produkcji metali nieżelaznych (aluminium, miedź, cynk i ołów).

## 2.1. Przemysł chemiczny

### Bariery technologiczne

**Największym wyzwaniem dekarbonizacji polskiego przemysłu chemicznego jest rola wodoru jako substratu w reakcjach chemicznych**, m.in. syntezie amoniaku czy metanolu. Obie substancje te są niezbędne do wytworzenia produktów końcowych, takich jak nawozy, leki czy kosmetyki. **Oznacza to, że przemysł chemiczny nie będzie mógł się zdekarbonizować bez zeroemisyjnego wodoru i paliw syntetycznych.**

### Potencjał elektryfikacji bezpośredniej

**Branża chemiczna ma duży potencjał do elektryfikacji bezpośredniej[23].** Potencjał ten leży w produkcji pary technologicznej o temperaturze do 500°C. Procesy produkcji pary technologicznej można elektryfikować poprzez:

- integrację przemysłowych pomp ciepła i układów odzysku ciepła[24];
- mechaniczną rekompresję pary (ang. mechanical vapour recompression, dalej MVR)[25]
- zastosowanie kotłów elektrodowych.

Technologie te są dojrzałe i komercyjnie dostępne. Przykładem jest instalacja przemysłowych pomp ciepła w zakładzie produkującym kwas cytrynowy w Austrii. Rozwiązania MVR-HP[26] (obejmujące układ pomp ciepła i mechanicznej rekompresji pary) były z kolei demonstrowane w zakładach spożywczych (2005 i 2021) oraz w zakładzie chemicznym (2014).

[23] *Decarbonizing the chemical industry*, mckinsey.com, 12 kwietnia 2023.

[24] Pompy ciepła raczej nie pokryją samodzielnie zapotrzebowania na ciepła o temperaturze powyżej 150-200°C. Jednakże stanowią one niezbędny element do efektywnego odzysku ciepła z instalacji.

[25] Technologia MVR pozwala na odzysk ciepła z pary technologicznej o niskiej temperaturze i ciśnieniu poprzez jej sprężanie.

[26] Rozwiązania MVR-HP dla przemysłu dostarcza m.in. norweska firma EPCON.

## 2.2. Produkcja cementu

### Bariery technologiczne

Produkcja cementu mierzy się ze szczególnym wyzwaniem[27] - ok. 60% jej emisji $CO_2$ to emisje procesowe. Ich źródłem jest proces kalcynacji kamienia wapiennego. Kamień wapienny ($CaCO_3$) to surowiec, z którego uzyskiwane jest wapno (CaO), czyli główny składnik cementu. W piecu cementowym kamień wapienny ($CaCO_3$) rozkłada się na wapno (CaO) i dwutlenek węgla ($CO_2$). **Oznacza to, że dekarbonizacja sektora cementowego wymaga technologii CCS/U.**

Jednocześnie prowadzone są badania nad produkcją cementu z alternatywnych surowców, np. krzemianów ($CaMgO_6Si_2$)[28]. Brak zawartości węgla pierwiastkowego w tych materiałach przekłada się na brak emisji procesowych $CO_2$. Skalowalność i efektywność takich rozwiązań wymagają jednak weryfikacji. Dlatego do 2040 roku strategia branży cementowej powinna opierać się na bardziej dojrzałych technologiach, np. CCS/U. Nie oznacza to jednak rezygnacji z działalności badawczo-rozwojowej, która może doprowadzić do wypracowania nowych rozwiązań do wdrożenia w późniejszym horyzoncie (2040-2050).

[27] Więcej o dekarbonizacji produkcji cementu możesz przeczytać w opracowaniu Joint Research Centre.

[28] Rozwiązanie to badane jest m.in. przez firmę Brimestone.

### Potencjał elektryfikacji bezpośredniej

**Branża cementowa ma umiarkowany potencjał do elektryfikacji bezpośredniej.** Emisje $CO_2$ ze spalania paliw kopalnych w piecach cementowych (~40%) są mniejsze niż emisje procesowe (~60%). Emisje te można ograniczyć dzięki wymianie tradycyjnych pieców cementowych na obrotowe piece elektryczne. Technologia ta jest już dojrzała i stopniowo komercjalizowana[29].

Bezpośrednia elektryfikacja pieców cementowych zwiększyłaby efektywność wychwytu $CO_2$ w instalacjach CCS/U. Wzrost efektywności CCS/U wynika w tym przypadku ze zwiększenia koncentracji dwutlenku węgla w spalinach z pieca elektrycznego.

[29] Dedykowane obrotowe piece dla przemysłu rozwija m.in. VTT.

## 2.3. Produkcja ceramiki

### Bariery technologiczne

Przemysł ceramiczny wymaga ciepła wysokotemperaturowego i generuje emisje procesowe. Odpowiadają one za ok. 20% bezpośrednich emisji $CO_2$ sektora. **Całkowita eliminacja emisji procesowych z przemysłu ceramicznego wymaga lepszego recyklingu materiałów oraz zastosowania technologii CCS/U[30].**

[30] Furszyfer Del Rio, D. D., Sovacool, B. K., Foley, A. M., Griffiths, S., Bazilian, M., Kim, J., & Rooney, D. (2022). *Decarbonizing the ceramics industry: A systematic and critical review of policy options, developments and sociotechnical systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 157, Article 112081.

### Potencjał elektryfikacji bezpośredniej

Spalanie paliw kopalnych odpowiada za około 80% bezpośrednich emisji $CO_2$ w przemyśle ceramicznym. Emisje te można zredukować poprzez elektryfikację pieców ceramicznych. **Oznacza to, że potencjał elektryfikacji bezpośredniej w branży ceramicznej jest istotny.**

Rozwiązania hybrydowe

Emisyjność tradycyjnych pieców ceramicznych z palnikami gazowymi można zmniejszyć poprzez częściową elektryfikację:

- wstępny podgrzew powietrza przez grzałki elektryczne;
- odzysk ciepła ze spalin przez pompy ciepła;
- suszenie mikrofalowe.

Cały układ może stać się zeroemisyjny, jeśli gaz ziemny zastąpimy biometanem lub zastosujemy specjalne palniki wodorowe. Takie podejście pozwala w dużym stopniu wykorzystać istniejącą infrastrukturę energetyczną.

Piece elektryczne

W pełni elektryczne piece stosuje się już w małych zakładach rzemieślniczych do produkcji naczyń ceramicznych. Wbudowane tam grzałki elektryczne pozwalają osiągnąć temperatury wypalania rzędu 1200°C.

Do produkcji ceramiki budowlanej (np. cegieł) nie wykorzystuje się pieców elektrycznych. Aby to zmienić, istniejące rozwiązania elektryfikacyjne należy dostosować do skali i tempa produkcji dużych zakładów przemysłowych.

## 2.4. Produkcja szkła

### Bariery technologiczne

Przemysł szklarski także potrzebuje ciepła wysokotemperaturowego i generuje emisje procesowe. Odpowiadają one za ok. 20% bezpośrednich emisji $CO_2$ w sektorze. **Eliminacja emisji procesowych z przemysłu szklarskiego wymaga lepszego recyklingu szkła oraz zastosowania technologii CCS/U.**

### Potencjał elektryfikacji bezpośredniej

Około 80% emisji bezpośrednich $CO_2$ pochodzi ze spalania paliw kopalnych w tradycyjnych piecach szklarskich. **Zastąpienie ich piecami elektrycznymi zasilanymi zeroemisyjną energią elektryczną[31] pozwoli istotnie obniżyć emisje i uwolnić potencjał elektryfikacji bezpośredniej w przemyśle szklarskim.**

W Europie działają już huty szkła z piecami elektrycznym (m.in. w Polsce w Działdowie, we Francji w Guimerville i Cognac). Są one wykorzystywane przede wszystkim do produkcji opakowań o małych gabarytach, takich jak np. butelki. Piece te zwykle używane są do produkcji czystego szkła, z niskim udziałem materiału z recyklingu.

Najistotniejszym ograniczeniem skalowania tej technologii jest niższa wydajność nominalna pieców elektrycznych w porównaniu do pieców tradycyjnych[32]. Piece elektryczne nie są także przystosowane do produkcji szkła do specjalnych zastosowań, np. zapewniających ochronę przed promieniowaniem UV. Dla tego rodzaju szkła bada się rozwiązania hybrydowe, opierające się np. na energii elektrycznej (~50-80%) oraz biogazie i wodorze. Przykładem jest piec hybrydowy we Włoszech w Abbiategrasso, wykorzystujący miks energii elektrycznej i gazu ziemnego.

[31] FEVE The European Container Federation (2024), *One destinaton, multiple pathways:How the European container glassindustry is decarbonising glassmaking.*

Glass Alliance Europe (2019), *The European glass sector contribution to a climateneutral economy.*

[32] Tradycyjne piece szklarskie posiadają wydajność rzędu 1000 ton szkła na dzień. Z kolei wydajność pieców elektrycznych nie przekracza 200 ton/dzień.

## 2.5. Produkcja stali

### Bariery technologiczne

Proces produkcji stali w tradycyjnym zakładzie stalowym[33] można podzielić na dwie główne części:

- **Redukcja rud żelaza w wielkim piecu:** Do wielkiego pieca od góry wprowadzany jest koks oraz wsad (odpowiednio przygotowane rudy żelaza), a od dołu – gorące powietrze. W wysokiej temperaturze w piecu zachodzą reakcje chemiczne, w wyniku których powstaje tzw. surówka hutnicza, czyli stop żelaza z wysoką zawartością węgla i zanieczyszczeń[34].
- **Przetapianie surówki na stal w konwertorze tlenowym:** Surówka hutnicza jest poddawana działaniu strumienia tlenu w wysokiej temperaturze, aby usunąć nadmiar węgla i zanieczyszczeń. Produktem końcowym procesu jest ciekła stal.

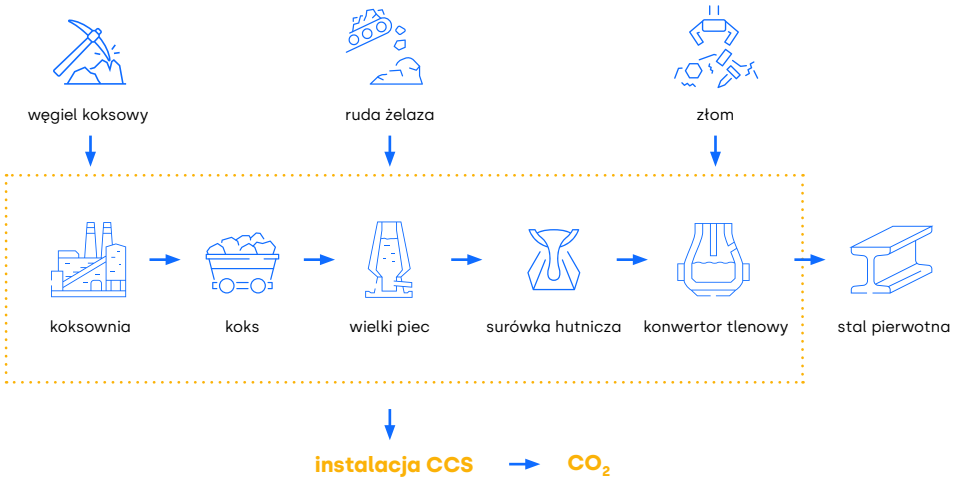
Tradycyjny proces produkcji stali jest bardzo emisyjny, a znaczną część emisji stanowią procesowe emisje $CO_2$[35]. **Zdekarbonizowanie tradycyjnego zakładu stalowego przy minimalnej ingerencji w istniejącą infrastrukturę wymaga zatem wykorzystania technologii CCS/U.**

[33] Mokrzycki, E., Gawlik, L., (2024), *Decarbonisation determinants of the steel industry*, Gospodarka Surowcami Mineralnymi.

[34] Na tym etapie do kąpieli metalowej mogą być dodawane także specjalne dodatki stopowe, które w określony sposób wpłyną na skład chemiczny i właściwości otrzymanej stali.

[35] Produktem ubocznym produkcji surówki jest gaz wielkopiecowy - mieszanka CO, $CO_2$ i $H_2$.

**Rysunek 5** Dekarbonizacja produkcji stali pierwotnej: istniejąca infrastruktura i technologia CCS/U.




*Źródło: Opracowanie własne Instytutu Reform*

### Potencjał elektryfikacji bezpośredniej

**Potencjał elektryfikacji bezpośredniej w przemyśle stalowym jest umiarkowany. Pełna elektryfikacja jest możliwa w przypadku produkcji stali z recyklingu (stali wtórnej).** W przypadku stali pierwotnej (wytwarzanej bezpośrednio z rud żelaza) oprócz znacznych ilości energii elektrycznej potrzebny jest zeroemisyjny wodór.

Poniżej zestawiono metody produkcji stali (zarówno istniejące, jak i będące w fazie badawczo-rozwojowej), które integrują technologie elektryfikacji bezpośredniej.

## Recykling stali w piecu łukowym

Piec łukowy (ang. *electric arc furnance*, dalej EAF) to istniejąca technologia, która do topienia materiału wykorzystuje łuk elektryczny powstający między elektrodami. Piece łukowe wykorzystywane są do przetapiania i rafinacji złomu. Stanowią więc istotny element łańcucha recyklingu metali. Obecnie piece łukowe odpowiadają za 37% polskich mocy produkcyjnych i za 51,2% produkcji (dane z 2023 roku)[36].

[36] Sobkiewicz, M., Krawiec, K. (2025), *Przemysł net-zero. Dekarbonizacja bez utraty konkurencyjności*, Policy Paper, nr 4, Polski Instytut Ekonomiczny, Warszawa.

## H2 DRI-EAF

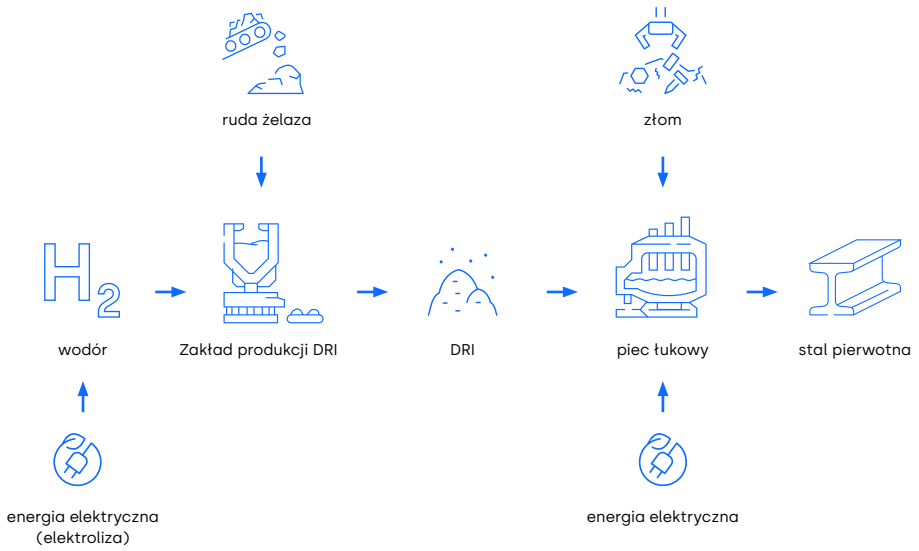
Piece łukowe nie są w stanie wyprodukować stali bezpośrednio z rud żelaza, jednak możliwe jest przetapianie w nich żelaza bezpośrednio zredukowanego (ang. *direct reducted iron,* dalej DRI).

Żelazo bezpośrednio zredukowane, podobnie jak surówka hutnicza, wytwarzane jest w procesie redukcji rud żelaza. Proces ten wymaga obecności gazu redukującego. W tradycyjnych rozwiązaniach gaz redukujący (CO) pochodzi z węgla lub gazu. Technicznie możliwe jest jednak zastosowanie zielonego wodoru, co eliminuje procesowe emisje $CO_2$.

Oznacza to, że możliwe jest istotne zmniejszenie emisyjności produkowanej stali poprzez zastosowanie zero- lub niskoemisyjnej metody produkcji DRI, a następnie przetopienie go w piecu łukowym (zasilanym „czystą" energią elektryczną). Rozwiązaniem tego typu jest $H_2$ DRI-EAF (ang. *Hydrogen Direct Reduced Iron - Electric Arc Furnace*)[37], czyli produkcja żelaza bezpośrednio zredukowanego przy wykorzystaniu zeroemisyjnego wodoru i jego przetapianie w piecu łukowym.

[37] Hasanbeigi, A., Springer, C., Irish, H., (2024), *Green $H_2$-DRI Steelmaking:15 Challenges and Solutions*, Global Efficiency Intelligence.

**Rysunek 6** Dekarbonizacja produkcji stali pierwotnej: H2 DRI-EAF.




*Źródło: Opracowanie własne Instytutu Reform*

Technologia $H_2$ DRI-EAF wymaga istotnych inwestycji w produkcję zielonego wodoru (nowe elektrolizery, OZE, infrastruktura transportu wodoru). Potrzebne są także prace badawczo-rozwojowe, które pozwolą ocenić wpływ redukcji rud żelaza przy użyciu wodoru na właściwości chemiczne i fizyczne otrzymywanej stali. Wiedza ta jest niezbędna zakładom produkującym stal specjalną, która musi charakteryzować się odpowiednim składem chemicznym i określonymi parametrami fizycznymi.

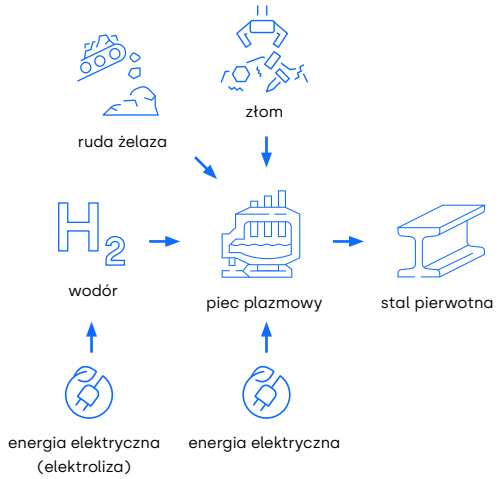
## Redukcja plazmą wodorową

Technologia redukcji plazmy wodorowej (ang. *hydrogen plasma reduction,* dalej HPR) jest obecnie w fazie badawczo-rozwojowej[38]. Prace koncentrują się na zbadaniu możliwości jednoczesnej redukcji rud żelaza i przetopienia ich do stali w jednym procesie (czyli w jednej instalacji) przy dzięki wykorzystaniu wodoru w stanie plazmy. Analizowane są reakcje chemiczne i fizyczne zachodzące w rudach żelaza pod wpływem plazmy wodorowej oraz ich wpływ na właściwości produkowanej stali.

Podobnie jak w metodzie $H_2$ DRI-EAF, w technologii HPR potrzebujemy wodoru i energii elektrycznej. Główna różnica polega na tym, że HPR wymaga tylko jednego pieca (ang. *electric arc H-plasma furnace*), podczas gdy w przypadku $H_2$ DRI-EAF potrzebujemy dwóch oddzielnych instalacji: zakładu do produkcji DRI oraz pieca łukowego.

[38] Prace badawcze nad technologią redukcji plazmą wodorową prowadzone są m.in. przez Max Planck Institute.

**Rysunek 7** Dekarbonizacja produkcji stali pierwotnej: redukcja plazmą wodorową.




*Źródło: Opracowanie własne Instytutu Reform*

Z uwagi na wczesny etap prac badawczo-rozwojowych, technologia ta najprawdopodobniej nie zostanie skomercjalizowana do 2040 roku. Szansa na zastosowanie jej w przemyśle stalowym pojawi się dopiero w późniejszym okresie, o ile tempo i efekty badań na to pozwolą.

## Elektroliza stali

Elektroliza stali (ang. *Molten Oxide Electrolysis*, dalej MOE)[39] wykorzystuje proces elektrolizy do redukcji rud żelaza. Ruda rozpuszczona jest w roztworze elektrolitu, przez który przepuszczany jest prąd. Produktami tej reakcji są ciekłe żelazo i czysty tlen. Technologia elektrolizy stali MOE również jest na etapie wczesnych prac badawczych. Dlatego mało prawdopodobne jest, aby weszła na rynek komercyjny przed 2040 rokiem.

[39] Krótką charakterystykę technologii MOE znajdziesz w opracowaniu U.S. Department of Energy oraz materiałach Boston Metal.

## 2.6. Produkcja aluminium

### Bariery technologiczne

Produkcja aluminium[40] składa się z dwóch etapów:

- **pozyskanie tlenku glinu ($Al_2O_3$) z rud boksytu.** Proces ten obejmuje szereg reakcji chemicznych i procesów fizycznych. Największe emisje $CO_2$ pochodzą z opalania pieców do kalcynacji, w których potrzebujemy temperatury rzędu 1100°C. Stanowią one ok. 15% całkowitych emisji $CO_2$ przy produkcji aluminium.
- **elektroliza aluminium.** Aluminium wytwarzane jest w procesie elektrolizy tlenku glinu ($Al_2O_3$) w temperaturze ok. 960°C. Proces generuje procesowe emisje $CO_2$[41], stanowiące one ok. 25% całkowitych emisji $CO_2$. Pozostała część (~60%) to emisje pośrednie, związane z wytwarzaniem energii elektrycznej do procesu elektrolizy.

[40] Przekrojowy obraz produkcji aluminium zobaczysz na tym filmie. Więcej szczegółów możesz znaleźć w tej publikacji Komisji Europejskiej.

[41] Tlenek glinu rozkłada się na glin i tlen. Tlen ten reaguje z węglem z anody węglowej, tworząc dwutlenek węgla.

**Główną barierą technologiczną pełnej dekarbonizacji procesu produkcji aluminium jest redukcja procesowych emisji $CO_2$.** Wymaga to zastosowania technologii CCS/U lub alternatywnego procesu elektrolizy. Nowe technologie elektrolizy aluminium są nadal w fazie badawczo-rozwojowej. Jeden z pierwszych projektów pilotażowych – ELYSIS – prowadzony jest w Kanadzie.

### Potencjał elektryfikacji bezpośredniej

**Potencjał elektryfikacji bezpośredniej w produkcji aluminium jest duży.** Technologie elektryfikacji bezpośredniej już dziś występują stosowane są sektorze aluminiowym, w postaci elektrolizy aluminium. Dostarczanie zeroemisyjnej energii elektrycznej do tego procesu pozwoli wyeliminować emisje pośrednie (~60%). Oznacza to, że w perspektywie krótko- i średnioterminowej możliwa jest znacząca redukcja emisji $CO_2$ z produkcji aluminium poprzez rozwój nowych mocy OZE.

Co więcej, proces pozyskiwania tlenku glinu z rud boksytu również może zostać zelektryfikowany. W tym celu tradycyjne piece do kalcynacji należałoby zastąpić obrotowymi piecami elektrycznymi zasilanymi czystą energią. Taka zmiana technologiczna pozwoliłaby zredukować ok. 15% emisji sektora.

**Czy produkcja aluminium może być elastyczna i korzystać z nadwyżek energii?**

Dzięki elastycznemu zużyciu energii można szybciej zwiększyć udział OZE w całkowitym zużyciu energii elektrycznej. W praktyce oznacza to, że w czasie nadwyżek energii z OZE zwiększamy zużycie, a w okresach niskiej generacji – ograniczamy je.

Jak większość procesów przemysłowych, elektroliza aluminium wymaga utrzymania stałej temperatury i innych parametrów pracy. Jednakże istnieje potencjał do zmian zużycia energii na poziomie ±20÷30% bez zaburzenia pracy huty aluminium. Rozwiązania takie bada m.in. EnPot.

## 2.7. Produkcja innych metali nieżelaznych

### Bariery technologiczne

**Metale nieżelazne (miedź, cynk, ołów) wymagają wysokich temperatur.** Choć specyfika procesów obróbki poszczególnych metali jest inna, możemy wyróżnić dla nich wspólną grupę rozwiązań dekarbonizacyjnych:

- piece elektryczne;
- piece wodorowe;
- rozwiązania hybrydowe – piece elektryczne z palnikami na wodór lub biometan;
- rafinacja elektrolityczna – produkcja metali w procesie elektrolizy.

### Potencjał elektryfikacji bezpośredniej

**Potencjał elektryfikacji bezpośredniej w produkcji metali nieżelaznych jest znaczący.** Piece elektryczne i rafinacja elektrolityczna to dojrzałe technologie. Wyzwaniem pozostaje ich skalowanie i komercjalizacja[42].

[42] Instalacje hutnicze możliwe do zasilania np. energią elektryczną lub wodorem zapewnia m.in. firma FLS.

## 2.8. Obróbka plastyczna metali

### Bariery technologiczne

Po wytworzeniu metalu konieczne jest nadanie mu odpowiedniego kształtu. W tym celu prowadzona jest obróbka plastyczna - np. walcowanie. Zazwyczaj jest ona przeprowadzana „na gorąco". W takiej metodzie obróbki temperatura procesu musi być wyższa niż temperatura rekrystalizacji metalu (dla stali to ponad 800°C). **Metal musi być więc podgrzany do odpowiednio wysokiej temperatury przed dokonaniem obróbki.**

### Potencjał elektryfikacji bezpośredniej

**Potencjał elektryfikacji bezpośredniej w obróbce plastycznej metali jest na wysoki.** Podgrzanie metalu do wymaganej temperatury można przeprowadzić w piecach elektrycznych lub indukcyjnych.

# 3. Unijnie strategie i akcenty we wsparciu dekarbonizacji przemysłów energochłonnych

Kryzys energetyczny ujawnił duże uzależnienie unijnego przemysłu od paliw kopalnych. Skokowe wzrosty cen paliw i energii oraz ryzyko przerwania łańcuchów dostaw zmusiły Unię Europejską do poszukiwania systemowych rozwiązań. Przemysł zgłosił swoje oczekiwania w tzw. Deklaracji Antwerpskiej, co zostało uwzględnione przez Komisję w ramach tzw. serii dialogów na temat czystej transformacji[43].

Konieczność stworzenia systemowych ram dla dekarbonizacji przemysłu szczególnie mocno wybrzmiała w raporcie Mario Draghiego. Raport stał się dokumentem kierunkowym dla programów Komisji drugiej kadencji Ursuli von der Leyen. W odpowiedzi opracowano pakiet dokumentów strategicznych, które stanowią fundament dla dekarbonizacji i wzmocnienia konkurencyjności europejskiego przemysłu energochłonnego. Poniżej przedstawiamy najważniejsze z nich.

[43] Zobacz podsumowanie wniosków z dialogów tutaj.

## 3.1. Kompas Konkurencyjności

Kompas Konkurencyjności to dokument Komisji Europejskiej o charakterze programowym i narracyjnym. Wskazuje, że wsparcie konkurencyjności europejskiej produkcji powinno koncentrować się na wzmocnieniu innowacji, dekarbonizacji oraz bezpieczeństwa energetycznego. W ramach Kompasu Konkurencyjności pojawiły się plany działań skierowane do sektora produkcji stali (marzec 2025 rok[44]) oraz dla chemikaliów (lipiec 2025 rok[45]).

Wytyczne dla stali zakładają:

- zwiększenie dostępności taniej, niskoemisyjnej energii;
- wprowadzanie rozwiązań gospodarki o obiegu zamkniętym, m.in. zwiększenie podaży udziału stali z recyklingu w produkcji unijnej;
- zapobieganie ucieczce emisji (ang. *carbon leakage*) poprzez wzmocnienie mechanizmu CBAM (ang. Carbon Border Adjustment Mechanism)[46] oraz zaostrzenie kontroli handlowej[47];
- finansowe odciążenie projektów dekarbonizacyjnych (*ang. de-risking*) przy wykorzystaniu unijnych instrumentów finansowych.

[44] Europejski plan działania w zakresie stali i metali dostępny tutaj.

[45] Plan działania na rzecz europejskiego przemysłu chemicznego dostępny tutaj.

[46] Po wzmocnieniu, mechanizm CBAM miałby obejmować nie tylko surową stal i aluminium, ale też wyroby pochodne takie jak części samochodowe, puszki aluminiowe, konstrukcje stalowe.

[47] Planowane są zmiany regulacyjne, które zapobiegałyby wypieraniu unijnej stal i aluminium przez produkty z importu niespełniające europejskich standardów klimatycznych.

Plan działań dla branży chemicznej obejmuje:

- ustanowienie sojuszu na rzecz chemikaliów o krytycznym znaczeniu w celu przeciwdziałania zamykaniu zakładów o strategicznej roli dla gospodarki;
- podejmowanie środków ochrony handlu mających zapewnić uczciwą konkurencję;
- zachęty podatkowe zwiększające popyt na chemikalia o niskim śladzie węglowym;
- pakiet uproszczeń regulacyjnych zmniejszający obciążenia administracyjne, np. w obszarze etykietowania.

## 3.2. Pakt dla czystego przemysłu (CID)

Najważniejszym dokumentem ramowym jest Pakt dla czystego przemysłu (ang. *Clean Industrial Deal*, dalej CID), opublikowany w lutym 2025 roku. Jest to strategia dekarbonizacji przemysłu, zakładająca zwiększanie konkurencyjności i rozwój czystych technologii. Do CID będą nawiązywać kolejne dokumenty legislacyjne i operacyjne (zalecenia), które mają pomóc krajom członkowskim w budowaniu nowego podejścia.

CID koncentruje się na:

- obniżaniu kosztów energii, w szczególności przez rozwój OZE
- poprawie dostępu do finansowania czystej produkcji w krajach członkowskich
- wspieraniu popytu na czyste technologie produkowane w Unii,
- promowaniu gospodarki o obiegu zamkniętym.

Wszystkie inicjatywy realizowane w ramach CID mają doprowadzić do zwiększenia wskaźnika elektryfikacji całej gospodarki UE z 21,3% (stan na 2022 rok) do 32% w 2030 roku. Jest to ambitny cel, w którym przemysł jest tylko jednym z sektorów wymagających przyspieszonej elektryfikacji.

Obniżenie cen energii, które są kluczem do zwiększenia konkurencyjności sektorów energochłonnych, nie jest łatwe w realiach wolnego rynku. Długoterminowym rozwiązaniem jest zwiększenie udziału OZE i pełna integracja rynków energii. W krótkiej perspektywie na ceny energii mogą pozytywnie wpłynąć:

- pilotażowy program dotyczący korporacyjnych umów zakupu energii elektrycznej (PPA) o wartości 500 mln euro, z częścią gwarancji udzielanych przez Europejski Bank Inwestycyjny;
- uproszczenie zasad pomocy publicznej (zobacz dalej CISAF);
- wytyczne dla państw członkowskich w zakresie projektowania kontraktów różnicowych (CfD), w tym ich łączenia z PPA, zgodnie z zasadami pomocy publicznej;
- zwiększenie dostępu do energii z OZE poprzez wzmocnienie wymiany transgranicznej i alokacji zdolności przesyłowych;
- zalecenie dla państw członkowskich dotyczące obniżenia poziomu opodatkowania energii elektrycznej w ramach regulacji krajowych (vs opodatkowanie paliw kopalnych[48]).
- uruchomienie pilotażowej ogólnounijnej aukcji na zelektryfikowane ciepło procesowe[49] o wartości 1 mld euro z Funduszu Innowacyjności, obejmującej ciepło niskotemperaturowe (powyżej 100°C) i wysokotemperaturowe (powyżej 400°C). Pierwsza aukcja, która odbędzie się po koniec roku 2025 będzie miała formę stałej premii, proporcjonalnej do wykazanej redukcji emisji $CO_2$ przez okres maksymalnie 5 lat.

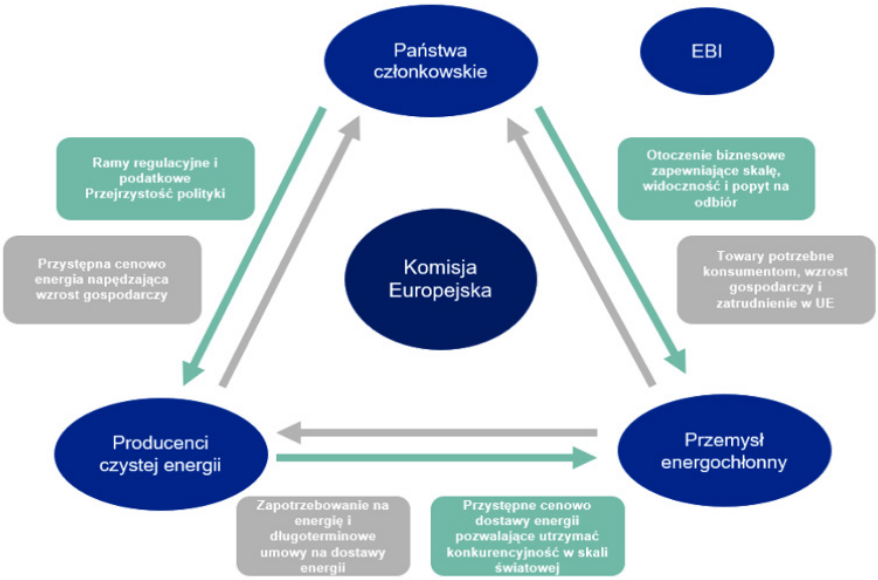
[48] Zmiany wytycznych dla opodatkowania energii na poziomie unijnym (modyfikacja Dyrektywy o opodatkowaniu Energii z 2003 roku) nie znalazły poparcia wszystkich państw członkowskich.

[49] Zobacz zasady udziału w aukcji tutaj.

## 3.3. Plan działania na rzecz przystępnej cenowo energii

Plan działania na rzecz przystępnej cenowo energii (ang. *Affordable Energy Action Plan*) koncentruje się na długoterminowym obniżeniu kosztów energii elektrycznej, za pomocą interwencji wymienionych wyżej, w części dotyczącej CID. Zauważa jednocześnie, że konieczne jest obniżenie ryzyka inwestycyjnego dla przemysłu energochłonnego, dotyczącego pewności dostaw energii i wysokości cen, koniecznego do np. inwestycji w elektryfikację. Rozwiązaniem ma być projekt Trójstronnej umowy sektora publicznego, producentów energii i odbiorców przemysłowych, dzięki której podmioty te będą lepiej koordynowały między sobą publicznie potrzeby dotyczące produkcji i popytu na zieloną energię. Efektem tej koordynacji mogą być np. długoterminowe umowy na zakup energii, przyjęcie zobowiązania do przestrzegania długoterminowego, wiarygodnego i szczegółowego harmonogramu aukcji na potrzeby projektów dotyczących czystej energii oraz stosowanie wspierających formuł przetargowych czy przyjęcie umów sektorowych.

**Rysunek 8** Plan działania na rzecz przystępnej cenowo energii.




*Źródło: Komisja Europejska*[50]

[50] Tekst Planu Działania na Rzecz Przystępnej Cenowo Energii jest dostępny tutaj.

## 3.4. Ramowe zasady udzielania pomocy publicznej

Opublikowane w czerwcu 2025 roku nowe wytyczne dla wnioskowania o pomoc publiczną dla przemysłu (ang. *Clean Industrial Deal State Aid Framework*, dalej CISAF) obowiązywać będą do 2030 roku i odzwierciedlają priorytety CID. Wprowadzają uproszczone procedury, dzięki którym notyfikacje będą rozpatrywane przez Komisję Europejską szybciej niż w standardowych postępowaniach. W ramach walki z wysokimi cenami energii dla przemysłu pozwalają państwom członkowskim[51] na:

- dopłaty do kosztów energii elektrycznej dla firm energochłonnych w gałęziach o wysokiej ekspozycji na globalny rynek;
- W ramach dopłat firmy mogą wnioskować o wsparcie do 50% rocznego zużycia energii

[51] Pomoc nie jest przyznawania automatycznie, państwa zgłaszają daną pomoc publiczną do Komisji, a ona sprawdza czy nie zaburzy to unijnego rynku wewnętrznego. Jeśli takie zaburzenie nie ma miejsca, pomoc zostaje zatwierdzona.

i do 50% średniorocznej ceny hurtowej (przy założeniu, że po dopłacie cena energii nie spadnie poniżej 50 euro/MWh, a połowa otrzymanej pomocy zostanie zainwestowana w dekarbonizację);

- przyznanie firmom bonusu w wysokości 10 proc. kwoty wsparcia, jeśli beneficjent zainwestuje 75 proc. dodatkowej sumy w dekarbonizację i zarazem 80 proc. inwestycji przyczyni się do uelastycznienia jego popytu na prąd.

CISAF zwiększa też dostępną pomoc publiczną na projekty wykorzystujące niskoemisyjny lub zielony wodór, a także umożliwia zastosowanie nowych kryteriów dla projektów CCS i elektryfikacji ciepła procesowego. Jest to szczególnie ważne dla przemysłu hutniczego, chemicznego i cementowego.

Nowe zasady zakładają też możliwość wyższego dofinansowania inwestycji w mniej rozwiniętych krajach i regionach Unii Europejskiej. System ten częściowo niweluje nierówności, dopuszczając wyższe wsparcie inwestycji zgodnie z mapami pomocy regionalnej. Polska – jako kraj o bardziej rozwiniętej gospodarce w porównaniu do najmniej rozwiniętych państw UE – nie kwalifikuje się do najwyższych progów dofinansowania. Jednak w zależności od regionu (np. Polska Wschodnia) może korzystać z podwyższonych limitów wsparcia.

## 3.5. Harmonogram planowanych działań

Operacjonalizacja CID odbywa się poprzez unijne dokumenty i zalecenia. Kluczowe inicjatywy przewidziane na lata 2025-2026 przedstawiono poniżej.

**Tabela 3** Kluczowe inicjatywy dla dekarbonizacji przemysłu energochłonnego przewidziane na lata 2025-2026.

| Perspektywa | Planowane działania |
|---|---|
| Q4 2025 | Akt w sprawie przyspieszenia rozwoju przemysłu |
| Q4 2025 | Zalecenie w sprawie opodatkowania energii |
| Q4 2025 | Wytyczne dotyczące projektowania CfD, w tym łączenia CfD i PPA |
| Q1 2026 | Plan działania na rzecz elektryfikacji |
| Q2 2026 | Bank Dekarbonizacji Przemysłu |
| Q4 2026 | Akt w sprawie gospodarki o obiegu zamkniętym |
| Q4 2026 | Wniosek ustawodawczy w sprawie rozszerzenia mechanizmu CBAM |

### 3.5.1. Akt w sprawie przyspieszenia rozwoju przemysłu

Akt w sprawie przyspieszenia rozwoju przemysłu (ang. *Industrial Accelerator Act*) ma koncentrować się na usprawnieniu procedur związanych z wydawaniem pozwoleń dla nowych inwestycji przemysłowych. Ma stanowić odpowiedź na problem braku konkurencyjności cenowej europejskich produktów oraz pobudzać popyt na nie. Według zapowiedzi Komisji, częścią tego rozwiązania będzie wprowadzenie nowych kryteriów w przetargach publicznych i prywatnych, premiujących produkty wytworzone w Unii.

### 3.5.2. Zalecenia w sprawie opodatkowania energii

Kształt zaleceń nie jest jeszcze znany, ale mogą potencjalnie obejmować obniżenie podatków i opłat od energii elektrycznej do minimalnych poziomów przewidzianych w prawie UE oraz stosowanie niższych stawek VAT, aby zmniejszyć koszty dla gospodarstw domowych i przemysłu. Prawdopodobnie podkreślane będzie także usuwanie dodatkowych obciążeń z rachunków za energię, wprowadzanie ulg dla odbiorców wrażliwych oraz przejrzystość w strukturze cen. Rekomendacje mogą dodatkowo zachęcać do ulg podatkowych dla czystej energii i stopniowej harmonizacji opodatkowania w całej UE. Media informują[52], że Komisja przygotowuje plany zachęt podatkowych dla firm korzystających z energii elektrycznej lub zielonych technologii.

[52] Christian Ernhede, *Commission to push for tax breaks to spur energy transition*, endseurope.com, 18 luty 2025

### 3.5.3. Plan działania na rzecz elektryfikacji

Plan działania na rzecz elektryfikacji (ang. *Electrification Action Plan*) nie został jeszcze opublikowany przez Komisję Europejską. Nie wiadomo więc, w jaki sposób dokument będzie odnosił się do dekarbonizacji przemysłu. Prawdopodobne jest jednak, że zaproponuje narzędzia zarządcze (ścieżki, cele, wskaźniki, oceny dotychczasowych polityk) pozwalające monitorować i zarządzać zwiększaniem poziomu elektryfikacji gospodarek krajów członkowskich oraz poszczególnych sektorów. Firmy i organizacje zrzeszone w Sojuszu na rzecz Elektryfikacji *Electrification Alliance* postulują także, aby Komisja wyznaczyła w nim wiążące cele elektryfikacji na lata 2030 i 2040 dla Unii Europejskiej (wskaźnik 32% wspomniany wcześniej w CID[53] ma jedynie charakter kierunkowy).

[53] Zobacz rozdział 3.2.

### 3.5.4. Bank Dekarbonizacji Przemysłu

W ramach wsparcia finansowego CID zapowiedziano utworzenie Banku Dekarbonizacji Przemysłu z budżetem 100 mld euro. Jego finansowanie ma opierać się na dostępnych środkach z Funduszu Innowacyjności, dodatkowych dochodach pochodzących z części systemu handlu uprawnieniami do emisji (EU ETS) oraz programu InvestEU. Formalna propozycja ma pojawić się na początku 2026 roku.

Będzie ona skoordynowana z propozycją, która pojawiła się w projekcie nowej unijnej perspektywy finansowej (WRF 2028-34) dotyczącej stworzenia Europejskiego Funduszu Konkurencyjności. Bank Dekarbonizacji przemysłu będzie zarządzany w ramach tego Funduszu.

### 3.5.5. Fundusze unijne na dekarbonizację

Planowany budżet Funduszu Konkurencyjności to 410 mld euro, z czego 4,14 mld euro ma zostać przeznaczone na dekarbonizację przemysłu. Znacząca część tej kwoty pochodzić będzie z istniejącego już Funduszu Innowacyjności. Fundusz Innowacyjności zostanie z kolei powiązany z programem Horyzont Europa (alokacja 165 mld euro), obejmującym cały cykl rozwoju innowacji – od badań podstawowych, przez prace rozwojowe, aż po komercjalizację i skalowanie.

Środki z Europejskiego Funduszu Konkurencyjności mają wspierać rozwój przemysłu „Made in the EU", czystych technologii (ang. *cleantech*) oraz dekarbonizację przemysłu. Filar związany z dekarbonizacją przemysłu (*Support for Clean Transition and Industrial Decarbonisation*)[54] zakłada wsparcie na:

- projekty demonstracyjne nowych i innowacyjnych technologii dekarbonizacyjnych;
- projekty z zakresu poprawy efektywności energetycznej, magazynowania energii, DSR oraz integracji źródeł odnawialnych;
- projekty integrujące technologie zeroemisyjne, w tym inicjatywy na rzecz elektryfikacji przemysłu energochłonnego;
- projekty w zakresie produkcji i dystrybucji zrównoważonych paliw (np. paliw syntetycznych i biopaliw);
- projekty rozbudowy zdolności produkcyjnych i łańcucha dostaw dla europejskich technologii zeroemisyjnych;
- projekty wspierające rozwiązania gospodarki obiegu zamkniętego.

[54] Szczegółowe założenia znajdziesz w tym dokumencie Komisji Europejskiej w rozdziale 4.

W praktyce, większość środków z Funduszu Konkurencyjności trafi pośrednio na wsparcie czystych technologii w sektorach energochłonnych (środki na transformację energetyczną także przyczyniają się do dekarbonizacji przemysłu). To oznacza, że Komisja wysoko w hierarchii stawia wsparcie rozwoju niskoemisyjnych technologii – czyniąc fundusz najlepszym źródłem finansowania innowacyjnych rozwiązań opisanych w publikacji.

Nowa propozycja WRF zakłada także skokowy wzrost funduszy na infrastrukturę energetyczną w ramach narzędzia Connecting Europe Facility Energy (CEF Energy). Obejmuje ono finansowanie transeuropejskich sieci energetycznych (TEN-E) oraz interkonektorów dla energii elektrycznej, $CO_2$ i wodoru. Rozbudowa transgranicznych mocy przesyłowych będzie dodatkowo premiowana w ramach podstawowych funduszy unijnych, takich jak Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego.

Faktyczny wpływ tych środków na transformację sektorów energochłonnych w Polsce zależeć będzie jednak od jakości przygotowania (lub aktualizacji) krajowych założeń dla przesyłu energii i $CO_2$.

## 3.6. Akt w sprawie przemysłu neutralnego klimatycznie (NZIA)

Wdrożenie Net Zero Industry Act (NZIA) z 2024 roku ma doprowadzić do tego, by do 2030 roku co najmniej 40% strategicznych dla neutralności klimatycznej technologii powstawało w UE. Chodzi m.in. o wodór odnawialny, ogniwa paliwowe, baterie, panele fotowoltaiczne, turbiny wiatrowe, pompy ciepła, CCS/U czy elektrolizery. NZIA jest wdrażany poprzez wsparcie inwestycyjne i regulacyjne, uzupełnione przez konkretne narzędzia finansowe w ramach CID.

## 3.7. Implikacje unijnych aktów dla Polski

### Ambicje Unii Europejskiej pozostają wysokie

Nowe strategie unijne podtrzymują długofalowy cel neutralności klimatycznej do 2050 roku. Wskazują też, że dekarbonizacja ma być motorem wzrostu dla przedsiębiorstw. Jednocześnie identyfikują bariery dla transformacji przemysłu – wysokie koszty czystych technologii i powolne tempo ich rozwoju. Dostarczają narzędzi zarówno koncepcyjnych, jak i finansowych, aby zmierzyć się z tymi wyzwaniami.

Dla Polski głównym bodźcem do dekarbonizacji przemysłu jest działający od 2005 roku system EU ETS. Obecnie obejmuje on duże zakłady przemysłowe, które zobowiązane są do ponoszenia kosztów za zakup uprawnień do emisji $CO_2$. Od 2027 roku także mniejsze zakłady (o mocy poniżej 20MW) będą ponosić koszty emisji $CO_2$, przy czym będzie się to odbywać w sposób pośredni (w ramach ETS2). Opłaty za emisję zostaną bowiem uwzględnione w wyższych cenach paliw kopalnych. Równolegle w systemie ETS1 wycofywane będą bezpłatne uprawnienia do emisji. O wpływie tych zmian na przemysł przetwórczy i o tym, jak się do nich przygotować piszemy w naszej publikacji „Produkcja pod napięciem #2”.

### Szybki rozwój OZE jest niezbędny dla przemysłu energochłonnego

Wysoka emisyjność polskiej energii elektrycznej sprawia, że system ETS znacząco obciąża przemysł energochłonny, podnosząc koszty produkcji i ograniczając konkurencyjność. Mimo przyznawanych bezpłatnych uprawnień do emisji, stowarzyszenia branżowe zabiegają o dalsze ustępstwa. Wynika to m.in. z zaostrzenia celu redukcyjnego EU ETS do 2030 roku – z 43% do 62%. Mechanizm ten zakłada szybszą redukcję dostępnych uprawnień, co zwiększy ich jednostkową cenę. Nowe cele redukcyjne mogą także skutkować zmniejszeniem puli darmowych przydziałów uprawnień przyznawanych branżom energochłonnym[55].

Wprowadzenie mechanizmu CBAM (ang. *Carbon Border Adjustment Mechanism*) od roku 2026 oznacza też, że bezpłatne uprawnienia będą stopniowo zastępowane certyfikatami CBAM, których cena będzie powiązana ze średnią ceną uprawnień EU ETS. Pełne wygaszenie bezpłatnych uprawnień do emisji w sektorach objętych CBAM ma nastąpić w roku 2034. Do tego czasu, im więcej sektorów zostanie objętych mechanizmem, tym mniej darmowych uprawnień będzie dostępnych. Całkowite wygaśnięcie emisji netto w sektorach objętych ETS nastąpi w roku 2039.

Krajowe decyzje dotyczące tempa transformacji energetycznej – w szczególności rozwoju OZE i poprawy efektywności energetycznej – mają zatem kluczowe znaczenie dla spadku cen energii i konkurencyjności przemysłów energochłonnych. Każde opóźnienie w integracji OZE do systemu elektroenergetycznego lub blokada w rozwoju własnych instalacji przez przemysł oznacza realną utratę pozycji krajowych firm na europejskim i globalnym rynku.

### Polski przemysł potrzebuje dostępu do funduszy unijnych

Dla polskiego przemysłu kluczowe będzie zapewnienie rzeczywistego dostępu do środków z Europejskiego Funduszu Konkurencyjności (EFK) w oparciu o strukturalne przewagi konkurencyjne. Te przewagi należy rozwijać przy wsparciu krajowych i regionalnych narzędzi, np. grantów na badania i rozwój, finansowaniu instalacji pilotażowych czy preferencyjnych

[55] Każdy produkt (np. tona stali, tona cementu, 1 MWh ciepła) ma benchmark emisyjny — wskaźnik wyrażający, ile emisji $CO_2$ przypada na jednostkę produkcji. Benchmark ustala się na podstawie 10% najbardziej efektywnych instalacji w UE.

pożyczek na rozwój mocy produkcyjnych.

Doświadczenia polskich firm w aukcjach Funduszu na rzecz Innowacji[56] pokazują stopniowe wzmacnianie pozycji i jakości projektów w wybranych obszarach, m.in. produkcji komponentów dla farm wiatrowych, technologii CCS, biometanu czy magazynowania energii. Obecnie polskie podmioty realizują lub przygotowują się do wdrożenia ośmiu projektów spośród około 200 przyznanych w ramach Funduszu (ok. 4% projektów przy udziale Polski w PKB Unii na poziomie 5%), To istotny postęp w porównaniu z programem NER300[57], w którym żaden projekt nie został ostatecznie wdrożony w Polsce[58], głównie z powodu braku krajowego finansowania i odpowiednich regulacji.

Jednocześnie w najbardziej energochłonnych procesach, takich jak produkcja zielonego wodoru, wsparcie w ramach ogólnoeuropejskich aukcji finansowanych z Fundusz na rzecz Innowacji trafia głównie do krajów, gdzie konkurencyjność projektów opiera się na dostępie do taniej energii z OZE (m.in do państw Półwyspu Iberyjskiego i Skandynawii). Z perspektywy długoterminowej konkurencyjności oraz efektywności kosztowej działania polskiego rządu powinny koncentrować się na wzmacnianiu tych obszarów, w których Polska może wypracować trwałe przewagi. Takie przewagi możemy uzyskać np. w oparciu o silną bazę przemysłową umożliwiającą produkcję czystych technologii czy w wybranych segmentach przemysłu energochłonnego, w których dysponujemy przewagami innymi niż niskie ceny energii. Równocześnie istotne będą aktywne działania Polski o uwzględnienie w ramach EFK zróżnicowanych obszarów wsparcia.

[56] Lista projektów zakwalifikowanych do wsparcia jest dostępna na stronie Funduszu.

[57] Poprzednik Funduszu na rzecz Innowacji, w ramach którego zrealizowano dwa nabory w 2012 i 2014 r. Więcej informacji na stronie programu.

[58] 2 z 39 wybranych projektów znajdowały się w Polsce.

### Polska musi wypracować odpowiednie ramy krajowe dla wsparcia przemysłu

Unijne strategie mocno akcentują znaczenie europejskiego przemysłu energochłonnego. W odpowiedzi na to Polska musi wypracować długoterminowe ramy wsparcia krajowego przemysłu. Miernikiem sukcesu będzie wykorzystanie krajowych przychodów z systemu ETS do finansowania rozwoju technologii i transformacji energetycznej. Środki unijne powinny stanowić uzupełnienie do odpowiednio zaprojektowanych instrumentów krajowych.

Krótkoterminowo polski przemysł energochłonny można chronić przed wysokimi cenami energii oraz zwiększać opłacalność jego elektryfikacji poprzez udzielanie pomocy publicznej dużym przedsiębiorstwom zgodnie z ramami CISAF (tj. po notyfikacji Komisji Europejskiej). Nowe zasady wsparcia ułatwią dekarbonizację i rozwój technologii niskoemisyjnych. Jednak przy mniejszej niż u zachodnich sąsiadów zdolności fiskalnej Polska powinna zadbać, aby wsparcie publiczne było proporcjonalne, a także uzupełniane dotacjami i grantami z dostępnych funduszy, np. Funduszu Modernizacyjnego.

Dotychczasową formą wsparcia rozważaną przez polski rząd były Strefy Zrównoważonego Przemysłu. Zgodnie z projektem ustawy[59] miały zostać stworzone ramy prawne umożliwiające przedsiębiorcom – w szczególności energochłonnym – korzystanie z taniej energii (250 zł/MWh) po spełnieniu określonych warunków, np. lokalizacji zakładu w Obszarze Specjalnej Interwencji (tzw. OSI). Projekt przewidywał również rozwiązania przyspieszające część procedur związanych z wydawaniem pozwoleń na budowę własnych źródeł OZE. Nie został on jednak przyjęty przez Radę Ministrów, a Ministerstwo Przemysłu odpowiedzialne za koncepcję zostało zlikwidowane latem 2025 roku. W momencie przygotowania tego opracowania nie jest jasne, czy Ministerstwo Energii podejmie się kontynuacji wdrażania pomysłu. Projekt spotkał się też z krytyką Urzędu Regulacji Energetyki, który zakwestionował tryb legislacji i zwrócił uwagę, że wyznaczenia preferencyjnych stawek powinno odbyć się w ramach zmiany tzw. rozporządzenia taryfowego, a nie poprzez wdrożenie nowej

[59] Projekt nowelizacji ustawy Prawo Energetyczne - UDER35, dostępny tu.

ustawy. Pomysł stref nie zakładał notyfikacji Komisji Europejskiej, a jedynie „przenosił" koszty z odbiorców przemysłowych na pozostałych użytkowników systemu. Mogło to zostać uznane za niedozwoloną pomoc publiczną, na co zwracało uwagę Ministerstwo Klimatu i Środowiska.

Dzięki nowym ramom i strategiom unijnym Polska ma szansę uniknąć nieskoordynowanych działań i przygotować systemowe programy wspierające przemysł w dekarbonizacji i elektryfikacji.

# 4. Gdzie jesteśmy w planowaniu?

## 4.1. Krajowy Plan w dziedzinie Energii i Klimatu – założenia dla przemysłu

### Jesteśmy na początku drogi

Najbardziej aktualnym projektem dokumentu strategicznego w obszarze transformacji energetycznej jest projekt Krajowego Planu w dziedzinie Energii i Klimatu z lipca 2025 roku. Dokument wprost odnosi się do przemysłu energochłonnego jako objętego systemem EU ETS[60]. Wśród wymienionych gałęzi znajdują się m.in przemysł cementowy, hutniczy, chemiczny, petrochemiczny i nawozowy. KPEiK wymienia dziewięć branż, pogrupowanych na trzy sektory: przemysł mineralny, chemiczny i metalurgiczny

KPEiK prognozuje spadek emisji procesowych w całym przemyśle z poziomu 24,5 mln ton $CO_2$ekw w 2020 roku[61] do 17,3 mln ton $CO_2$ekw . w 2030 roku i do około 11,3 mln ton $CO_2$ekw w 2040 roku. Redukcję mają zapewnić[62]:

- przyrost wykorzystania OZE w przemyśle;
- poprawa efektywności energetycznej i elektryfikacja;
- wykorzystanie wodoru odnawialnego pochodzenia niebiologicznego (RFNBO);
- rozwój technologii CCS/U.

Osiągnięcie tych celów oznaczałoby redukcję emisji gazów cieplarnianych o 21,4% do 2030 roku oraz 48,4% do roku 2040 (w stosunku do 1990 roku)[63].

Głównym kołem zamachowym transformacji przemysłu ma być przyrost mocy z OZE. Udział odnawialnej energii w końcowym zużyciu ma wzrosnąć z obecnego poziomu (16,2%) do 23,7% w 2030 roku, 31,8% w 2035 roku i 42,2% w 2040 roku. To znacznie bardziej ambitne założenia niż w pierwotnej wersji dokumentu. Jednocześnie wpisują się one w wymogi dyrektywy RED III, która zakłada coroczny wzrost udziału OZE o co najmniej 1,6% od 2025 roku. Jeśli chodzi o strukturę nośników energii z OZE przewiduje się malejącą rolę biomasy (na rzecz biometanu, energii z wiatru i słońca).

W porównaniu z pierwszą wersją KPEiK z 2019 roku, obecny dokument zawiera dedykowane działania dekarbonizacyjne dla przemysłu (prezentujemy je w Załączniku 1). Wśród nich wymieniona jest elektryfikacja bezpośrednia.

[60] Definicja ta różni się od definicji przemysłu energochłonnego przyjętego w opracowaniu. W opracowaniu wyróżniamy przemysł energochłonny ze względu na energochłonność procesów, a nie przynależność do systemu EU ETS. Tym samym do przemysłu energochłonnego zaliczamy przemysł chemiczny, mineralny oraz hutniczy.

[61] W 2022 roku emisje w przemyśle wyniosły 23,6 mln t $CO_2$ekw. Za spadek ten w dużej mierze odpowiedzialny był spadek produkcji w przemyśle z uwagi na kryzys cenowy na rynku energii.

[62] Działanie 57. Działania na rzecz wsparcia dekarbonizacji przemysłu energochłonnego. Działanie 61. Działania na rzecz wsparcia konkurencyjności i dekarbonizacji branż przemysłu.

[63] Unia Europejska nie wprowadziła bezpośrednich zobowiązań dla przemysłu dotyczących redukcji emisji. Jednocześnie EU ma wiążący cel ograniczania gazów cieplarnianych o co najmniej 55% w 2030 roku w porównaniu do 1990 roku. W przypadku sektorów EU ETS emisje gazów cieplarnianych w krajach UE powinny spaść o 62% 2030 roku w porównaniu z rokiem 2005. KPEiK szacuje, że wkład Polski w te cele redukcje może wynieść odpowiednio 53,9% oraz 51,1%.

### Zakładamy, że większość zielonego wodoru będziemy importować

Dyrektywa RED III zakłada, że w przemyśle wodór odnawialny pochodzenia niebiologicznego (ang. renewable fuel of non biological origin, dalej RFNBO) powinien stanowić 42% do 2030 roku oraz 60% do 2035 roku. Według KPEiK oznacza to, że w 2030 roku Polska będzie potrzebować około 315 tys. ton wodoru RFNBO. Zapotrzebowanie na cele przemysłowe wyniesie około 270 tys. ton wodoru RFNBO, w tym aż 225 tys. ton powinno trafić do sektora nawozów azotowych.

**KPEiK szacuje, że produkcja 315 tys. ton RFNBO wymagałaby około 16,7 TWh energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych. Taki wolumen energii elektrycznej na potrzeby produkcji RFNBO nie został jednak uwzględniony w planach rozwoju systemu elektroenergetycznego.**

Produkcja krajowa pokryje tylko 43 tys. ton RFNBO (wg KPEiK). Pozostała część zapotrzebowania na RNFBO ma być pokryta przez import zielonego wodoru lub zielonego amoniaku[64].

Jednocześnie KPEiK sygnalizuje potrzebę rozwoju krajowych mocy produkcyjnych zielonego wodoru[65] ze względu na ograniczone zasoby w krajach sąsiadujących. Działaniem odpowiadającym na tą potrzebę jest analiza potencjału budowy krajowych zdolności produkcyjnych, która ma zostać przeprowadzona w ramach aktualizacji Polskiej Strategii Wodorowej[66]. KPEiK zakłada także wsparcie produkcji wodoru odnawialnego w celu zmniejszenia różnicy cenowej pomiędzy wodorem zielonym a szarym[67].

### Zakres możliwości wychwytu $CO_2$ pozostaje do oszacowania

Wychwyt i składowanie dwutlenku węgla (CCS/U) przewidziano dla przemysłu cementowego[68], chemicznego[69], petrochemicznego oraz produkcji miedzi i cynku. W KPEiK brakuje jednak ilościowych danych o możliwościach wychwytu i składowania $CO_2$ w Polsce. Plan zapowiada przygotowanie strategii dotyczącej wychwytu, transportu, składowania $CO_2$, a także jego wykorzystania w gospodarce Zapowiedziano jednocześnie przygotowanie propozycji finansowego instrumentu wsparcia oraz działań regulacyjnych dla CCS/U[70].

### Elektryfikacja przemysłu - bez szczegółów

Ostatnia wersja scenariusza WAM odnosi się szerzej do elektryfikacji przemysłu. Świadczy to o tym, że ta technologia dekarbonizacji została dostrzeżona przez ministerstwa odpowiedzialne za transformacje energetyczną. KPEiK wskazuje, że elektryfikacja ciepła wysokotemperaturowego może zostać wykorzystana przy produkcji wapna, szkła i ceramiki. Z kolei piece łukowe będą wykorzystywane do produkcji stali z odzysku oraz stali pierwotnej z DRI (ang. directly reduced iron)[71]. W dokumencie brakuje jednak szacunków dotyczących zapotrzebowania na energię elektryczną wynikającego z elektryfikacji przemysłu energochłonnego.

### Luki w KPEiK

W KPEiK zabrakło przede wszystkim oszacowania zapotrzebowania na zieloną energię elektryczną wynikającą z dekarbonizacji przemysłu. Dokument pokazuje jedynie wolumen energii potrzebnej do produkcji wodoru RFNBO, ale nie przedstawia analiz dotyczących dodatkowego zapotrzebowania związanego z bezpośrednią elektryfikacją przemysłu.

[64] Działanie 55. Analiza potrzeby budowy i wykorzystania infrastruktury do importu amoniaku lub wodoru, w tym budowy morskiego terminalu portowego do przeładunku amoniaku lub wodoru.

[65] Działanie 54. Wsparcie budowy mocy wytwórczych do produkcji wodoru odnawialnego (w tym pochodzenia niebiologicznego) i niskoemisyjnego.

[66] Działanie 52. Aktualizacja Polskiej Strategii Wodorowej.

[67] Działanie 53. Instrument finansowy – wsparcie transformacji w przemyśle.

[68] Działanie 58. Działanie na rzecz wsparcia konkurencyjności i dekarbonizacji przemysłu cementowego.

[69] Działanie 59. Działania na rzecz wsparcia konkurencyjności i dekarbonizacji przemysłu chemicznego.

[70] Działanie 56. Działania wspierające komercyjne projekty CCS i CCU.

[71] Działanie 60. Działania na rzecz wsparcia konkurencyjności i dekarbonizacji przemysłu hutniczego.

W KPEiK brakuje również pogłębionej analizy zakresie zapotrzebowania na wodór i paliwa syntetyczne w przemyśle energochłonnym. Dokument odnosi się jedynie do zapotrzebowania na RFNBO wynikającego z obecnego zapotrzebowania na wodór w przemyśle, w tym z produkcji nawozów azotowych. Nie pokazuje jednak potencjalnych wolumenów zapotrzebowania na wodór wynikających z dekarbonizacji np. hutnictwa stali.

Plan słusznie zwraca uwagę na potrzebę wypracowania strategii dla wodoru, CCS/U oraz kluczowych gałęzi przemysłu – cementowego, chemicznego i stalowego. Brakuje jednak harmonogramu ich opracowania.

## 4.2. Strategia dekarbonizacji przemysłu – wielka nieobecna

Polski przemysł nie otrzymuje od państwa systemowego wsparcia w procesie dekarbonizacji. Brakuje strategicznej wizji odpowiadającej skali wyzwań klimatycznych. Komisja Europejska już w 2018 roku wskazała ścieżki do neutralności klimatycznej do 2050 roku[72] wraz ze scenariuszami dla wszystkich sektorów gospodarki, w tym poszczególnych branż przemysłu. Tymczasem polski rząd nie opracował dokumentu strategicznego przedstawiającego technologie i kamienie milowe dla dekarbonizacji kluczowych sektorów. Tym samym nie zapewniono odpowiednich warunków sprzyjających inwestycjom.

[72] Komunikat wraz z załącznikami dostępny tutaj.

Dotychczasowe analizy w tym obszarze wynikały głównie z realizacji obowiązków unijnych. Były także zbyt ogólnikowe (jak w przypadku KPEiK czy PEP 2040) lub ograniczone do wybranej technologii czy krótkiej perspektywy (jak w przypadku strategii wodorowej). W efekcie przemysł nie ma podstaw do decyzji inwestycyjnych ani mechanizmów wsparcia dla pionierskich projektów dekarbonizacyjnych w Polsce.

### Co powinna zawierać krajowa strategia dekarbonizacji przemysłu?

Dokument powinien dobrze określać specyficzne potrzeby i uwarunkowania poszczególnych gałęzi przemysłu w drodze do dekarbonizacji, wskazując przy tym sektory strategiczne. Krajowa strategia przemysłowa pomogłaby również tworzyć ramowe instrumenty wsparcia, usuwać bariery regulacyjne oraz definiować potrzeby w zakresie działalności badawczo-rozwojowej (B+R) i kompetencji pracowników. Bez takiej wizji kresie tych kierunków Polsce trudno będzie skutecznie zabiegać o swoje interesy w negocjacjach nad kształtem nowej perspektywy finansowej UE (WRF 2028-2034).

Strategia przemysłowa powinna w wariantowy sposób przeanalizować potencjał wdrożenia różnych technologii zeroemisyjnych w poszczególnych sektorach. Dzięki temu decydenci zyskają wiedzę o prognozowanym zapotrzebowaniu na wodór, wychwyt $CO_2$, biopaliwa oraz zeroemisyjną energię elektryczną do dekarbonizacji całego przemysłu. Tylko na tej podstawie możliwe będą strategiczne decyzje, zwłaszcza że w perspektywie 2025-2040 dostępność zeroemisyjnych rozwiązań będzie ograniczona. Strategia musi więc wskazać priorytetowe obszary ich wykorzystania, uwzględniając nie tylko maksymalizację redukcji emisji procesowych, ale również strategiczne i gospodarcze znaczenie poszczególnych branż.

# 5. Spojrzenie w przyszłość: kluczowe elementy dekarbonizacji przemysłu energochłonnego

## 5.1. Spójny zestaw strategii sektorowych

Dekarbonizacja przemysłu energochłonnego powinna zostać przygotowana w oparciu o spójny zestaw strategii sektorowych:

- strategii dekarbonizacji przemysłu;
- strategii dla wodoru i paliw zeroemisyjnych;
- strategii dla CCS/U;
- strategii dla systemu elektroenergetycznego.

Poszczególne strategie sektorowe nie mogą powstać w izolacji. Ich skuteczność zależy od uwzględnienia barier i potrzeb występujących w poszczególnych sektorach, gdyż elementy te są ze sobą nierozerwalnie powiązane.

## 5.2. Pilotaże i budowa łańcucha dostaw

Przemysł energochłonny jest niezwykle zróżnicowany. Dlatego każda z jego gałęzi musi wypracować indywidualną ścieżkę dekarbonizacji. Już dziś możliwe jest jednak wskazanie „pakietu" technologii zeroemisyjnych niezbędnych dla sektorów energochłonnych – tj. zeroemisyjny wodór, technologia CCS/U oraz elektryfikacja bezpośrednia.

Technologie te mają relatywnie wysoki poziom dojrzałości. Większość z nich przetestowano też w istniejących instalacjach. Polska potrzebuje jednak więcej projektów demonstracyjnych pod kątem konkretnych zastosowań przemysłowych. Pilotaże te są niezbędnym etapem na drodze do komercjalizacji technologii, gdyż:

- umożliwiają optymalizację zarządzania instalacją oraz zwiększania efektywności energetycznej procesów;
- pozwalają na analizę wyzwań technicznych i sposobów ich rozwiązania;
- służą do oceny potencjału skalowalności technologii na potrzeby innych zakładów i procesów;
- identyfikują bariery administracyjne, co pozwala na odpowiednio wczesne dostosowanie otoczenia regulacyjnego;

- dostarczają wiarygodnych danych o kosztach technologii;
- tworzą popyt, wspierając rozwój sektora dostawców technologii.

KPEiK wskazuje, że prace badawczo-rozwojowe są kluczowym czynnikiem dla dekarbonizacji przemysłu[73]. W działania na rzecz prac badawczo-rozwojowych dla przemysłu mają być zaangażowane takie podmioty jak minister właściwy do spraw gospodarki oraz ministrowie właściwi do spraw klimatu, finansów publicznych i rozwoju regionalnego.

[73] Prace badawczo-rozwojowe wymienione są jako kluczowy element Działania 57. Działania na rzecz wsparcia dekarbonizacji przemysłu energochłonnego oraz Działania 61. Działania na rzecz wsparcia konkurencyjności i dekarbonizacji branż przemysłu.

Finansowanie projektów demonstracyjnych przyspiesza tempo wdrażania technologii zeroemisyjnych, gdy ich stosowanie jest jeszcze nieopłacalne. Pozwala to na szybszą dekarbonizację, gdy koszty technologii spadną.

Projekty demonstracyjne umożliwią też porównanie różnych ścieżek dekarbonizacji, analizę ich zalet i wad oraz identyfikację czynników decydujących o przewadze jednej technologii nad drugą. Wyniki tych działań wspierają tworzenie precyzyjnych wytycznych strategicznych dla całego sektora.

Komercjalizacja niektórych technologii np. zeroemisyjnego wodoru, instalacji CCS/U czy wybranych technologii elektryfikacji bezpośredniej może potrwać nawet dekadę. Oznacza to, że szeroka dekarbonizacja przemysłu energochłonnego najprawdopodobniej nie rozpocznie się przed 2040 rokiem. **W latach 2025-2040 działania koncentrować się będą przede wszystkim na projektach pilotażowych, tworzeniu łańcuchów dostaw, dostosowywaniu otoczenia regulacyjnego, a także budowaniu poparcia społecznego dla nowych technologii.** Te działania stanowią potrzebny fundament dalszej transformacji energetycznej przemysłu energochłonnego.

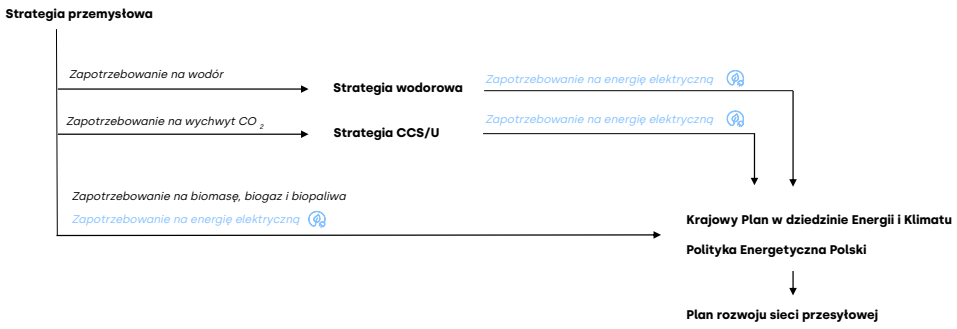
## 5.3. Dostosowanie założeń dotyczących produkcji energii

Dekarbonizacja przemysłu energochłonnego wymaga znacznych inwestycji w generację energii elektrycznej z odnawialnych i zeroemisyjnych źródeł. Zielona energia elektryczna będzie potrzebna zarówno do produkcji wodoru, jak również do obsługi infrastruktury towarzyszącej instalacjom CCS/U oraz działania urządzeń elektryfikacji bezpośredniej. Dlatego właśnie krajowa strategia dla systemu elektroenergetycznego musi uwzględnić dodatkowy prognozowany popyt przemysłu energochłonnego na zeroemisyjną energię elektryczną. W latach 2025-2040 popyt ten powinien zostać odzwierciedlony m.in. w adekwatnym, strategicznie zaplanowanym tempie rozwoju nowych mocy OZE i atomowych, planach rozbudowy sieci elektroenergetycznej czy działaniach strategicznych w obszarze magazynowania energii i elastyczności odbiorców.

**Rosnące zapotrzebowanie ze strony przemysłu będzie kluczowe dla określenia o przyszłych wolumenów produkcji czystej energii.** Pogłębiona analiza tego zapotrzebowania powinna zostać przeprowadzona w **krajowej strategii dekarbonizacji przemysłu.** Wyznaczone w niej cele w zakresie produkcji zeroemisyjnego wodoru oraz wychwytu $CO_2$ przełożą się na aktualizację **polskiej strategii wodorowej** oraz stworzenie **krajowej strategii CCS/U**. Zapotrzebowanie na czystą energię zidentyfikowane w tych dokumentach musi znaleźć odzwierciedlenie w planach rozwoju generacji energii odnawialnej i jądrowej - a zatem w dokumentach strategicznych takich jak **KPEiK** i **PEP2040**. Jednocześnie wnioski dotyczące zapotrzebowania pozostałych sektorów na zeroemisyjne nośniki energii wynikające ze strategii obejmujących całą gospodarkę (jak np. KPEiK) powinny służyć do weryfikacji scenariuszy transformacji przemysłu - tak, by zapewnić **spójność strategii przekrojowych i sektorowych**. Wzrost zapotrzebowania na energię zeroemisyjną wyma-

gać będzie aktualizacji planów rozbudowy sieci przesyłowych i dystrybucyjnych oraz zwiększenia ambicji dotyczących elastyczności systemu (w tym rynku usług elastyczności) i magazynowania energii. Oznacza to konieczność aktualizacji m.in. **Planu rozwoju sieci przesyłowej.**

**Rysunek 9** Struktura zależności pomiędzy krajowymi strategiami sektorowymi.




*Źródło: Opracowanie własne Instytutu Reform*

## 5.4. Pragmatyczne spojrzenie na opcje importu zielonych produktów i surowców

Do 2050 roku krajowe i europejskie źródła zeroemisyjnej energii z dużym prawdopodobieństwem nie pokryją całego zapotrzebowania przemysłu po konkurencyjnej cenie. Obecna wersja KPEiK wskazuje, że znaczą część odnawialnego wodoru będziemy usieli importować.

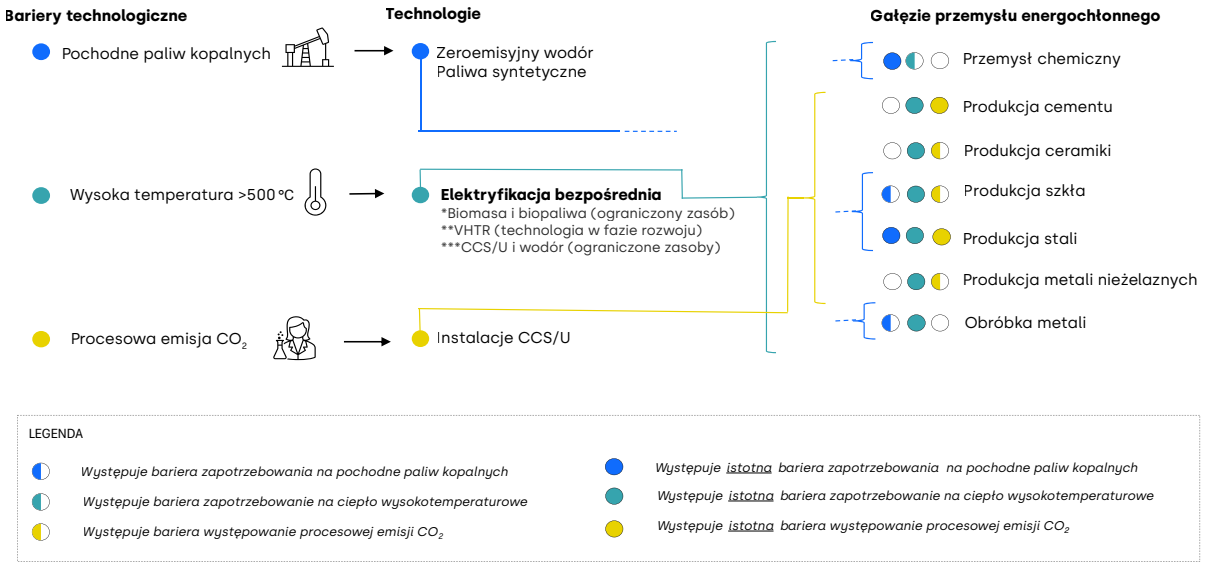
Strategie krajowe powinny określić zatem zapotrzebowanie na import zielonej energii i zielonych produktów przemysłowych, a także przeanalizować potencjalne kierunki dostaw. W niektórych przypadkach bardziej opłacalny od importu zeroemisyjnego wodoru może okazać się import zielonych półproduktów, takich jak zielony amoniak i metanol dla przemysłu chemicznego czy żelaza bezpośrednio zredukowanego DRI do produkcji stali. Jednocześnie należy określić jaka część łańcucha dostaw powinna bezwzględnie pozostać na terenie Polski oraz UE ze względów bezpieczeństwa i odporności.

# 6. Podsumowanie

## Pakiet technologii zeroemisyjnych dla przemysłu energochłonnego jest szeroki, a elektryfikacja bezpośrednia stanowi jego nieodłączny element

Ze względu na złożoność i różnorodność procesów produkcyjnych w przemyśle energochłonnym, proces dekarbonizacji poszczególnych branż może wykorzystywać różne technologie. Wśród nich najważniejsze to zastosowanie zeroemisyjnego wodoru, CCS/U oraz elektryfikacja bezpośrednia.

**Rysunek 10** Zestawienie najistotniejszych barier technicznych dla przemysłu energochłonnego wraz z odpowiadającymi im technologiami zeroemisyjnymi.




*Źródło: Opracowanie własne Instytutu Reform*

Poniżej zestawiono potencjalne ścieżki dekarbonizacji dla poszczególnych gałęzi przemysłu energochłonnego. Technologie elektryfikacji bezpośredniej – takie jak piece elektryczne i łukowe – odgrywają znaczącą rolę w przeważającej większości scenariuszy dekarbonizacyjnych.

**Tabela 4** Zestawienie potencjalnych ścieżek dekarbonizacji według gałęzi przemysłu energochłonnego.

| Sektor | ścieżki | Technologie elektryfikacji | Uwagi |
|---|---|---|---|
| **Przemysł chemiczny** | zeroemisyjny wodór + elektryfikacja bezpośrednia | kotły elektrodowe, technologia MVR-HP | Zapotrzebowanie na wodór w przemyśle chemicznym to prawie 0,4 mln ton/rok. Do produkcja tego wodoru w procesie elektrolizy potrzebowalibyśmy około 20 TWh. Alternatywą jest import zielonego amoniaku i zielonego metanolu. Q4 2025 |
| | zielony amoniak i metanol+ elektryfikacja bezpośrednia | | |
| **Produkcja cementu** | elektryfikacja bezpośrednia + technologia CCS/U | obrotowe piece elektryczne | Emisje procesowe wymagają zastosowania CCS/U bądź opracowania produkcji cementu z alternatywnych surowców takich jak krzemiany. Elektryfikacja bezpośrednia to potencjał na redukcję około 40% emisji $CO_2$. |
| | alternatywne surowce + elektryfikacja bezpośrednia | | |
| **Produkcja ceramiki** | elektryfikacja bezpośrednia + technologia CCS/U | piece elektryczne, instalacje hybrydowe | Emisje procesowe stanowią tylko 20% emisji z produkcji ceramiki. Oznacza to, że elektryfikacja bezpośrednia to potencjał na redukcję nawet 80% emisji $CO_2$. |
| **Produkcja szkła** | elektryfikacja bezpośrednia + technologia CCS/U | piece elektryczne, instalacje hybrydowe | Emisje procesowe stanowią tylko 20% emisji z produkcji szkła. Oznacza to, że elektryfikacja bezpośrednia to potencjał na redukcję nawet 80% emisji $CO_2$. |
| **Produkcja stali** | złom + piec łukowy | piec łukowy, piec plazmowy, elektroliza | Technologia pieca łukowego jest dostępna komercyjnie od lat. Wymaga ona zastosowania jako surowca złomu lub żelaza bezpośrednio zredukowanego DRI. Produkcja DRI w kraju wymagałaby istotnych ilości wodoru, a więc i zielonej energii elektrycznej. Innym sposobem pozyskania DRI będzie import. Wśród alternatywnych ścieżek są jeszcze elektroliza stali (rozwiązanie to będzie wymagało znacznych ilości energii elektrycznej) oraz zastosowanie CCS/U dla tradycyjnego procesu produkcji stali. |
| | import DRI + piec łukowy | | |
| | produkcja DRI z użyciem wodoru + piec łukowy | | |
| | redukcja plazmą wodorową | | |
| | elektroliza stali | | |
| | tradycyjny wielki piec + technologia CCS/U | | |

*Źródło: Opracowanie własne Instytutu Reform*

**Tabela 4 cd** Zestawienie potencjalnych ścieżek dekarbonizacji według gałęzi przemysłu energochłonnego.

| Sektor | ścieżki | Technologie elektryfikacji | Uwagi |
|---|---|---|---|
| **Produkcja aluminium** | obrotowe piece elektryczne + elektroliza (obecnie stosowany proces) + technologia CCS/U | obrotowy piec elektryczny, elektroliza | Elektryfikacja bezpośrednia już dziś mogłaby pozwolić na redukcję około 75% emisji $CO_2$ z produkcji aluminium. Redukcja pozostałych emisji procesowych wymagałaby technologii CCS/U lub zastosowania alternatywnego procesu analizy. |
| | obrotowe piece elektryczne + elektroliza (alternatywny proces) | | |
| **Obróbka metali** | elektryfikacja bezpośrednia | piec elektryczny, piec indukcyjny | Elektryfikacja bezpośrednia pozwoliłaby na praktycznie całościową redukcję emisji $CO_2$ z procesów obróbki metali. |

*Źródło: Opracowanie własne Instytutu Reform*

## Jedno jest pewne – przemysł energochłonny będzie potrzebował dużych wolumenów zeroemisyjnej energii elektrycznej

Choć docelowa struktura rozwiązań zeroemisyjnych w polskim przemyśle energochłonnym jest trudna do określenia, to transformacja tego sektora będzie wymagała znacznych inwestycji w generację energii ze źródeł odnawialnych i zeroemisyjnych. Już dzisiaj widać, że obecne założenia KPEiK w tym zakresie są niewystarczające w świetle rosnącego zapotrzebowania wynikającego:

- elektryfikacji bezpośredniej procesów przemysłowych;
- produkcji wodoru w elektrolizerach;
- obsługi instalacji CCS/CCU (skraplanie i zatłaczanie wychwyconego $CO_2$ wymaga pracy sprężarek i pomp, które zasilane są energią elektryczną).

Dekarbonizacja przemysłu energochłonnego to wyzwanie o dłuższym horyzoncie czasowym niż w przypadku przemysłu nisko- i średniotemperaturowego. Część technologii będzie dostępna komercyjnie dopiero w latach 2040- 2050, co podkreśla znaczenie strategicznego planowania transformacji energetycznej.

Konieczne jest nie tylko wspieranie działalności badawczo-rozwojowej, ale także określenie tempa rozwoju systemu elektroenergetycznego, realnych założeń dla poszczególnych sektorów oraz możliwości zużycia i produkcji paliw potrzebnych do pośredniej i bezpośredniej elektryfikacji przemysłu energochłonnego.

### Potrzebujemy jak najszybciej wypracować spójny zestaw strategii sektorowych

W perspektywie 2025-2028 priorytetem jest przygotowanie strategii przemysłowej, która w uporządkowany sposób zmapuje zapotrzebowanie na energię elektryczną dla alternatywnych ścieżek dekarbonizacji przemysłu energochłonnego.

Szczególnej analizie powinny zostać poddane przemysły chemiczny, mineralny (cement, szkło, ceramika) oraz hutniczy. Analizy te powinny w sposób wariantowy określić zapotrzebowania na:

- zeroemisyjną energię elektryczną;
- wodór (w tym krajowy oraz importowany);
- wychwyt $CO_2$;
- import zielonego amoniaku i metanolu;
- import DRI.

Takie oszacowanie potrzeb będzie podstawą dla krajowej strategii wodorowej i krajowej strategii dla technologii CCS/U. Obie strategie, razem ze strategią przemysłową, powinny przełożyć się na aktualizację celów KPEiK i PEP 2040 w zakresie tempa rozwoju mocy OZE i atomu, a także założeń dla rozbudowy sieci elektroenergetycznych w Planie rozwoju sieci przesyłowej. Wyniki tych analiz wesprą aktywny udział Polski w kształtowaniu europejskiej polityki przemysłowej oraz zapewnią odpowiednie wsparcie dla polskich firm w ramach nowych instrumentów finansowych UE.

# Załącznik 1 – Działania z KPEiK dla dekarbonizacji przemysłu

### Działanie 52. Aktualizacja Polskiej Strategii Wodorowej

Celem działania jest aktualizacja Polskiej Strategii Wodorowej. Dokument w szczególności powinien adresować wyzwania, takie jak określenie krajowego potencjału produkcji wodoru odnawialnego, w tym pochodzenia niebiologicznego oraz wodoru niskoemisyjnego, w odniesieniu do specyfiki działania systemu elektroenergetycznego z dużym udziałem OZE, budowę infrastruktury do przesyłu oraz potencjalny import wodoru odnawialnego pochodzenia niebiologicznego lub jego pochodnych (zielonego amoniaku). Dokument powinien także wskazywać mocne strony Polski, które należy rozwijać oraz identyfikować zagrożenia, które należy mitygować.

### Działanie 53. Instrument finansowy – wsparcie transformacji w przemyśle

Wsparcie ma polegać na zapewnieniu pomocy finansowej w ustalonej formie, która będzie wspierała produkcję wodoru odnawialnego na wczesnym etapie rozwoju technologii, do momentu uzyskania ekonomii skali i obniżenia cen do poziomu konkurencyjnego rynkowo (m.in. z nośnikami opartymi na paliwach kopalnych). Wsparcie będzie miało na celu zmniejszenie różnicy pomiędzy ceną wodoru odnawialnego i wodoru otrzymywanego z surowców kopalnych, którego produkcja wiąże się z emisją gazów cieplarnianych. Wsparcie ma umożliwić konkurowanie wodoru odnawialnego na rynku wodoru. Mechanizm ma ułatwić zastępowanie wykorzystywanego obecnie głównie w przemyśle wodoru otrzymywanego z surowców kopalnych, wodorem odnawialnym. Wsparcie będzie przewidziane dla przedsiębiorców zapewniających realizację obligatoryjnych celów klimatycznych dla Polski, wynikających z przepisów unijnych i krajowych. Wsparcie będzie mogło uwzględniać także stosowanie technologii wychwytu i składowania lub utylizacji dwutlenku węgla, których zastosowanie pozwoli na redukcję emisji gazów cieplarnianych w całym cyklu życia wynoszącym co najmniej 70% w stosunku do odpowiednika kopalnego. Instrument wsparcia finansowego nie powinien być jedynym instrumentem stymulującym rozwój rynku.

### Działanie 54. Wsparcie budowy mocy wytwórczych do produkcji wodoru odnawialnego (w tym pochodzenia niebiologicznego) i niskoemisyjnego

Działanie ma na celu rozpoczęcie procesu budowy mocy wytwórczych wodoru niskoemisyj-

nego, odnawialnego oraz odnawialnego pochodzenia niebiologicznego w Polsce. Aktywność instytucji publicznych powinna koncentrować się na wsparciu budowy mocy wytwórczych, infrastruktury magazynowania i przesyłu, co wpłynie na uruchomienie pierwszych inwestycji w moce produkcyjne. Rozwój tego sektora wymaga odpowiedniego wsparcia regulacyjnego, finansowego i technologicznego, aby skutecznie integrować produkcje niskoemisyjnego i odnawialnego wodoru z infrastrukturą transportową oraz gałęziami przemysłu, które wykazują największe zapotrzebowanie w jego użyciu.

### Działanie 55. Analiza potrzeby budowy i wykorzystania infrastruktury do importu amoniaku lub wodoru, w tym budowy morskiego terminalu portowego do przeładunku amoniaku lub wodoru

W związku z rosnącym zapotrzebowaniem na wodór odnawialny i amoniak odnawialny, oraz koniecznością realizacji celów RED III, działanie ma na celu ustalenie w jakim zakresie zapotrzebowanie Polski na te odnawialne surowce powinno zostać zaspokojone przez import oraz jakimi drogami i sposobami ten import powinien być zapewniony a także w jaki sposób surowce te powinny być dostarczone do obecnych i przyszłych odbiorców przemysłowych.

Analiza powinna uwzględniać zarówno zapotrzebowanie krajowe na wodór RFNBO potrzebny do realizacji celów dyrektywy RED III i inne uwarunkowania wynikające z polityki klimatycznej UE lokalizację zakładów przemysłowych objętych celami RED III, powstające nowe zakłady przemysłowe wymagające zasilenia wodorem RFNBO, a także istniejącą i nową infrastrukturę (w tym portową), możliwości jej wykorzystania, rozbudowy i budowy.

Analiza powinna także uwzględniać projektowane europejskie korytarze wodorowe (np. Nordic Baltic Hydrogen Backbone), i możliwości budowy dedykowanych sieci wodorowych do przesyłu wodoru i płynne przechodzenie od importu i transportu tych surowców od miejsca ich dostarczenia do miejsc ich wykorzystania w okresie do powstania korytarzy wodorowych i wodorowych sieci przesyłowych oraz po ich wybudowaniu (płynne przechodzenie od transportu opartego na środkach innych niż rurociągi do wykorzystania rurociągów).

Analiza powinna zawierać dane ilościowe i jakościowe wodoru odnawialnego i amoniaku odnawialnego (część importowa) pozwalające na realizację celów RED III, oraz dalsze etapy dekarbonizacji przemysłu zgodnie z UE i polskimi celami klimatycznymi, w tym ew. zmienność udziału wodoru i amoniaku w czasie, w imporcie tych surowców dla realizacji celów RED III i klimatycznych długookresowych.

Analiza powinna też uwzględniać liczbę, proponowane lokalizacje i rolę infrastruktury niezbędnej do realizacji importu wodoru odnawialnego i amoniaku odnawialnego np. terminali portowych, w tym także potencjał rozbudowy już istniejących i budowy nowych, oraz wykorzystania środków transportu wodoru do jego odbiorców okresie do postania korytarzy o sieci wodorowych oraz w czasie gdy część transportu, w tym transportu wodoru importowego, będzie realizowana z wykorzystaniem korytarzy i sieci wodorowych.

Analiza powinna także zawierać szacunkowe koszty realizacji poszczególnych elementów inwestycji pozwalających na realizację celów RED III i celów klimatycznych w części importowej.

### Działanie 56. Działania wspierające komercyjne projekty CCS i CCU

Działanie obejmuje przygotowanie propozycji finansowego instrumentu wsparcia oraz listy działań – regulacyjnych mających na celu wsparcie szerszego stosowania technologii CCS (ang. Carbon Capture and Storage) oraz CCU (ang. Carbon Capture and Utilization) redukujących emisje $CO_2$, w procesach, w których inne ścieżki dekarbonizacji nie są możliwe do zaimplementowania. Celem instrumentu jest tworzenie działań związanych z:

- Budową strategicznej infrastruktury do przesyłu, składowania i dystrybucji $CO_2$ (gazociągi, sieć składowisk na lądzie w Polsce).
- Przyspieszeniem działań legislacyjnych, które pozwolą na rozpoczęcie badań geologicznych nad poszukiwaniem i rozpoznawaniem kompleksów podziemnego składowania $CO_2$ w Polsce (onshore).
- Zainicjowaniem budowy klastrów przemysłowych na potrzeby wspomnianego rozwoju infrastruktury umożliwiającej transport do miejsc składowania, w tym powołanie operatora przesyłu dwutlenku węgla.
- Prowadzeniem prac badawczo-rozwojowych oraz projektów pilotażowych.
- Rozpoczęciem ogólnokrajowej kampanii społecznej dot. działań związanych z rozwojem technologii CCS, mających na celu zwiększenie świadomości społeczeństwa na temat bezpieczeństwa składowania $CO_2$ na lądzie.

### Działanie 57. Działania na rzecz wsparcia dekarbonizacji przemysłu energochłonnego

Działanie dotyczy wsparcia (w tym wsparcie finansowe) przemysłu energochłonnego objętego unijnym systemem handlu uprawnieniami do emisji (EU ETS) w procesie zwiększenia konkurencyjności i transformacji energetycznej. Aktywność instytucji publicznych powinna koncentrować się na wpieraniu działań zapewniających:

- poprawę efektywności energetycznej procesów produkcyjnych,
- zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii w przemyśle,
- budowę własnych źródeł OZE wspartych magazynami energii,
- modernizację, w tym cyfryzację, procesów przemysłowych,
- elektryfikację i zastosowanie niskoemisyjnego wodoru oraz wykorzystanie paliw niskoemisyjnych,
- wdrożenie technologii pozwalających na redukcje emisyjności zarówno energetycznych jak i procesowych, w tym technologii CCS,
- implementacje rozwiązań minimalizujących powstawanie odpadów i zużycie surowców zgodnie z zasadami GOZ,
- prowadzenie prac badawczo-rozwojowych, projektów pilotażowych oraz tworzenie innowacji.

Wsparcie dla przemysłu energochłonnego ma na celu zwiększenie dostępu do taniej i czystej energii, elektryfikacje i dekarbonizacje procesów przemysłowych oraz opracowanie nowych rozwiązań pozwalających na zapewnienie konkurencyjności polskich produktów. Ze względu na złożoność procesów produkcyjnych w przemyśle energochłonnym wpierane powinno być dostosowane do potrzeb poszczególnych sektorów.

### Działanie 58. Działania na rzecz wsparcia konkurencyjności i dekarbonizacji przemysłu cementowego

Celem działania jest wspieranie innowacyjnych technologii oraz inwestycji przyczyniających się do modernizacji procesów produkcyjnych oraz redukcji emisji $CO_2$ w procesie produkcji cementu, przy jednoczesnym zwiększeniu konkurencyjności sektora. Wsparcie powinno być skierowane na działania dotyczące rozwoju innowacyjnych cementów, spoiw i dodatków mineralnych do betonu o obniżonym śladzie węglowym, technologii wychwytu, składowania i wykorzystania dwutlenku węgla (CCUS), a także optymalizacji procesów produkcyjnych w kierunku zwiększania efektywności energetycznej.

Istotnym rozwiązaniem pozwalającym na dekarbonizacje oraz uniknięcie opłat w ramach EU ETS jest technologia CCS, której rozwój powinien nastąpić do 2030 r. W celu zapewnienia konkurencyjności branży należy ograniczyć import cementu z krajów, w których jest wytwarzany z wyższym śladem węglowym niż w Polsce. Ważne jest również zapewnienie dostępu do taniej energii elektrycznej z OZE oraz analiza możliwości rewizji taryf przemysłowych i opłat dodatkowych. Na uwagę zasługuje również mechanizm Zielonych Zamówień Publicznych, który powinien nadać pierwszeństwo zakupu niskoemisyjnych produktów. Rekomendowane jest opracowanie szczegółowej strategii z zakresu zapewnienia konkurencyjności i dekarbonizacji przemysłu cementowego wspólnie z przedstawicielami branży.

### Działanie 59. Działania na rzecz wsparcia konkurencyjności i dekarbonizacji przemysłu chemicznego

Celem działania jest wspieranie innowacyjnych rozwiązań technologicznych oraz inwestycji umożlwiających redukcję emisji gazów cieplarnianych. Wsparcie powinno obejmować rozwój i wdrożenie niskoemisyjnych procesów produkcyjnych oraz wykorzystanie niskoemisyjnego i odnawialnego wodoru i technologii CCUS (ang. Carbon Capture, Utilization and Storage). Kluczowe jest zwiększenie efektywności energetycznej zakładów chemicznych poprzez modernizacje instalacji oraz integrację z OZE. Inicjatywy powinny zakładać wsparcie badań nad nowymi, zrównoważonymi surowcami oraz zachęty dla przedsiębiorstw inwestujących w gospodarkę obiegu zamkniętego. W celu zapewnienia konkurencyjności branży należy ograniczyć import produktów przemysłu chemicznego z krajów, w których jest wytwarzany z wyższym śladem węglowym niż w Polsce. Ważne jest również zapewnienie dostępu do taniej energii elektrycznej z OZE oraz analiza możliwości rewizji taryf przemysłowych i opłat dodatkowych oraz rozwój infrastruktury do importu wodoru i paliw pochodnych m.in. terminale, magazyny i rurociągi.

W zakresie działań dekarbonizacyjnych należy wspierać rozwój zapewnić mocy wytwórczych do produkcji niskoemisyjnego i odnawialnego wodoru z uwzględnieniem specyfiki zapotrzebowania (stały profil, niskie możliwości magazynowania) oraz potencjału produkcji na zmiennym rynku energii biorąc pod uwagę szczegółowe zasady produkcji paliw odnawialnych pochodzenia niebiologicznego (RFNBO) określone przez rozporządzenia delegowane UE. Rekomendowane jest opracowanie szczegółowej strategii z zakresu zapewnienia konkurencyjności i dekarbonizacji przemysłu chemicznego wspólnie z przedstawicielami branży.

### Działanie 60. Działania na rzecz wsparcia konkurencyjności i dekarbonizacji przemysłu hutniczego

Celem działania jest wsparcie transformacji przemysłu hutniczego w kierunku niskoemisyjnych technologii, zwiększających jego zgodność z wymaganiami klimatycznymi, przy zachowaniu konkurencyjności. Kluczowe obszary wsparcia powinny obejmować rozwój i wdrożenie metod produkcji stali, takich jak hutnictwo oparte na elektrycznych piecach łukowych (EAF, ang. Electric Arc Furnace) zasilane w jak największym stopniu energią odnawialną, w tym wytwarzaną przez przemysł, oraz działające w oparciu o niskoemisyjny i odnawialny wodór (technologia DRI, ang. Direct Reduced Iron). Wsparcie powinno obejmować również modernizację procesów produkcyjnych w celu poprawy efektywności energetycznej i redukcji emisji. Działania powinny przewidywać także finansowanie badań nad nowymi stopami metali oraz obiegiem zamkniętym surowców, a także technologiami przeróbki złomu. W celu wsparcia GOZ i konkurencyjności należy ograniczyć eksport złomu, który jest głównym produktem używanym do wytwarzania stali. Rekomendowane jest opracowanie szczegółowej strategii z zakresu zapewnienia konkurencyjności i dekarbonizacji przemysłu stalowego i hutniczego wspólnie z przedstawicielami branży.

### Działanie 61. Działania na rzecz wsparcia konkurencyjności i dekarbonizacji branż przemysłu

Celem działania jest wsparcie transformacji przemysłu nieujętych w działaniach: Działanie 58–Działanie 60, obejmując m.in. sektory gazów technicznych, metali nieżelaznych, papierniczego, szklarskiego, wapienniczego, przemysłu szklarniowego, przetwórstwa rolniczego, drukarskiego oraz innych gałęzi przemysłu. Kluczowe obszary wsparcia dotyczą rozwoju produkcji o obniżonym śladzie węglowym, modernizacji procesów produkcyjnych, integracji odnawialnych źródeł energii z infrastrukturą energetyczną zakładów oraz obniżania zużycia energii.

Wsparcie powinno koncentrować się m.in. na zastępowaniu pieców oraz kotłów opalanych paliwami kopalnymi nowoczesnymi urządzeniami elektrycznymi lub hybrydowymi, stosowaniu odnawialnych źródeł ciepła (w tym w przemyśle przetwórczym oraz szklarniach), a także na zastępowaniu gazu ziemnego niskoemisyjnym lub odnawialnym wodorem.

Istotnym elementem wsparcia będzie rozwój oraz wdrażanie technologii wychwytu, składowania i wykorzystania $CO_2$ (CCUS) w wymienionych branżach. Niezbędne jest ustalenie odpowiednich ram prawno-regulacyjnych, określenie dostępnych lokalizacji do podziemnego składowania $CO_2$, dopuszczenie składowania $CO_2$ na lądzie, wyznaczenie operatorów przesyłu oraz stworzenie dedykowanych instrumentów finansowych.

Działania powinny obejmować także promocję stosowania surowców i modeli gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ), zwłaszcza poprzez wdrażanie zaawansowanych metod recyklingu, efektywne zagospodarowanie produktów ubocznych i odpadów organicznych oraz minimalizowanie zużycia zasobów naturalnych. Należy również ograniczyć eksport surowców umożliwiających lokalną redukcję emisji.

Kluczowym elementem procesu jest prowadzenie intensywnych prac badawczo-rozwojowych, ukierunkowanych na tworzenie nowych technologii oraz realizację projektów pilotażowych demonstrujących praktyczne zastosowanie opracowanych rozwiązań. Szczególnie w przypadku przemysłu szklarniowego i rolniczego należy skoncentrować się na poprawie

efektywności energetycznej oraz oszczędności innych zasobów, takich jak woda. Prace badawczo-rozwojowe powinny prowadzić do wdrożenia technologii znacząco redukujących zapotrzebowanie na energię oraz zasoby naturalne w procesach produkcyjnych.

Istotnym aspektem transformacji jest ochrona rynku krajowego przed importem wyrobów wytwarzanych w krajach, gdzie emisje związane z produkcją są wyższe niż w Polsce, co pozwoli chronić konkurencyjność krajowych producentów. W szczególności, w kontekście strategicznego bezpieczeństwa żywnościowego, konieczne jest zapobieganie importowi tańszych produktów rolnych, takich jak warzywa szklarniowe, z państw nieponoszących kosztów polityki klimatycznej.

Kluczowe dla sukcesu transformacji jest zapewnienie dostępu do taniej i stabilnej energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, oraz analiza możliwości rewizji taryf przemysłowych i opłat dodatkowych.

www.ireform.eu