

Czyste ciepło dla przemysłu

Scenariusze elektryfikacji na przykładzie wybranych sektorów

Klaudia Janik, Bernard Swoczyna

Warszawa 2025



© Fundacja Instytut Reform, 2025

Powielanie dozwolone pod warunkiem podania źródła.

Autorzy

Klaudia Janik, Bernard Swoczyna

Współpraca

Marco Giuli, Anna Kraus, Paul Münnich (Agora Industry), Aleksander Śniegocki (Instytut Reform)

Raport powstał przy wsparciu ekspertów z Akademii Górniczo-Hutniczej oraz Agencji Rynku Energii, którzy dostarczyli dane oraz analizy wykorzystane w opracowaniu.

Opracowanie graficzne

Zofia Lasocka, Sylwia Niedaszkowska

Data publikacji

Czerwiec 2025 r.

Rekomendowane cytowanie:

Janik, K., Swoczyna, B., (2025), *Czyste ciepło dla przemysłu Scenariusze elektryfikacji na przykładzie wybranych sektorów*, Warszawa, Polska: Instytut Reform.

Publikacja została przygotowana w ramach projektu finansowanego przez Climate Imperative Foundation.

Źródło fotografii na okładce: xijian/iStock

Instytut Reform

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

REFORM

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

Streszczenie	5
1. Wprowadzenie	7
2. Krajowy kontekst przemysłu w Polsce.....	9
2.1. Produkcja w Polsce	9
2.2. Zapotrzebowanie na ciepło nisko- i średnitemperaturowe w Polsce	10
2.3. Zużycie energii i emisje w przemyśle papierniczym, spożywczym i chemicznym	10
2.4. Znaczenie gospodarcze przemysłu papierniczego, spożywczego i chemicznego.....	12
3. Zakres technologiczny – możliwe rozwiązania.....	14
3.1. Technologie pompy ciepła	14
3.2. Konwersja energii elektrycznej w ciepło	15
3.3. Podsumowanie	16
4. Szczegóły obliczeń	17
5. Elektryfikacja w przemyśle spożywczym.....	19
5.1. Ocena techniczno-ekonomiczna	19
5.2. Wyniki	19
6. Elektryfikacja w przemyśle papierniczym	22
7.1. Ocena techniczno-ekonomiczna	22
7.2. Wyniki.....	22
7. Elektryfikacja w przemyśle chemicznym.....	25
7.1. Ocena zapotrzebowania na ciepło w niskich i średnich temperaturach w przemyśle chemicznym	25
7.2. Wyniki.....	25

8. Podsumowanie wyników analizy scenariuszy	28
9. Bariery i potencjalne zagrożenia.....	29
10.1. Bariery techniczne	29
10.2. Bariery ekonomiczne	29
10.3. Wpływ na sieć energetyczną	31
10. Kontekst regulacyjny UE.....	33
10.1. Pakiet Fit for 55	33
10.2. Pakiet dla czystego przemysłu (Clean Industrial Deal).....	35
10.3. Gospodarka o obiegu zamkniętym	36
11. Systemy wsparcia dla przemysłu.....	38
11.1. Fundusze krajowe	38
11.2. Fundusz modernizacyjny UE	38
11.3. Inne fundusze UE.....	40
11.4. Planowane środki dla przemysłu.....	40
12. Rekomendacje	41

Streszczenie

Elektryfikacja ciepła procesowego ma potencjał, by przynieść polskiemu przemysłowi korzyści ekonomiczne i środowiskowe. Wraz ze wzrostem kosztów emisji oraz rozwojem odnawialnych źródeł energii, zasilanie zakładów energią elektryczną stanie się tańsze niż wykorzystywanie paliw kopalnych. **Już dziś powinniśmy rozwijać kompetencje w zakresie elektryfikacji polskich zakładów, by przygotować je na masowe inwestycje w nadchodzących latach.**

Dlaczego teraz?

Od 2027 roku zacznie obowiązywać system ETS2, który może w perspektywie 2035 r. podnieść cenę gazu nawet o 50% i podwoić koszt spalania węgla dla małych i średnich zakładów przemysłowych. Dzięki elektryfikacji przemysł może ograniczyć zależność od zmiennych cen i kosztów emisji dla paliw kopalnych i tym samym poprawić swoją konkurencyjność.

Dlaczego to ważne?

Przemysł przetwórczy jest jednym z filarów polskiej gospodarki – generuje 15,4% PKB (Eurostat, 2024)¹ i zatrudnia prawie 2,8 mln osób (GUS, 2025)², zużywając przy tym 20% potrzebnej w kraju energii (dane z 2023 r.). Znaczna część tej energii służy do produkcji ciepła – głównie z gazu ziemnego, węgla i biomasy. W efekcie sektor odpowiada za bezpośrednią emisję ponad 60 mln ton CO₂ rocznie – więcej niż całe ciepłownictwo sieciowe.

Tymczasem, wiele procesów technologicznych wymaga ciepła o niskiej (<100°C) lub średniej temperaturze (100-400°C), które można efektywnie wytworzyć z wykorzystaniem energii elektrycznej, np. przy użyciu pomp ciepła.

Które branże warto elektryfikować?

Duży potencjał elektryfikacji za pomocą pomp ciepła występuje w trzech branżach:

- **spożywczej** (w tym produkcja napojów i wyrobów tytoniowych),
- **papierniczej** (w tym produkcja pulpy celulozowej),
- **wybranych gałęziach przemysłu chemicznego**, np. w produkcji farmaceutyków i innych sektorach, gdzie rzadziej potrzebne jest wysokotemperaturowe ciepło.

Dla każdej z tych branż przeanalizowaliśmy trzy scenariusze rozwoju zakładając: kontynuację obecnych działań (business-as-usual), pełną elektryfikację lub model mieszany (elektryfikację z częściowym wykorzystaniem biomasy).

¹ Eurostat (2025), *Gross value added and income by main industry* – Tablice.

² GUS (2025), *Pracujący w gospodarce narodowej w Polsce w grudniu 2024 r.* – Tablice.

Kluczowe wnioski:

- **Przemysł spożywczy najlepiej nadaje się do elektryfikacji**, zarówno z wykorzystaniem biomasy, jak i bez niej.
 - ▢ z biomasą: oszczędności rzędu 264 mln zł rocznie w 2040 roku i 511 mln zł w 2050 roku.
 - ▢ bez biomasy (pełna elektryfikacja): oszczędności rzędu 216 mln zł rocznie w 2040 r. i 422 mln zł w 2050 r.
- **Przemysł papierniczy pozostanie konkurencyjny tylko przy wysokim wykorzystaniu biomasy odpadowej.**
 - ▢ oszczędności 96 mln zł rocznie w 2040 roku i 170 mln zł w 2050 roku.
- **Część przemysłu chemicznego również może zyskać na elektryfikacji**, pod warunkiem korzystnych cen energii po 2040 roku.
 - ▢ z niewielkim udziałem biomasy: 89 mln zł rocznie oszczędności w 2040 roku
 - ▢ bez biomasy: 51 mln zł rocznie w 2040 r. – mniejsze oszczędności, ale bez niepewności związanej z dostępnością biomasy.

Główne wyzwania:

Elektryfikacja napotyka techniczne, regulacyjne i rynkowe ograniczenia, takie jak:

- rosnącą presję konkurencyjną dla unijnego przemysłu ze strony światowych gospodarek,
- brak elastyczności w korzystaniu z taniej energii z OZE w branżach wymagających ciągłości procesów produkcji,
- trudności w uzyskaniu przyłączy o dużej mocy do sieci;
- niski udział OZE w polskim miksie energetycznym, co podnosi koszty energii z sieci.

Skuteczne przeprowadzenie dekarbonizacji tych sektorów w obliczu powyższych wyzwań i często nieoptymalnych kosztów operacyjnych wymaga wdrożenia konkretnych polityk ułatwiających ich rozwój.

Rekomendacje zmian:

W celu przyspieszenia elektryfikacji procesów przemysłowych zaleca się:

- **uruchomienie mechanizmów wsparcia dla elektryfikacji przemysłu**, szczególnie dla projektów integrujących magazynowanie ciepła lub energii elektrycznej;
- **uproszczenie procedur administracyjnych przyspieszających realizację inwestycji w OZE w zakładach przemysłowych**, zgodnie z dyrektywą REDIII;;
- **zmianę przepisów dotyczących linii bezpośrednich**, które pozwolą zakładom przemysłowym wykorzystać energię z własnych źródeł OZE;
- **prorowadzenie przejrzystej polityki transformacji energetycznej**, w tym:
 - ▢ zakończenie subsydiów dla paliw kopalnych,
 - ▢ ujednolicenie opłat za emisję dla różnych rodzajów emitentów gazów cieplarnianych;
 - ▢ stworzenie mapy drogowej dla dekarbonizacji przemysłu wraz z koniecznymi zmianami regulacyjnymi i źródłami finansowania.

1. Wprowadzenie

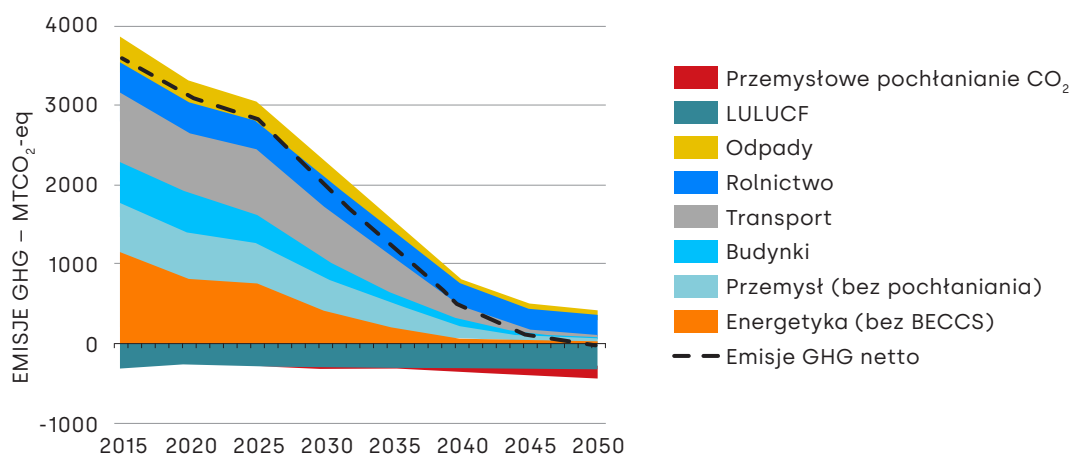
Obecna dekada to bardzo wymagający czas dla większości gałęzi przemysłu w Unii Europejskiej. Spadek popytu wynikający z pandemii COVID-19, trendów demograficznych i niepewności gospodarczej jest pogarszany przez zwiększoną konkurencję ze strony innych krajów. Przemysł w Europie musi pozostać konkurencyjny pomimo wyzwań, takich jak potrzeba dekarbonizacji koszyka energetycznego. Dekarbonizacja wymaga szeroko zakrojonych zmian w procesie produkcyjnym, co wiąże się z wysokimi kosztami kapitałowymi, ale w rzeczywistości jest niezbędnym krokiem do utrzymania konkurencyjności w dłuższej perspektywie – większość europejskich rywali ma znacznie większe rezerwy paliw kopalnych i tańszą siłę roboczą niż Stary Kontynent. Dlatego też dekarbonizacja jest sposobem na uniknięcie konkurowania wyłącznie ceną z kimś, kto ma tańsze czynniki produkcji.

Dekarbonizacja może wzmocnić konkurencyjność na dwa sposoby – po pierwsze, zapewnia lokalne dostawy energii, które nie są dostępne dla zagranicznych konkurentów. Jest to ważne, ponieważ eksporterzy paliw kopalnych zawsze mają niższe ceny na rynku krajowym, co stwarza pokusę rozwoju przemysłu krajowego w celu eksportu towarów znajdujących się wyżej w łańcuchu wartości. Po drugie – większość technologii transformacji energetycznej jest kapitałochłonna, ale ma niskie koszty operacyjne. Dlatego inwestowanie w dekarbonizację (w tym z wykorzystaniem dotacji lub preferencyjnych pożyczek) tworzy trwałą przewagę biznesową – droga infrastruktura pozostanie, podczas gdy konkurenci będą musieli zapłacić za jej budowę od podstaw. Dekarbonizacja będzie musiała zostać przeprowadzona wszędzie, ponieważ paliwa kopalne są zarówno ograniczone, jak i szkodliwe dla planety. Ich wykorzystanie będzie wiązało się z coraz wyższymi kosztami klimatycznymi i wydobywczymi. Jeśli Europa jako pierwsza przeprowadzi dekarbonizację, know-how i baza przemysłowa do dekarbonizacji innych kontynentów znajdą się tutaj, tworząc możliwości biznesowe dla eksportu towarów i usług związanych z dekarbonizacją w innych miejscach.

Neutralność klimatyczna wymaga stopniowego wycofywania paliw kopalnych ze wszystkich zastosowań w różnych sektorach gospodarki. Unia Europejska zobowiązała się do osiągnięcia zerowej emisji gazów cieplarnianych netto do 2050 r. oraz rozważyć obecnie cel 90% redukcji emisji netto do 2040 r. (Komisja Europejska, 2024)³. Wiele gałęzi przemysłu jest trudnych do dekarbonizacji ze względu na wysoką zależność przemysłu od paliw kopalnych, w tym do produkcji ciepła. Ciepło przemysłowe jest dostarczane głównie przez spalanie paliw, podczas gdy energia elektryczna jest wykorzystywana głównie do chłodzenia i dostarczania mocy mechanicznej.

³ Komisja Europejska (2024), *2040 climate target*.

Rysunek 1. Cele w zakresie emisji gazów cieplarnianych

Źródło: Komisja Europejska, 2025⁴⁴ Komisja Europejska (2024), *2040 climate target*.

Ponieważ emisyjność energii elektrycznej ma szybko spadać, elektryfikacja stała się kluczowym elementem strategii dekarbonizacji. Zastąpienie paliw kopalnych niskoemisyjną energią elektryczną pomogłoby uniknąć ryzyka i kosztów innych opcji, które wciąż znajdują się we wczesnych fazach wdrażania, takich jak wychwytywanie i składowanie lub wykorzystanie dwutlenku węgla (CCS/U) oraz pośrednia elektryfikacja za pomocą syntetycznych paliw opartych na energii elektrycznej (e-paliw), która jest obciążona niską wydajnością konwersji energii elektrycznej na paliwo. Ponadto technologie bezpośredniej elektryfikacji są już dojrzałe. Pompy ciepła (Agora i Fraunhofer, 2023)⁵, kotły i piece elektryczne to powszechnie dostępne komercyjnie technologie. Wdrożenie dodatkowych strategii dekarbonizacji będzie jednak konieczne w branżach, w których paliwa kopalne służą jako surowiec chemiczny (np. produkcja stali) lub w których CO₂ jest produktem ubocznym procesu przemysłowego (np. produkcja cementu). Wykorzystanie biomasy jest kontrowersyjne, ponieważ tylko ograniczoną ilość biomasy można naprawdę nazwać zrównoważoną (tj. nie przyczyniającą się do degradacji naturalnych ekosystemów, wypierania produkcji żywności lub konkurencji z bardziej wartościowym wykorzystaniem biomasy). Niektóre branże, w szczególności przemysł papierniczy oraz przemysł spożywczy, mają dostęp do znacznych ilości bioodpadów, które można wykorzystać do produkcji energii. Niniejsza publikacja koncentruje się na miksie energetycznym przemysłu, a nie na rynku biomasy. Traktujemy jako zrównoważoną taką biomasę, która jest sklasyfikowana jako taka zgodnie z przepisami UE.

⁵ Agora Energiewende, Fraunhofer IEG (2023), *The roll-out of large-scale heat pumps in Germany. Strategies for the market ramp-up in district heating and industry*.

W niniejszym dokumencie najpierw opisujemy znaczenie wybranych sektorów dla polskiej gospodarki, następnie przedstawiamy kontekst regulacyjny UE, krótkie podsumowanie rozwiązań technologicznych oraz ich zastosowanie w trzech omawianych sektorach przemysłu. Na zakończenie przedstawiamy informacje o systemach wsparcia elektryfikacji przemysłu, zgłaszanych barierach i rekomendacjach dotyczących ich usunięcia.

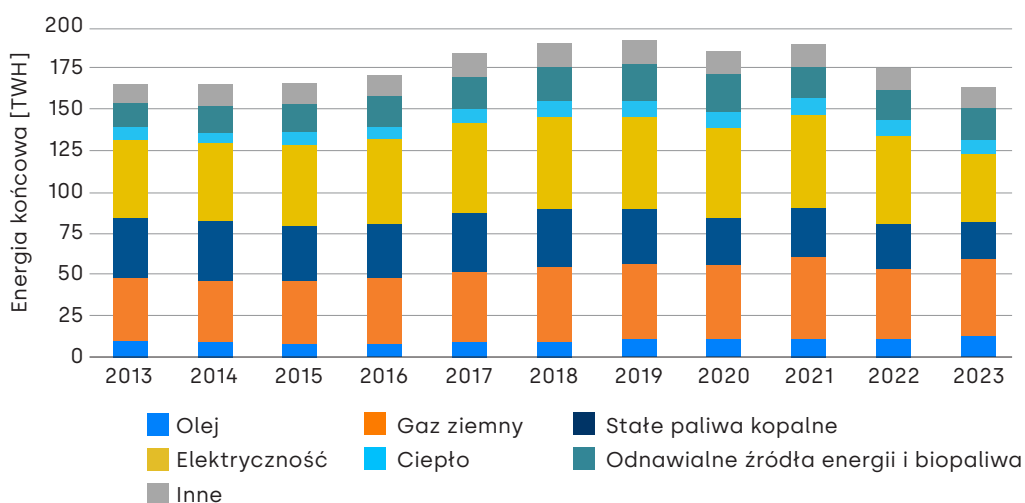
2. Krajowy kontekst – stan rozwoju przemysłu w Polsce

2.1. Zużycie i emisje z produkcji przemysłowej w Polsce

W 2023 r. zużycie energii końcowej w przemyśle w Polsce wyniosło 14 Mtoe⁶, odpowiadając tym samym za 20% całkowitego końcowego zużycia energii w kraju. Emisje CO₂ z przemysłu utrzymywały się na podobnym poziomie w ciągu ostatnich kilku lat, wynosząc ponad 60 mln ton rocznie i odpowiadając za prawie 19% krajowych emisji CO₂.

⁶ Według bazy danych Eurostatu. Dane z Eurostatu i GUS wykazują różnice, ponieważ Eurostat uwzględnia dane z kodów PKD B, C i F dla sektora przemysłu, podczas gdy GUS uwzględnia sekcje B, C, D i E (z wyjątkami).

Rysunek 2. Końcowe zużycie energii w przemyśle według paliw w Polsce



Źródło: dane Eurostatu za 2023 r.

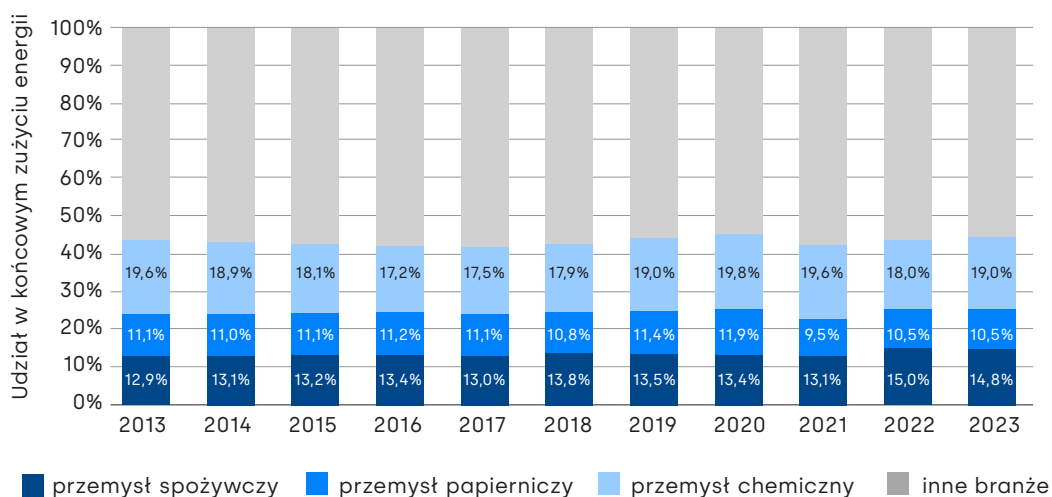
Zużycie energii w przemyśle stale rosło ze względu na krajowy wzrost gospodarczy, z wyjątkiem 2020 r., kiedy produkcja przemysłowa spadła po raz pierwszy od 2013 r. z powodu pandemii COVID i po raz drugi w latach 2021-2023 r. z powodu kryzysu cen energii. Krajowy przemysł jest silnie uzależniony od paliw kopalnych. Węgiel i gaz ziemny odpowiadają za 40% końcowego zużycia energii w przemyśle. Zużycie energii elektrycznej stanowi 30% całkowitego końcowego zużycia energii w przemyśle.

2.2. Zapotrzebowanie na ciepło nisko- i średniotemperaturowe w Polsce

Zapotrzebowanie na ciepło przemysłowe różni się w zależności od poziomów temperatury i zastosowań końcowych w zależności od sektora przemysłu. Największy techniczny i ekonomiczny potencjał elektryfikacji mają branże wykorzystujące ciepło niskotemperaturowe (<100°C) i średniotemperaturowe (100-400°C), ponieważ są one najłatwiejsze do elektryfikacji za pomocą technologii pomp ciepła (patrz Rozdział 4 i Załącznik 1), które mogą potencjalnie obniżyć koszty operacyjne w porównaniu z obecnym zużyciem paliw kopalnych. Trzy największe sektory o znaczącym zapotrzebowaniu na ciepło nisko- i średniotemperaturowe w Polsce obejmują:

- Przemysł papierniczy – około 11% końcowego zużycia energii w przemyśle;
- Przemysł spożywczy – około 13,6% końcowego zużycia energii w przemyśle;
- Przemysł chemiczny – około 18,6% końcowego zużycia energii w przemyśle.

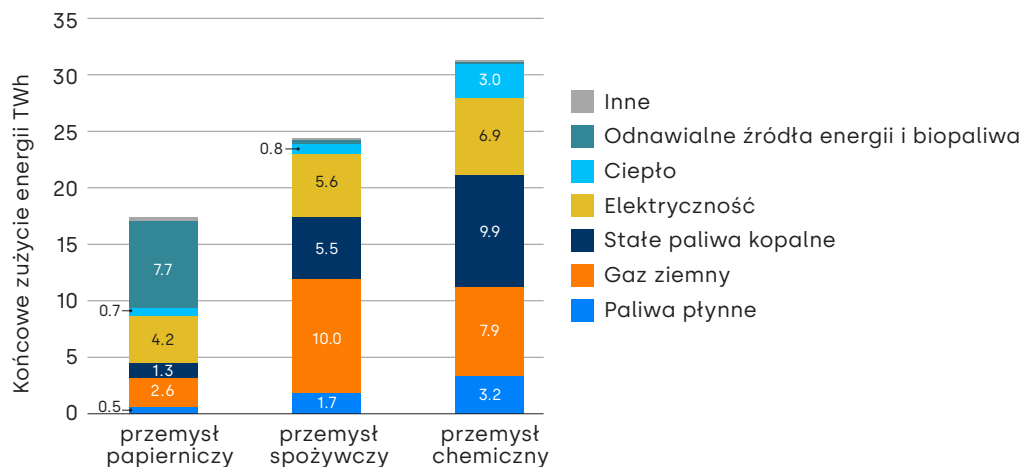
Rysunek 3. Udział przemysłu papierniczego, spożywczego i chemicznego w finalnym zużyciu energii w przemyśle w latach 2013-2023 w Polsce



Źródło: dane Eurostat

2.3. Zużycie energii i emisje w przemyśle papierniczym, spożywczym i chemicznym

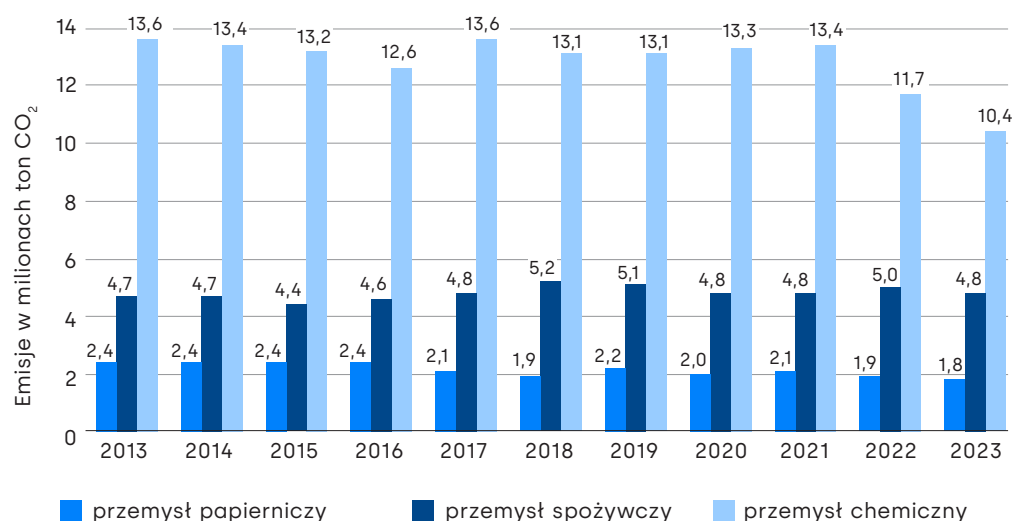
Końcowe zużycie energii w 2023 r. w przemyśle papierniczym, spożywczym i chemicznym wyniosło odpowiednio 17,2 TWh, 24,2 TWh i 31,1 TWh.

Rysunek 4. Końcowe zużycie energii według paliw w przemyśle papierniczym, spożywczym i chemicznym w Polsce w 2023 r.*Źródło: dane Eurostat*

W przemyśle papierniczym 45% końcowego zużycia energii pochodzi ze spalania biopaliw stałych, 25% zapotrzebowania na energię zaspokajane jest przez paliwa kopalne. Energia elektryczna stanowi 25% końcowego zużycia energii w tym sektorze. Wysokie zużycie biopaliw w przemyśle papierniczym wynika przede wszystkim z wykorzystania odpadów i produktów ubocznych powstających w procesie produkcji wyrobów papierniczych.

W pozostałych dwóch sektorach zużycie paliw kopalnych jest znacznie wyższe – w przemyśle spożywczym odpowiada za 71% końcowego zużycia energii, podczas gdy w przemyśle chemicznym wynosi 68% końcowego zużycia energii. Energia elektryczna stanowi 23% końcowego zużycia energii w przemyśle spożywczym i 22% końcowego zużycia energii w przemyśle chemicznym.

Emisje CO₂ z przemysłu wytwórczego utrzymują się na podobnym poziomie od kilku lat, osiągając 60-65 milionów ton rocznie. Emisje dwutlenku węgla z przemysłu papierniczego wynoszą 2 miliony ton rocznie, co stanowi 3% całkowitych emisji z przemysłu wytwórczego. Emisje CO₂ z przemysłu spożywczego są ponad dwukrotnie wyższe i wynoszą 4,5-5 mln ton. Spośród analizowanych sektorów, przemysł chemiczny wytwarza największą ilość dwutlenku węgla i odpowiada za około 13 milionów ton emisji CO₂ rocznie, co odpowiada 20% emisji z całego sektora produkcyjnego. Spadki emisji CO₂ w przemyśle chemicznym obserwowane w 2022 i 2023 r. wynikają głównie z cięć/zmniejszenia produkcji.

Rysunek 5. Emisje CO₂ w przemyśle papierniczym, spożywczym i chemicznym w Polsce

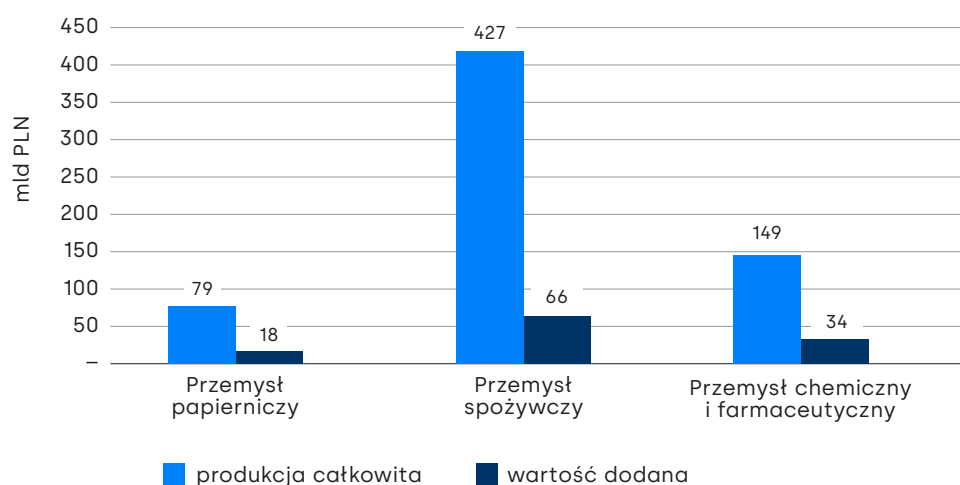
Źródło: Eurostat

2.4. Znaczenie gospodarcze przemysłu papierniczego, spożywczego i chemicznego

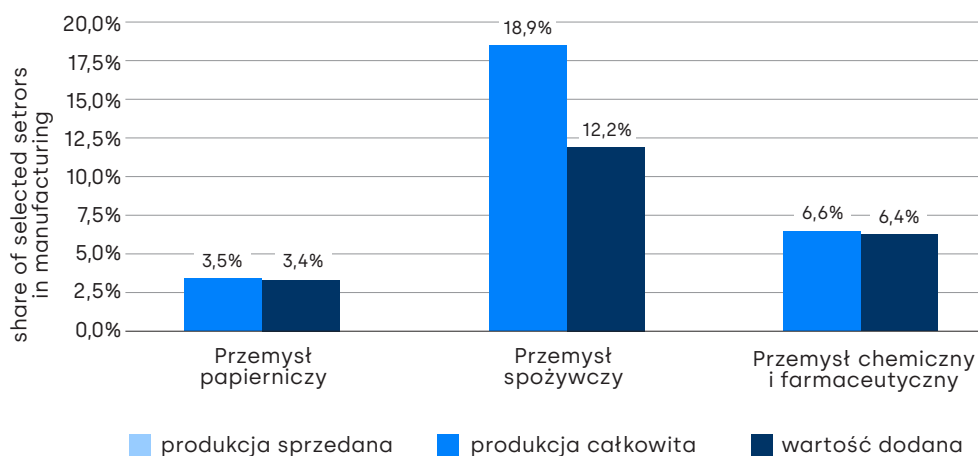
Pod względem wpływu na gospodarkę narodową, spośród 3 wymienionych sektorów, przemysł spożywczy jest sektorem o największej produkcji (~ 427 mld zł/rok), co stanowi 18,9% produkcji całego polskiego przemysłu wytwórczego. Całkowita produkcja przemysłu papierniczego i chemicznego wynosi odpowiednio 79 mld PLN i 149 mld PLN rocznie.

Najwięcej pracowników zatrudnia również przemysł spożywczy – 389,9 tys. osób. Liczba zatrudnionych w przemyśle papierniczym i chemicznym wynosi odpowiednio 63,1 tys. i 107 tys. osób.

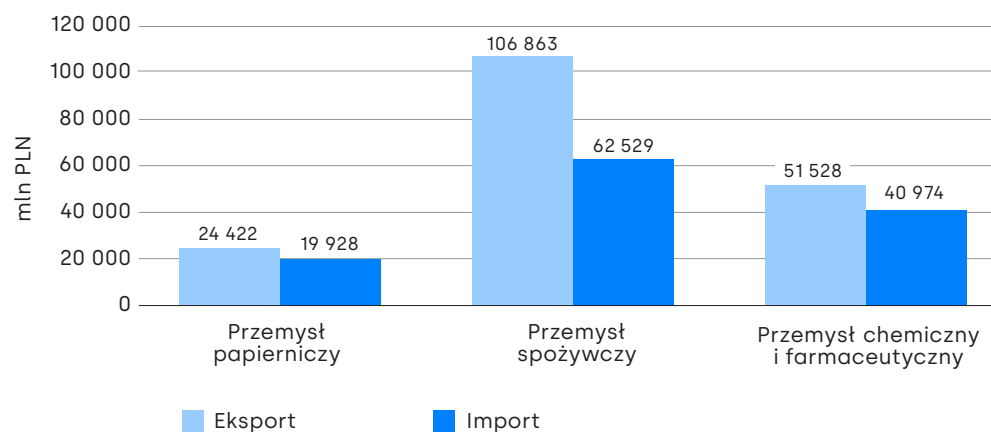
Eksport żywności i napojów stanowi 12% całkowitego eksportu w przemyśle wytwórczym. Eksport w przemyśle papierniczym i chemicznym stanowi odpowiednio 2,7% i 5,8% eksportu w przemyśle wytwórczym.

Rysunek 6. Podstawowe dane ekonomiczne dotyczące przemysłu papierniczego, spożywczego, chemicznego i farmaceutycznego w 2022 roku.

Źródło: Instytut Reform na podstawie Rocznika Statystycznego Przemysłu – Polska

Rysunek 7. Udział wybranych sektorów w przetwórstwie przemysłowym w Polsce w 2022 r.

Źródło: Instytut Reform na podstawie Rocznika Statystycznego Przemysłu – Polska

Rysunek 8. Eksport i import w przemyśle papirniczym, spożywczym, chemicznym i farmaceutycznym w 2022 r.

Źródło: Instytut Reform na podstawie Rocznika Statystycznego Przemysłu – Polska

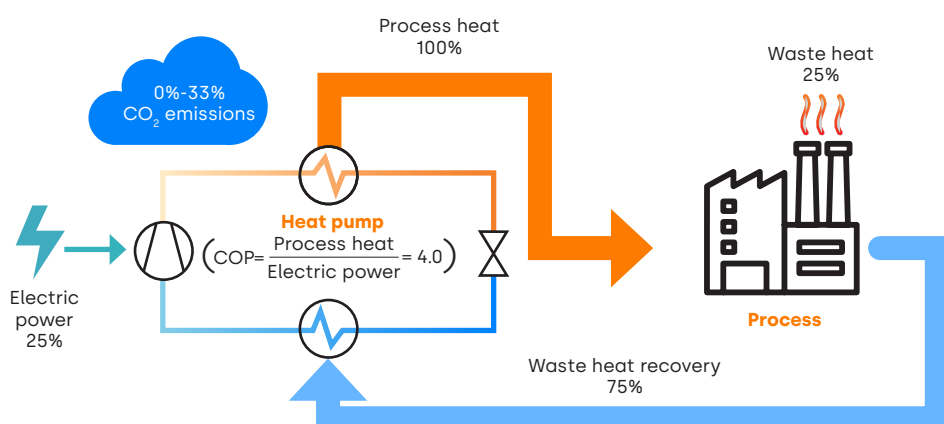
3. Zakres technologiczny – możliwe rozwiązania

Bezpośrednia elektryfikacja może dostarczać ciepło procesowe wykorzystując różne technologie. Bardziej szczegółowy opis poszczególnych technologii można znaleźć w Załączniku 1. Poniżej krótko omawiamy ich zalety i wady oraz najbardziej obiecujące zastosowania.

3.1. Technologie pomp ciepła

Technologie pomp ciepła (pompy ciepła i mechaniczna kompresja pary) są wyjątkowe wśród zelektryfikowanych technologii grzewczych. Zamiast bezpośrednio przekształcać energię elektryczną na ciepło, pompa ciepła wykorzystuje energię elektryczną do przenoszenia ciepła z obszaru o niższej temperaturze („źródło ciepła”) do obszaru o wyższej temperaturze („miejsce oddawania ciepła”). Ponieważ większość energii docierającej do miejsca oddawania ciepła pochodzi ze źródła ciepła, a nie z sieci elektroenergetycznej, technologie pomp ciepła osiągają kilkakrotnie wyższą sprawność niż technologie przekształcające jedynie energię elektryczną na ciepło.

Rysunek 9. Uproszczony schemat procesu działania pompy ciepła



Źródło: De Boer i in. (2020)⁷

⁷ de Boer, R., Marina, A., Zühlsdorf, B., Arpagaus, C., Bantle, M., Wilk, V., Elmegaard, B., Corberán, J., & Benson, J. (2020), *Strengthening Industrial Heat Pump Innovation: Decarbonizing Industrial Heat*.

Większość technologii pompowania ciepła opiera się na odparowywaniu i skraplaniu przy różnych poziomach ciśnienia. Mechaniczna kompresja pary wykorzystuje jako medium parę wodną z samego produktu, dlatego najlepiej nadaje się do procesów destylacji

i odparowywania, takich jak suszenie mleka do mleka skondensowanego. Pompy ciepła wykorzystują pośredni obieg czynnika chłodniczego (takiego jak propan, fluorowęglowodory lub amoniak) do odprowadzania ciepła ze źródła ciepła do miejsca ogrzewanego.

Głównym ograniczeniem mocy pomp ciepła jest ilość ciepła dostępna w źródle ciepła, a głównym ograniczeniem ich wydajności jest różnica temperatur między źródłem ciepła a medium ogrzewanym.

Technologie pomp ciepła najlepiej sprawdzają się w przypadkach, gdy większość ciepła można odzyskać z produktu w temperaturze niewiele niższej niż temperatura ogrzewania produktu. W przypadkach, w których ciepło z produktu jest rozpraszane, alternatywą jest pobieranie ciepła z otaczającego środowiska, jednak temperatury zewnętrzne są zmienne i pozostają niskie przez większą część roku, dlatego jest to rozwiązanie tylko dla ciepła o niskiej temperaturze (np. ogrzewanie domu) lub gdy istnieje rezerwowe źródło ciepła na najzimniejszą część roku.

Technologie pomp ciepła są również bardzo dobre w odzyskiwaniu ciepła odpadowego. Każdy system chłodniczy jest zasadniczo pompą ciepła, a zatem podniesienie temperatury wylotu ciepła lub wykorzystanie ciepła odpadowego jako źródła ciepła dla drugiej pompy ciepła pozwala przekształcić ciepło odpadowe w cenne ciepło o wyższej temperaturze.

Technologie pomp ciepła są zwykle bardziej złożone i kapitałochłonne niż inne rodzaje ogrzewania, dlatego najlepiej nadają się do ciągłego dostarczania ciepła. Dostarczanie ciepła w sposób przerywany, ogrzewanie w krótkich impulsach lub bardzo precyzyjne dostarczanie ciepła jest zwykle łatwiejsze dzięki konwersji energii elektrycznej na ciepło.

3.2. Konwersja energii elektrycznej na ciepło

Konwersja energii elektrycznej na ciepło jest zwykle znacznie prostsza z inżynierskiego punktu widzenia niż pompowanie ciepła, ponieważ nie wymaga budowania obiegu czynnika chłodniczego w celu odzyskania i przekazania ciepła do miejsca ogrzewanego. Konwersja energii elektrycznej na ciepło o wysokiej temperaturze odbywa się zwykle z niemal 100% sprawnością, ale dalsze przekazywanie ciepła do produktu lub proces ogrzewania przestrzeni roboczej (w przypadku pracy przerywanej) może powodować dodatkowe straty energii.

Konwersja energii elektrycznej na ciepło może zapewnić ciepło o niemal dowolnej temperaturze, ograniczonej jedynie właściwościami materiałowymi instalacji. Energia elektryczna jest zwykle przekształcana na ciepło o wysokiej temperaturze poprzez opór elektryczny, a następnie rozprowadzana do produktu poprzez przewodzenie, konwekcję lub promieniowanie. Ze względów praktycznych lub bezpieczeństwa ciepło jest często przenoszone przez pośredni obieg powietrza, pary, wody lub oleju termicznego, co ogranicza temperaturę w pobliżu produktu i/lub umożliwia lepsze rozprowadzenie ciepła. Inną, odrębną technologią jest ogrzewanie mikrofalowe, które przenosi ciepło bezpośrednio do cząsteczek wody w produkcie za pomocą fal elektromagnetycznych o określonej długości. Kotły elektrodowe i promienniki podczerwieni są przykładami konwersji energii elektrycznej na ciepło poprzez opór elektryczny.

Główną zaletą konwersji energii elektrycznej na ciepło jest niemal całkowita niezależność od reszty procesu, ponieważ nie wymaga ona pobierania ciepła z żadnego źródła ciepła ani z otoczenia. Ciepło może być dostarczane w niemal dowolnej temperaturze i może być bardzo precyzyjnie kontrolowane. Dobrym przykładem trudnego do elektryfikacji za pomocą pompy ciepła procesu jest pieczenie chleba, które wymaga dostar-

czenia dużych ilości promieniowania podczerwonego lub bardzo gorącego powietrza na zewnętrzną powierzchnię chleba, aby uczynić go chrupiącym, podczas gdy tylko niewielka część ciepła z odparowania wody lub chłodzenia gotowego bochenka może być odzyskana w wystarczająco wysokiej temperaturze, aby wykorzystać ją jako dolne źródło ciepła dla pompy ciepła.

Technologie konwersji energii elektrycznej na ciepło są zazwyczaj dość proste i cechują się niskimi kosztami inwestycyjnymi, mają ugruntowaną pozycję w branży i nie sprawiają dużych trudności we wdrożeniu. Minusem są wyższe koszty eksploatacji (wynikające przede wszystkim z wysokich cen energii) oraz konieczność okresowej wymiany grzałek.

3.3. Podsumowanie

Najbardziej wydajną dostępną technologią elektryfikacji są pompy ciepła, ale zakres ich zastosowania jest ograniczony do procesów, w których możliwy jest odzysk znacznej ilości ciepła o niewiele niższej temperaturze z kolejnej fazy procesu produkcyjnego. W innych zastosowaniach konwersja energii elektrycznej na ciepło może z powodzeniem zastąpić paliwa kopalne, choć często wiąże się to ze znacznie wyższymi kosztami operacyjnymi.

Tabela 1. Podsumowanie technologii nisko- i średniotemperaturowego ciepła przemysłowego

Technologia	Technologie pomp ciepła	Konwersja energii elektrycznej na ciepło
Przykłady	Pompy ciepła, mechaniczna kompresja pary	Kotły elektryczne, kotły elektrodowe, grzejniki mikrofalowe, grzejniki na podczerwień
Wydajność konwersji energii elektrycznej	W dużej mierze zależy od zastosowania – od 1,6 do 10 lub więcej, dla większości zastosowań w zakresie 2-4,5	Zwykle blisko 1 (sprawność 90-100%), w przypadku ogrzewania mikrofalowego lub otwartych piekarników może wynosić 0,5-0,85.
Zakres zastosowania	Szeroki, ale pewne procesy mogą mieć specyficzne wymagania, które sprawiają, że ten sposób elektryfikacji jest niepraktyczny	Bardzo szeroki, może zastąpić paliwa kopalne w prawie każdym zastosowaniu dla ciepła o niskiej i średniej temperaturze, jeśli nie bierze się pod uwagę kosztów operacyjnych.
Koszty inwestycji	Wysokie do bardzo wysokich	Zwykle niskie lub umiarkowane
Koszty operacyjne	Niskie do umiarkowanych ze względu na znacznie lepszą efektywność energetyczną niż w przypadku elektrycznego ogrzewania oporowego	Bardzo wysokie, gdy jest używana jako główne (podstawowe) źródło ciepła, często znacznie wyższe niż alternatywa oparta na paliwach kopalnych.
Integracja z procesem	W zależności od zastosowania – czasami łatwa, czasami wymagająca przebudowy znacznej części linii produkcyjnej.	Zwykle łatwa, ale może wymagać znacznych zmian w instalacji elektrycznej i przyłączy elektrycznym.
Dojrzałość technologiczna	W zależności od zastosowania – ugruntowana w przemyśle lub wciąż niszowo stosowana (dla szczególnie wysokich temperatur i/lub szczególnie dużych różnic temperatur)	Ugruntowana pozycja w branży

4. Szczegóły obliczeń

Niniejszy dokument analizuje możliwość zastąpienia paliw kopalnych energią odnawialną w trzech ważnych sektorach polskiej gospodarki:

- **Przemysł spożywczy:** Obejmuje 3 kategorie określone przez Główny Urząd Statystyczny: produkcja artykułów spożywczych, produkcja napojów i produkcja wyrobów tytoniowych.
- **Przemysł papierniczy:** Obejmuje to 1 kategorię, określoną przez GUS: produkcja papieru i wyrobów z papieru.
- **Przemysł chemiczny (część):** Przemysł chemiczny jako całość wykorzystuje dużo ciepła o wysokiej temperaturze w procesach takich jak rafinacja ropy naftowej i produkcja nawozów. Ograniczyliśmy to badanie do kategorii innych niż „Podstawowe chemikalia” w bazie danych JRC-IDEES. Kategorie te to „Inne chemikalia” i „Produkty farmaceutyczne itp.”. Odpowiednie dane GUS to: produkcja chemikaliów i wyrobów chemicznych oraz produkcja wyrobów farmaceutycznych. **Liczby w poniższych sekcjach dotyczą zatem części przemysłu chemicznego, a nie całości.**

Te trzy wybrane sektory mają najwyższy udział ciepła niskotemperaturowego (<100°C) i średniotemperaturowego (100–400°C) w zużyciu energii. Ciepło nisko- i średniotemperaturowe jest łatwiejsze do zelektryfikowania niż ciepło wysokotemperaturowe, ponieważ niskie różnice temperatur pozwalają na wykorzystanie pomp ciepła, które są bardziej wydajne niż elektryczne ogrzewanie oporowe.

Dla każdej z branż zaproponowano trzy ścieżki:

Scenariusz 1 – Biznes jak zwykle

Nie ma zmian w miksie energetycznym przemysłu, jednak zmiany w miksie energii elektrycznej w kraju wpływają na emisyjność energii elektrycznej z sieci.

Scenariusz 2 – 100% elektryfikacji

Stopniowe zastępowanie wszystkich obecnych źródeł ciepła (w tym biomasy) zelektryfikowanym ogrzewaniem do 2050 r.

Scenariusz 3 – mieszany

Stopniowe zastępowanie paliw kopalnych do 2050 r., w tym wycofanie węgla do 2040 r. Dozwolone dalsze wykorzystanie biomasy.

Ścieżki zostały zaproponowane w celu osiągnięcia 100% zerowej emisji gazów cieplarnianych netto dla scenariuszy 2 i 3, w tym przejścia na 100% zelektryfikowane ciepło

w scenariuszu 2. Wszystkie scenariusze mają hipotetyczną wartość poglądową. **Żaden ze scenariuszy nie powinien być traktowany jako „najbardziej prawdopodobny” lub „zalecany”.** Procentowe zmiany w koszyku energii użytecznej zostały dodane do modelu jako dane wejściowe. **Celem nie jest pokazanie optymalnej kosztowo ścieżki, ale ocena skutków przyjęcia różnych trajektorii.**

W rzeczywistości niektóre branże mogą dostosowywać się przy użyciu kombinacji różnych technologii (takich jak istniejący kocioł gazowy i nowy kocioł elektrodowy) lub mogą przejść na pracę sezonową w przypadku zmniejszonego popytu i dużej zmienności cen energii elektrycznej. Nie zostało to uwzględnione w tym badaniu, ponieważ efekt byłby tymczasowy (paliwa kopalne muszą zostać całkowicie wycofane w dłuższej perspektywie), a oszczędności, choć prawdopodobnie wystarczająco duże, aby uzasadnić budowę, prawdopodobnie nie byłyby większe niż kilka procent całkowitych wydatków na energię w każdej branży.

Na potrzeby analizy przyjęto, że zapotrzebowanie na ciepło w przemyśle pozostanie na poziomie z 2019 r. w dającej się przewidzieć przyszłości. Oczekuje się, że wszelkie wzrosty wydajności zostaną zrównoważone przez wzrost produkcji. Założono również, że wydajność i koszt każdej technologii będą stałe, ponieważ wzrost wydajności często wiąże się z wyższymi nakładami kapitałowymi – klasycznym przykładem jest wymiennik ciepła dla pompy ciepła – wymiennik ciepła zapewniający mniejszą różnicę temperatur będzie miał większą powierzchnię wymiany ciepła, a tym samym wyższy koszt kapitałowy. W przypadku innowacyjnych rozwiązań, takich jak wysokotemperaturowe pompy ciepła, rozwój technologii i zwiększenie skali produkcji może obniżyć koszty, jednak technologie te często opierają się na stosunkowo drogich i rzadkich surowcach, takich jak miedź, lub na masowym użyciu energochłonnych materiałów, takich jak aluminium i stal, które mogą być droższe w przyszłości.

Ceny nośników energii zostały zaczerpnięte z polskiego KPEiK oraz z założeń własnych. Emisyjność energii elektrycznej w krajowej sieci elektrycznej została zaczerpnięta ze scenariusza WAM w ostatniej dostępnej w konsultacjach wersji KPEiK i ekstrapolowana na rok 2050.

5. Elektryfikacja w przemyśle spożywczym

Przemysł spożywczy jest największym i najważniejszym z trzech analizowanych pod względem obrotów gospodarczych. Szczegóły dotyczące założeń i metod, a także szczegółowe wyniki można znaleźć w Aneksie 2 i 3. Poniżej przedstawiono kluczowe wyniki.

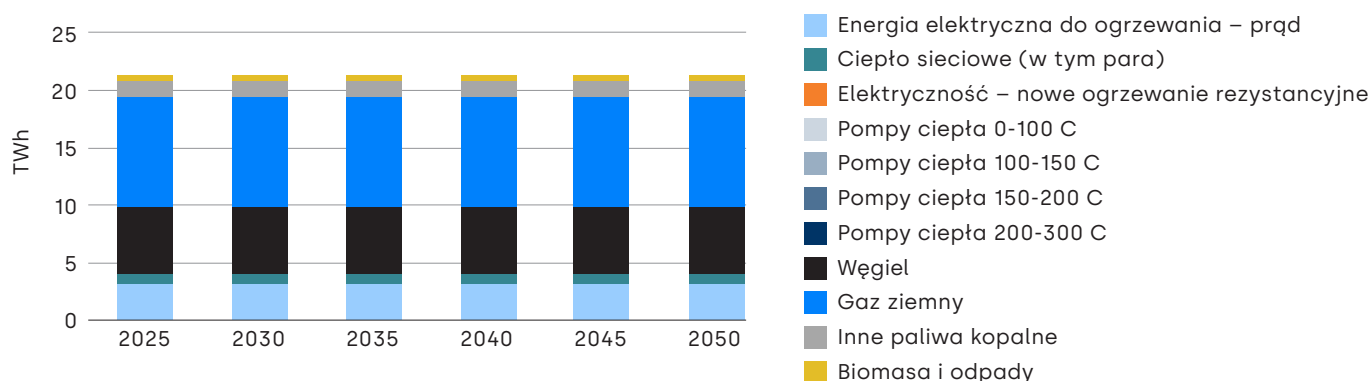
5.1. Ocena techniczno-ekonomiczna

Większość procesów w przemyśle spożywczym jest przeprowadzana pod ciśnieniem atmosferycznym i w temperaturach do 100 C, ponieważ produkty spożywcze zwykle zawierają dużo wody, która pozostaje w stanie płynnym. Żywność i napoje są zwykle podgrzewane w celu rozbicia komórek roślinnych i długich, niemożliwych do strawienia cząsteczek (gotowanie), zniszczenia potencjalnie szkodliwych mikroorganizmów (pasteryzacja i sterylizacja) lub zmniejszenia ilości wody (destylacja). Niektóre produkty spożywcze wymagają kontaktu ze znacznie wyższymi temperaturami, aby przejść reakcję Maillarda (jak w przypadku chleba z chrupiącą skórką). W przypadku niektórych, szczególnie płynnych produktów, możliwe jest efektywne odzyskiwanie ciepła podczas procesu chłodzenia. Wiele fabryk żywności i napojów posiada również rozbudowane instalacje chłodnicze, które mogą być wykorzystywane jako źródła ciepła odpadowego.

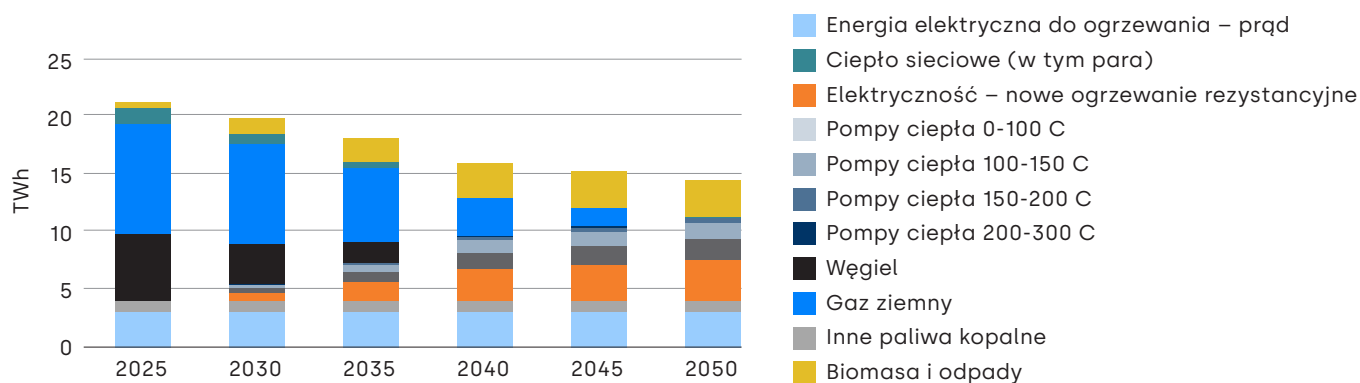
Przemysł spożywczy opiera się głównie na gazie ziemnym i węglu, przy czym znaczna, około 15% mniejszość ciepła dostarczana jest przez energię elektryczną. Biomasa i odpady są wykorzystywane, gdy są dostępne, podczas gdy paliwa płynne (takie jak LPG) są używane, gdy gaz ziemny jest niedostępny lub przejściowo droższy od gazu płynnego.

5.2. Wyniki

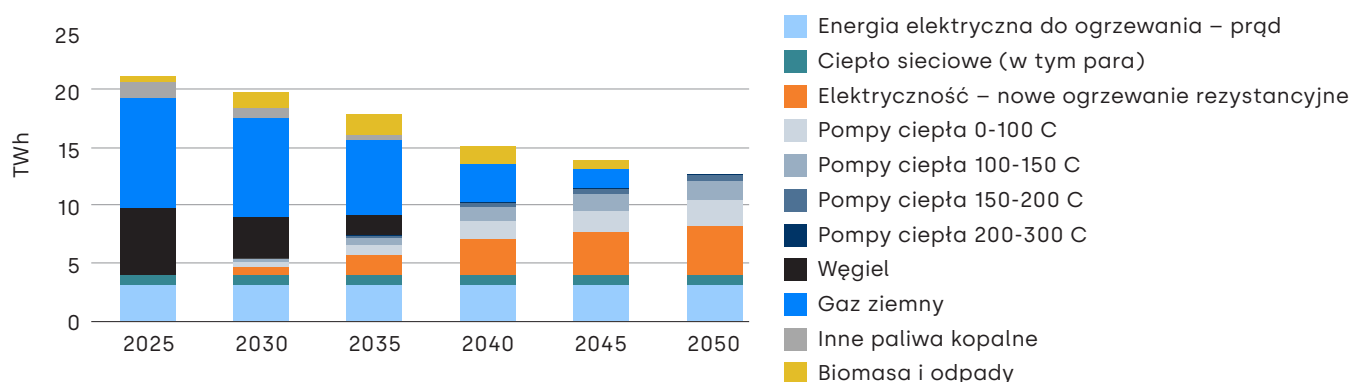
Do analizy transformacji energetycznej i jej kosztów wzięto pod uwagę trzy scenariusze. Różnią się one włączeniem różnych końcowych nośników energii do miksu energetycznego każdego sektora. Poniżej przedstawiono miks energetyczny dla każdego scenariusza:

Rysunek 10. Koszyk energii końcowej w przemyśle spożywczym w scenariuszu BAU

Źródło: opracowanie Instytutu Reform

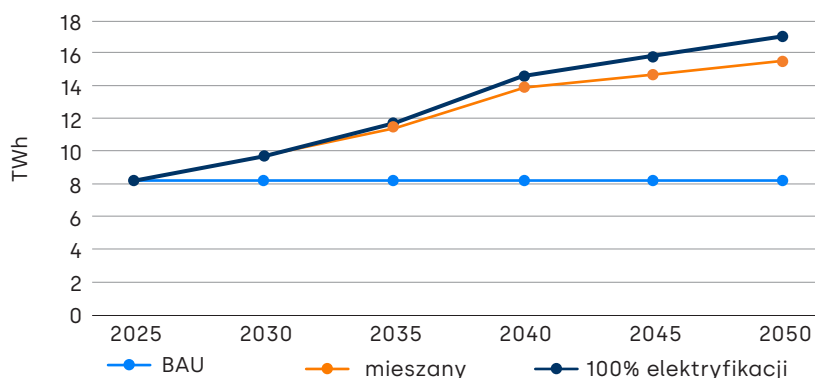
Rysunek 11. Koszyk energii końcowej w przemyśle spożywczym w scenariuszu mieszanym

Źródło: opracowanie Instytutu Reform

Rysunek 12. Koszyk energii końcowej w przemyśle spożywczym w scenariuszu 100% elektryfikacji

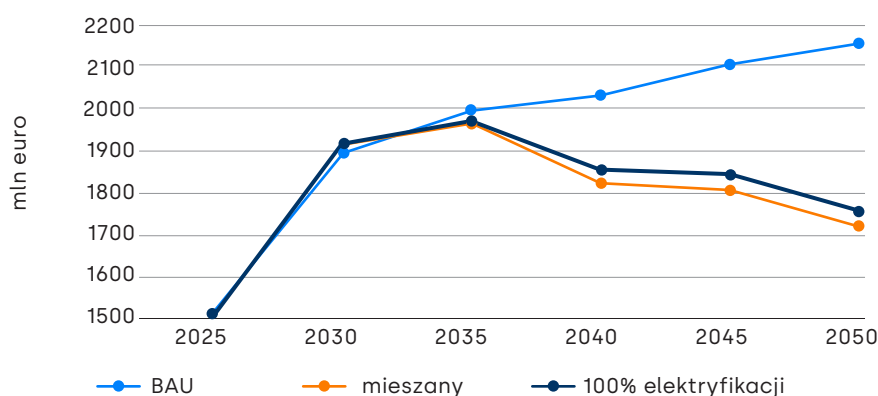
Źródło: opracowanie Instytutu Reform

Rosnące wykorzystanie energii elektrycznej do ogrzewania prowadzi do gwałtownego wzrostu zużycia energii elektrycznej – ostatecznie podwojenia w roku 2050 w scenariuszu 100% elektryfikacji – nawet z uwzględnieniem energii elektrycznej zużywanej na inne potrzeby niż ciepło.

Rysunek 13. Całkowite zużycie energii elektrycznej w sektorze spożywczym we wszystkich scenariuszach

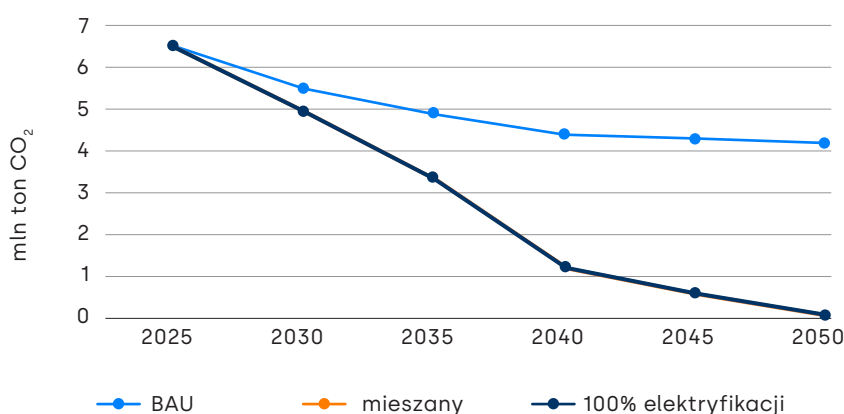
Źródło: opracowanie Instytutu Reform

Zmiana miksu grzewczego prowadzi do zmiany całkowitych kosztów ciepła. Dla sektora spożywczego dekarbonizacja jest bardzo opłacalną opcją, ponieważ powszechne stosowanie pomp ciepła pozwala na znaczny spadek kosztów całkowitych.

Rysunek 14. Całkowity koszt ciepła w sektorze żywności we wszystkich scenariuszach

Źródło: opracowanie Instytutu Reform

Zastąpienie paliw kopalnych energią elektryczną prowadzi do znacznej redukcji emisji gazów cieplarnianych. Potwierdza to fakt, że energia elektryczna w sieci i rozproszone ciepło również mają być stopniowo dekarbonizowane.

Rysunek 15. Emisje gazów cieplarnianych z zakresu 1 i 2 w sektorze spożywczym we wszystkich scenariuszach

Źródło: opracowanie Instytutu Reform

6. Elektryfikacja w przemyśle papierniczym

Przemysł papierniczy jest jednym z niewielu sektorów przemysłu, który produkuje znaczną część zużywanej energii samodzielnie i z odnawialnego źródła energii (biomasy). Badanie obejmowało analizę fabryki referencyjnej produkującej papier z drewna. Więcej szczegółów na temat założeń do obliczeń i wyników można znaleźć w Aneksie 2 i 4.

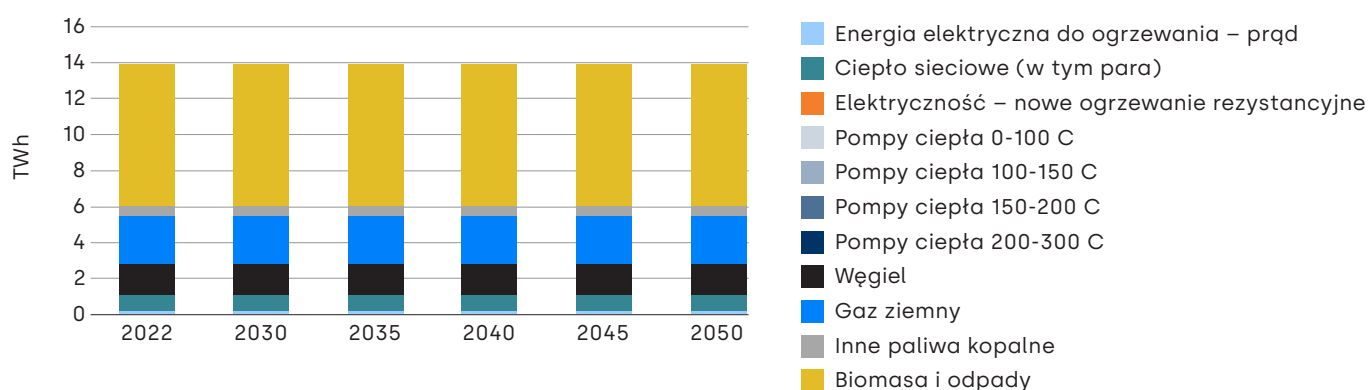
6.1. Ocena techniczno-ekonomiczna

Produkcja papieru z drewna odbywa się poprzez wytwarzanie masy celulozowej z wiórów drzewnych, a następnie przekształcanie jej w gotowy produkt. Przy pierwszym etapie powstaje dużo palnych produktów ubocznych pochodzących z drewna. Te odnawialne paliwa obejmują m.in. tzw. ług czarny i korę drzewną. Fabryka produkująca masę celulozową na sprzedaż może być eksporterem netto ciepła i energii elektrycznej. Produkcja papieru z masy papierniczej wytwarza znacznie mniej palnych produktów ubocznych, ale nadal wymaga dużej ilości ciepła i energii mechanicznej.

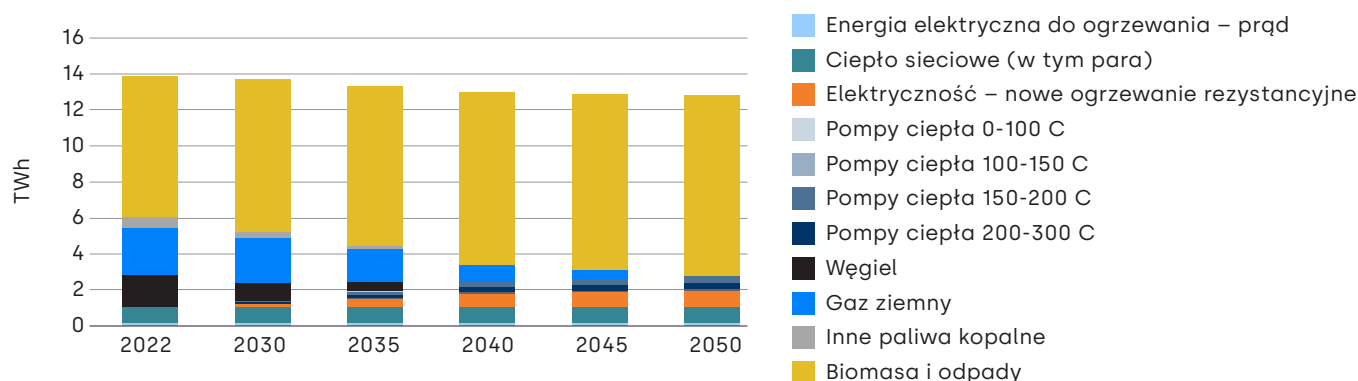
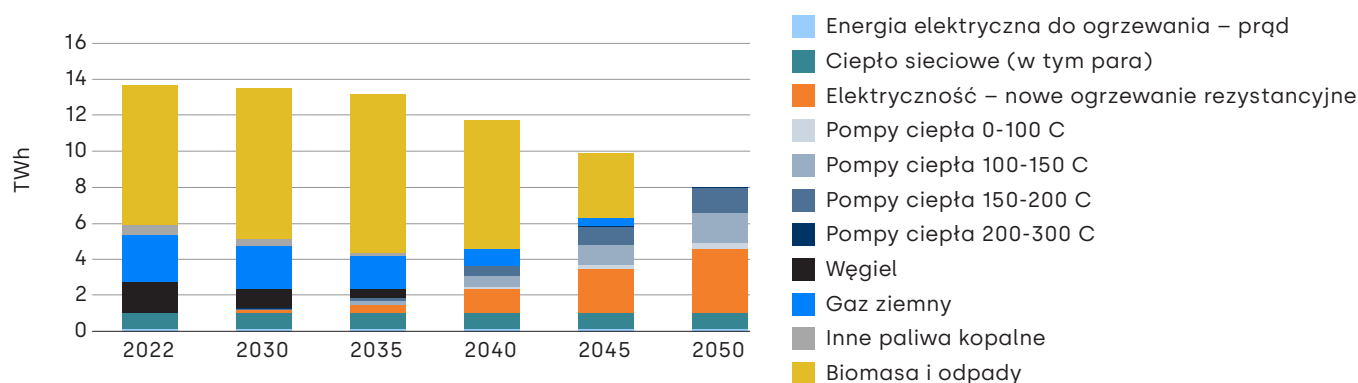
6.2. Wyniki

W przypadku przemysłu papierniczego uwzględniono trzy scenariusze. Różnią się one włączeniem różnych końcowych nośników energii do miksu energetycznego każdego sektora. Poniżej przedstawiono podsumowanie wyników. Bardziej szczegółowe wyniki znajdują się w Załączniku 4.

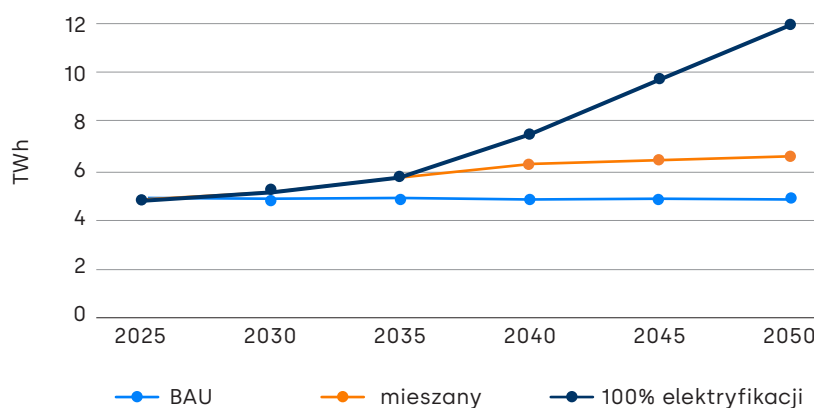
Rysunek 16. Koszyk energii końcowej w przemyśle papierniczym w scenariuszu BAU



Źródło: opracowanie Instytutu Reform

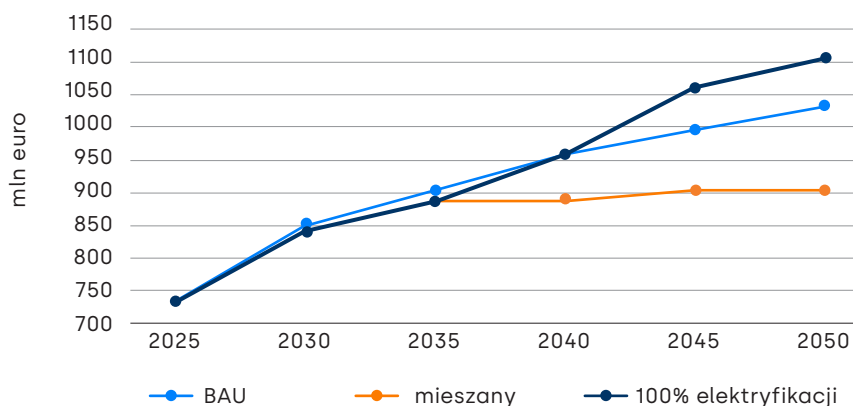
Rysunek 17. Koszyk energii końcowej w przemyśle papierniczym w scenariuszu mieszanym**Rysunek 18. Koszyk energii końcowej w przemyśle papierniczym w scenariuszu 100% elektryfikacji**

Scenariusz mieszany dla przemysłu papierniczego zakłada dekarbonizację głównie za pomocą biomasy. Scenariusz 100% elektryfikacji znacznie zwiększa zużycie energii elektrycznej – prawie trzykrotnie w stosunku do obecnego zużycia dla wszystkich zastosowań.

Rysunek 19. Całkowite zużycie energii elektrycznej w sektorze papierniczym we wszystkich scenariuszach

Zmiana miks grzewczego ma duży wpływ na koszty energii. Dekarbonizacja przemysłu papierniczego za pomocą biomasy i energii elektrycznej jest opłacalna, podczas gdy pełna konwersja na energię elektryczną (z wycofaniem biomasy) nie jest opłacalna.

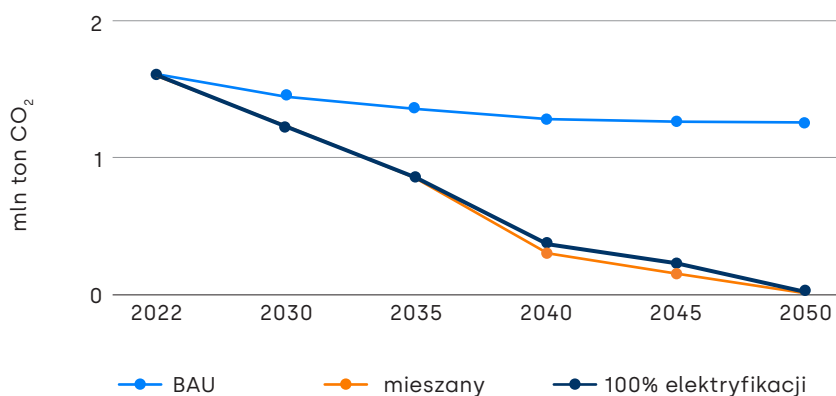
Rysunek 20. Całkowite koszty ciepła w sektorze papierniczym we wszystkich scenariuszach



Źródło: opracowanie Instytutu Reform

Dwa scenariusze prowadzące do zerowej emisji gazów cieplarnianych oferują gwałtowny spadek emisji CO₂ w przeciwieństwie do scenariusza BAU, który obejmuje jedynie dekarbonizację zakupionej energii. Ponieważ biomasa jest uważana za zeroemisyjną w tym badaniu, większe wykorzystanie biomasy prowadzi do nieco niższych emisji w okresie przejściowym, ponieważ energia elektryczna w sieci nie zostanie całkowicie zdekarbonizowana do 2050 roku.

Rysunek 21. Emisje gazów cieplarnianych z zakresu 1 i 2 w sektorze papierniczym we wszystkich scenariuszach



Źródło: opracowanie Instytutu Reform

7. Elektryfikacja w przemyśle chemicznym

Przemysł chemiczny jest najbardziej zróżnicowanym z trzech analizowanych. Obejmuje on zarówno podstawowe chemikalia, które są produkowane w milionach ton rocznie, jak i produkty farmaceutyczne, których roczna produkcja może być wyrażona jedynie w kilogramach. Zwykle surowce obejmują cząsteczki paliw kopalnych, podstawowe minerały i w mniejszym stopniu substancje pochodzące z biomasy. W tym badaniu część przemysłu chemicznego oznaczona jako „podstawowe chemikalia” została wyłączona z obliczeń, więc ta sekcja obejmuje tylko niewielką część ogólnego zużycia energii i wpływu przemysłu chemicznego na klimat. Szczegóły dotyczące założeń i metod, a także wyniki można znaleźć w Załączniku 2 i 5. Poniżej przedstawiono jedynie niektóre wyniki.

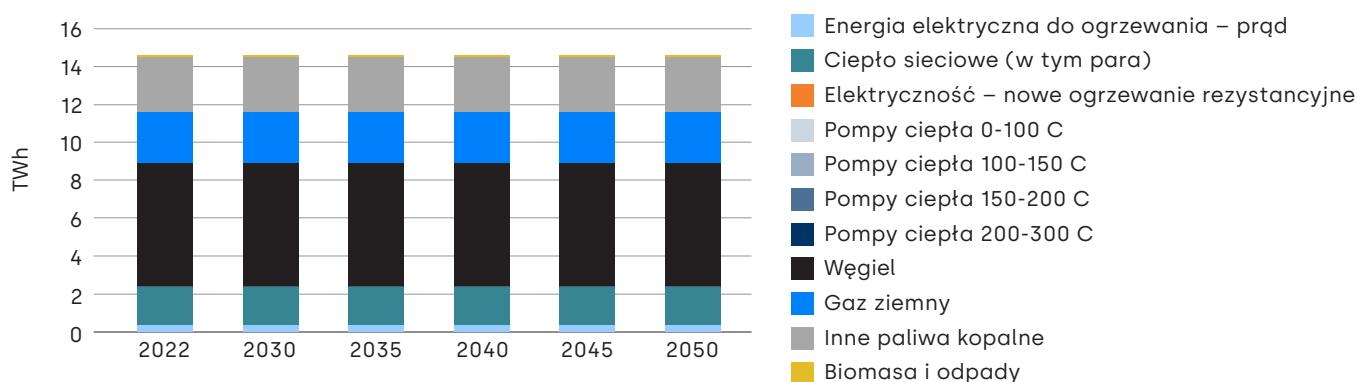
7.1. Ocena zapotrzebowania na ciepło w niskich i średnich temperaturach w przemyśle chemicznym

Przemysł chemiczny wymaga ogromnych ilości ciepła na bardzo różnych poziomach temperatury. Zakres produktów (i wymagań procesowych) jest bardzo zróżnicowany. Możliwe jest znalezienie pewnych synergii, takich jak wykorzystanie ciepła odpadowego z procesu o wyższej temperaturze do zasilania procesu o niższej temperaturze. Dodatkowo dość często ciepło odpadowe jest odzyskiwane z procesów w wysokich temperaturach, co umożliwia wykorzystanie mechanicznej rekompresji pary (pary wodnej lub innych substancji lotnych) i wysokotemperaturowych pomp ciepła.

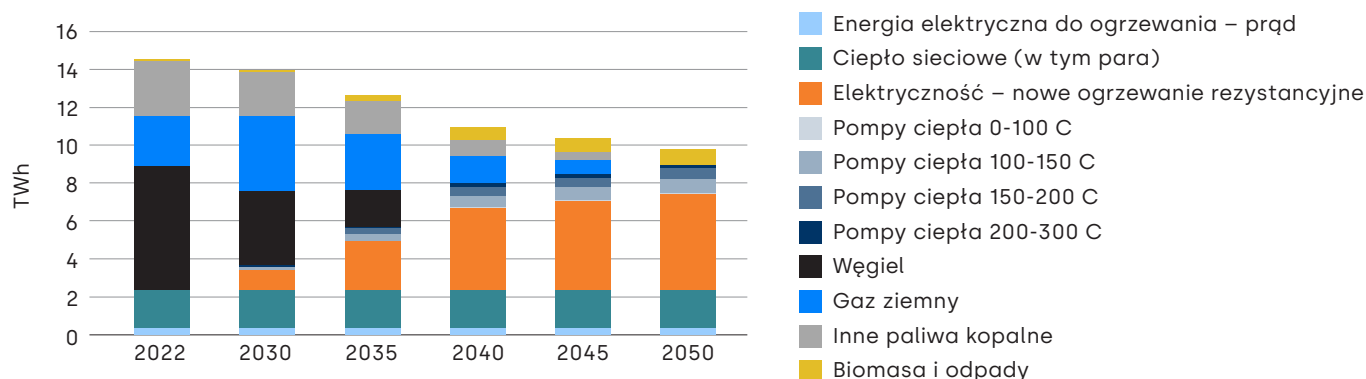
7.2. Wyniki

Podobnie jak w przypadku poprzednich dwóch branż, wzięto pod uwagę trzy kolejne scenariusze. Wykorzystanie biomasy zostało ograniczone do bardzo niewielkiego udziału w miksie grzewczym, nawet w scenariuszu „mieszanym”. Więcej informacji można znaleźć w Aneksie nr 5.

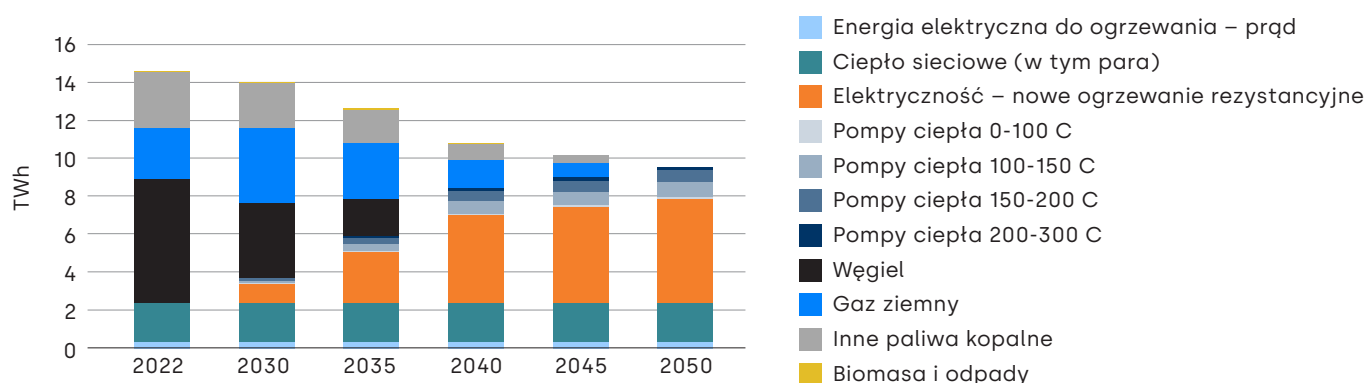
Rysunek 22. Miks energii końcowej w (części) przemysłu chemicznego w scenariuszu BAU



Źródło: opracowanie Instytutu Reform

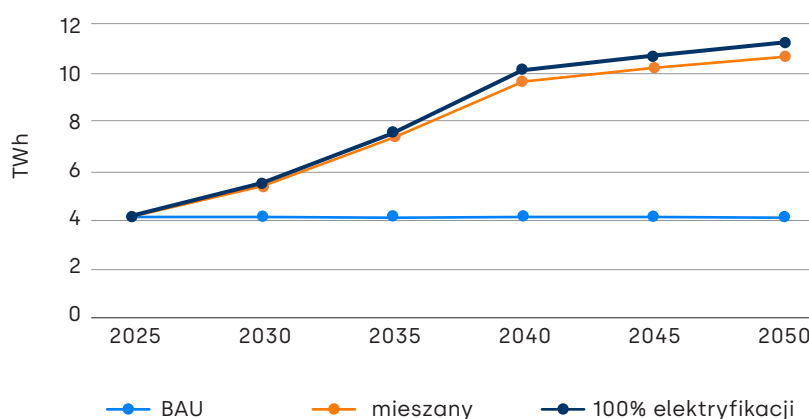
Rysunek 23. Miks energii końcowej w (części) przemysłu chemicznego w scenariuszu mieszanym

Źródło: opracowanie Instytutu Reform

Rysunek 24. Miks energii końcowej w (części) przemysłu chemicznego w scenariuszu 100% elektryfikacji

Źródło: opracowanie Instytutu Reform

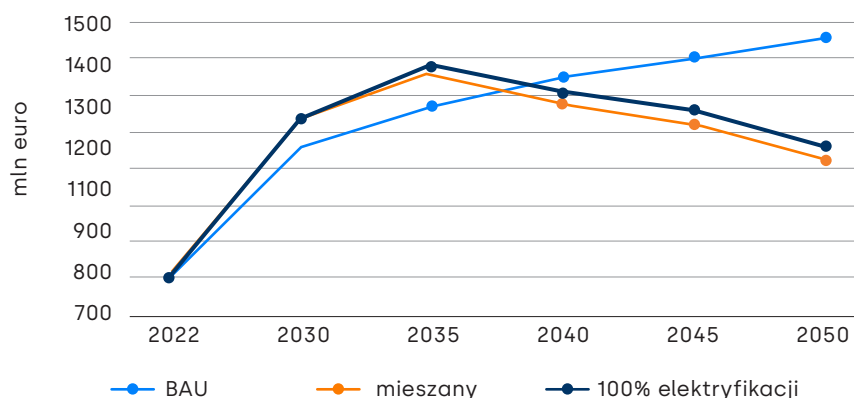
Przemysł chemiczny jest obecnie w dużym stopniu uzależniony od wysokotemperaturowego ciepła z paliw kopalnych. Dlatego też scenariusze zakładające dekarbonizację opartą wyłącznie lub w znacznym stopniu na energii elektrycznej gwałtownie zwiększają jej zużycie – niemal trzykrotnie w stosunku do obecnego łącznego zużycia dla wszystkich zastosowań.

Wykres 25. Całkowite zużycie energii elektrycznej w (części) sektora chemicznego we wszystkich scenariuszach

Źródło: opracowanie Instytutu Reform

Zmiana miksów grzewczych ma duży wpływ na koszty przemysłu. W okresie przejściowym dekarbonizacja zwiększa koszty względem scenariusza „biznes jak zwykle”, ale w dłuższej perspektywie dekarbonizacja staje się tańsza ze względu na spadek cen energii elektrycznej i wzrost kosztów emisji CO₂ w scenariuszu BAU. Gaz rafineryjny powinien być stopniowo wycofywany z miksów energetycznych ze względu na malejącą rolę produktów ropopochodnych w transporcie, stąd ten nośnik energii też jest wycofywany i wyceniany jak najwyżej. Ograniczone wykorzystanie biomasy przynosi wymierne korzyści kosztowe.

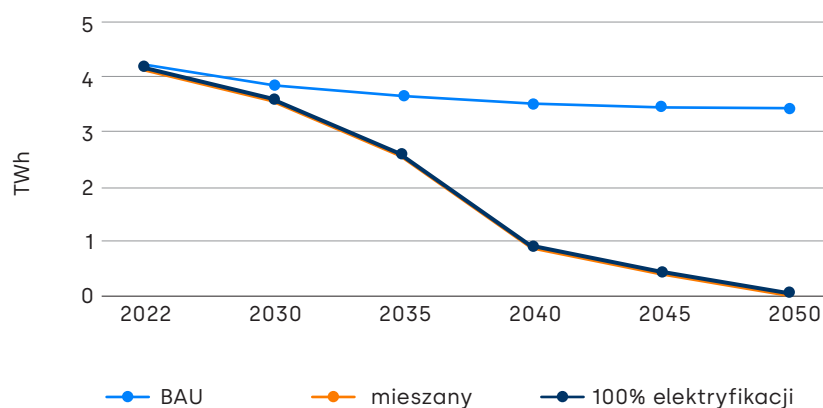
Rysunek 26. Całkowite koszty ciepła w (części) sektora chemicznego we wszystkich scenariuszach



Źródło: opracowanie Instytutu Reform

Emisje CO₂ z zakresu 1 i 2 różnią się znacznie w zależności od scenariusza – scenariusze „mieszany” i „100% elektryfikacji” wykazują gwałtowny spadek, podczas gdy BAU utrzymuje emisje na wysokim poziomie.

Rysunek 27 Emisje gazów cieplarnianych z zakresu 1 i 2 w (części) sektora chemicznego we wszystkich scenariuszach



Źródło: opracowanie Instytutu Reform

8. Podsumowanie wyników analizy scenariuszy

Dla każdego analizowanego sektora można zaproponować strategię elektryfikacji z całkowitym wycofaniem paliw kopalnych i zerową emisją netto. Wyniki ekonomiczne są jednak bardzo różne. Przemysł spożywczy i napojów, który wykorzystuje głównie ciepło niskotemperaturowe, może być ekonomicznie zdekarbonizowany z wykorzystaniem biomasy lub bez niej. Przemysł papierniczy wymaga wykorzystania biomasy (często w postaci produktów ubocznych procesu), aby pozostać konkurencyjnym. Przemysł chemiczny (analizowana część) cierpi z powodu wyższych kosztów, jeśli zostanie zdekarbonizowany teraz, ale elektryfikacja (z niewielkim udziałem biomasy lub bez niej) staje się bardzo opłacalna po 2040 roku.

9. Bariery i potencjalne zagrożenia

9.1. Bariery techniczne

Pod względem technicznym zarówno kotły elektryczne, jak i pompy ciepła są dojrzałymi, komercyjnie dostępnymi technologiami. Jednak opłacalność pomp ciepła znacznie spada wraz z niezbędną do osiągnięcia temperaturą i z różnicą temperatur między źródłem ciepła a ogrzewanym medium. Ponadto integracja pomp ciepła z istniejącą infrastrukturą zależy od dostępnych źródeł ciepła (np. ciepła odpadowego z procesów przemysłowych) i może wymagać zmian w strukturze produkcji na miejscu. Inwestycje w istniejącym zakładzie mogą również wiązać się z ryzykiem dłuższych przestoju produkcyjnych niż zwykła coroczna konserwacja istniejących instalacji.

Największym wyzwaniem technicznym w elektryfikacji ciepła przemysłowego może jednak okazać się infrastruktura sieciowa i dostępność mocy przyłączeniowej energii elektrycznej. Infrastruktura przemysłowa na miejscu jest przede wszystkim zaprojektowana pod kątem kompatybilności z systemami opartymi na paliwach kopalnych, mamy więc duże przyłącza gazu ziemnego, ale stosunkowo niskie moce przyłączeniowe energii elektrycznej. Elektryfikacja ciepła przemysłowego niemal w każdym przypadku będzie wymagać zwiększenia elektrycznej mocy przyłączeniowej zakładu produkcyjnego. Sprawia to, że potencjalne inwestycje zależą od podmiotów zewnętrznych, takich jak organy zatwierdzające pozwolenia i operatorzy sieci, co powoduje niepewność i dłuższe terminy realizacji.

Ponadto, w przypadku scenariusza elektryfikacji przemysłu na dużą skalę, ograniczona liczba dostawców technologii i wykonawców może okazać się barierą, wydłużając czas oczekiwania na dostawę komponentów.

9.2. Bariery ekonomiczne

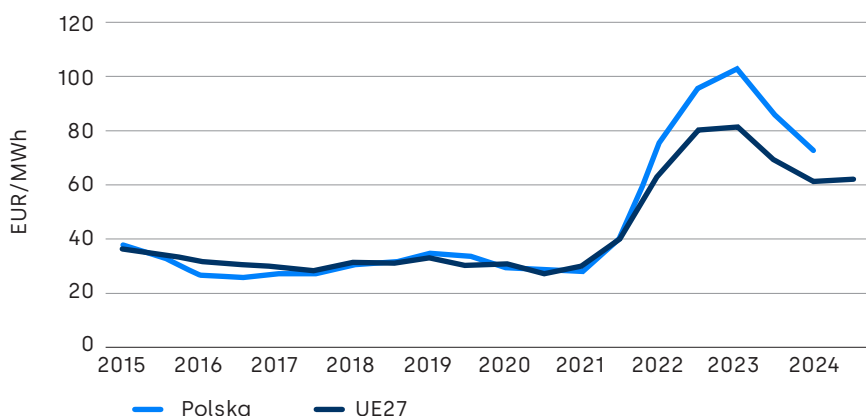
Elektryfikacja ciepła przemysłowego wiąże się z dużymi kosztami kapitałowymi, zwłaszcza w przypadku projektów integrujących pompy ciepła. CAPEX wysokotemperaturowych pomp ciepła może wahać się od 959 €/kWt do 1933 €/kWt (Dumont, Wang, Wenzke, Blok i Heijungs, 2023). Koszty inwestycyjne dla kotłów elektrycznych są znacznie niższe i wynoszą około 160 €/kWt dla kotłów o mocy do 10 MW (Zuberi, Hasanbeigi i Morrow, 2022), (Patel, Matalon i Oluleye, 2024).

W większości przypadków elektryfikacja będzie wymagać modernizacji istniejących przyłączy elektrycznych i zainstalowania dodatkowej infrastruktury, takiej jak transformatory. Koszty inwestycyjne instalacji przyłączy wysokiego napięcia wahają się od 85 €/kW do 1500 €/kW w zależności od położenia (Patel, Matalon i Oluleye, 2024), co czasami przekracza koszty inwestycyjne samych zelektryfikowanych urządzeń przemysłowych.

Jednak lwią część całkowitych kosztów (LCOH) instalacji ciepła procesowego jest określana przez koszty operacyjne (koszty energii, koszty CO₂, koszty konserwacji). Zakłady przemysłowe nie będą zatem inwestować w zelektryfikowane źródła ciepła, jeśli ich koszty operacyjne będą wyższe niż w przypadku źródeł konwencjonalnych (głównie kotłów gazowych). Ekonomiczna wykonalność elektryfikacji będzie zatem zależeć głównie od cen paliw, cen energii elektrycznej i cen uprawnień do emisji CO₂.

Średnie całkowite koszty gazu dla dużych odbiorców niebędących gospodarstwami domowymi w drugiej połowie 2023 r. wahały się od 80 EUR/MWh do 105 EUR/MWh. Na początku 2024 r. ceny gazu dla przedsiębiorstw zaczęły spadać, jednak nadal utrzymują się na znacznie wyższym poziomie niż w latach 2019-2020.

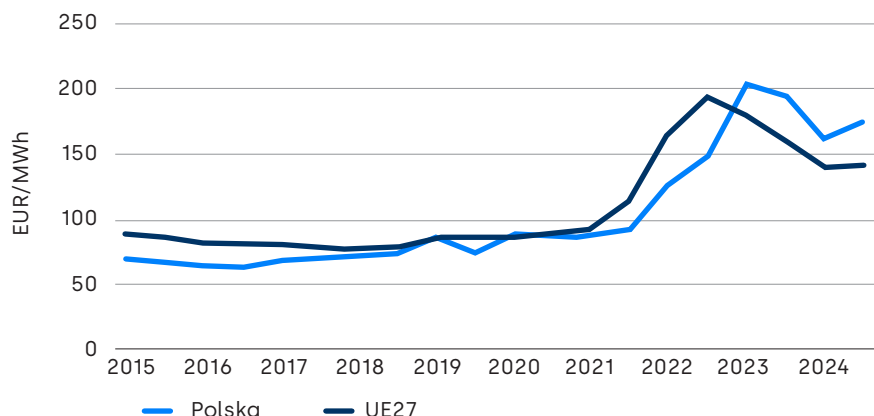
Rysunek 28. Średnie koszty gazu dla przemysłu w Polsce i UE



Źródło: Instytut Reform na podstawie Eurostat

Ceny energii elektrycznej w Polsce również nadal rosną ze względu na wciąż znaczący udział paliw kopalnych w miksie energetycznym i związane z tym koszty CO₂. Całkowity koszt energii elektrycznej dla przemysłu osiągnął historyczny szczyt w 2023 r. na poziomie ponad 200 EUR/MWh, a następnie spadł do ok. 170 EUR/MWh w 2024 r.

Rysunek 29. Średnie koszty energii elektrycznej dla przemysłu w Polsce i UE



Źródło: Instytut Reform na podstawie Eurostat

Przy całkowitym koszcie gazu wynoszącym 90 €/MWh i całkowitym koszcie energii elektrycznej wynoszącym 250 €/MWh dla przemysłu w tym samym okresie, koszt ciepła wytwarzanego przez pompę ciepła o SCOP równym 3 byłby niższy niż koszt ciepła wytwarzanego przez kocioł gazowy, nawet bez kosztów emisji CO₂.

Przy tych założeniach cenowych inwestycja w kocioł elektryczny byłaby opłacalna tylko przy cenie CO₂ wynoszącej 750 EUR/t. W czasie przygotowywania niniejszego raportu ceny CO₂ w systemie EU ETS były na poziomie 60-70 €/t.

Programy subsydiowania kogeneracji przemysłowej, w szczególności zasilanej gazem, mogą stanowić kolejną barierę dla dekarbonizacji ciepła, ponieważ zachęcają do dalszego wykorzystywania paliw kopalnych. Takie dotacje są wprowadzane w ramach polityki klimatycznej. Prowadzi to jednak do przedłużonego zużycia paliw kopalnych i może zwiększać całkowitą emisję obiektu przemysłowego w całym okresie jego eksploatacji.

Oprócz ceny CO₂, stosunek ceny energii elektrycznej do ceny gazu ma również duże znaczenie dla opłacalności elektryfikacji ciepła przemysłowego. Przy stosunku ceny energii elektrycznej do ceny gazu między 2,5 a 3,5, koszt ciepła z pompy byłby podobny w porównaniu do kosztu ciepła z kotła gazowego, nawet przy niskich cenach CO₂. Natomiast aby kocioł elektryczny miał podobne koszty operacyjne do kotła gazowego gdy ceny CO₂ są niskie całkowity koszt energii elektrycznej musiałby być równoważny kosztowi gazu.

Dlatego można oczekiwać, że elektryfikacja ciepła przemysłowego będzie odbywać się głównie za pomocą pomp ciepła, ale tylko przy wystarczająco niskich kosztach energii elektrycznej. Rozwiązania oparte na konwersji energii elektrycznej w ciepło cierpią z powodu wysokich cen energii elektrycznej. Możliwości wykorzystania magazynowania energii elektrycznej i ciepła są ograniczone i borykają się z innymi problemami. Aby obniżyć koszty energii elektrycznej, a tym samym poprawić opłacalność zastąpienia kotła opalanego paliwem kopalnym pompą ciepła, przemysł może zainwestować w lokalne OZE. Na całkowite koszty operacyjne duży wpływ ma ostateczna cena energii elektrycznej dla przemysłu, która częściowo zależy od opłat sieciowych i podatków. Uwzględnienie specyficznych potrzeb przemysłu, w tym jego potencjału w zakresie usług sieciowych, może zwiększyć opłacalność elektryfikacji ciepła.

Branża wymaga korzystnego stosunku ceny energii elektrycznej do ceny gazu, ale także pewności opłacalności inwestycji. Niepewność gospodarcza lub kryzysy finansowe odstraszać firmy od rozpoczynania kapitałochłonnych inwestycji przed innymi. Niektórzy menedżerowie mogą uważać, że bezpieczniej jest polegać na sprawdzonych i popularnych technologiach, zwłaszcza gdy cena rynkowa produktu nadal zależy od kosztów produkcji w fabrykach zasilanych paliwami kopalnymi.

9.3. Wpływ na sieć energetyczną

Ponieważ elektryfikacja produkcji ciepła doprowadzi do znacznego wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną, będzie to miało wpływ na działanie sieci elektroenergetycznej.

Jak wynika z wywiadów przeprowadzonych z przedstawicielami przemysłu papierniczego i spożywczego, zapotrzebowanie na ciepło technologiczne jest stosunkowo stałe w czasie. Oznacza to, że elektryfikacja przemysłu bez dodatkowego wykorzystania rozwiązań magazynowania energii na miejscu nie zmieni skali godzinowych wahań zapotrzebowania na energię elektryczną, a jedynie „podniesie” krajowy profil zużycia energii elektrycznej. Może się zatem wydawać, że elektryfikacja przemysłu nie będzie stanowić większego zagrożenia dla funkcjonowania sieci elektroenergetycznej. Znaczący wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną wymusi jednak budowę dodatkowych mocy

OZE, a tym samym zwiększy skalę wyzwań z tym związanych – przede wszystkim kwestię niespójności produkcji energii z OZE i zapotrzebowania na energię elektryczną.

Oznacza to, że planując elektryfikację przemysłu na dużą skalę, ważne jest rozważenie rozwiązań technologicznych, które będą wspierać bezpieczne działanie sieci elektroenergetycznej. Zapewniając elastyczność zelektryfikowanego przemysłu, udałooby nam się osiągnąć synergię między elektryfikacją na dużą skalę a rozwojem systemu elektroenergetycznego opartego głównie na odnawialnych źródłach energii.

Bez ingerowania w kształt procesów przemysłowych, istnieją dwie opcje zapewnienia elastyczności w pełni zelektryfikowanego przemysłu – poprzez magazynowanie energii elektrycznej na miejscu lub magazynowanie ciepła. Magazynowanie energii w zakładzie miałoby nie tylko pozytywny wpływ na stabilność działania systemu elektroenergetycznego, ale także pomogłoby obniżyć koszty operacyjne zelektryfikowanego przemysłowego źródła ciepła. Magazynowanie ciepła będzie miało zastosowanie przede wszystkim w sektorach, w których jako medium grzewcze wykorzystywana jest gorąca woda. Magazynowanie energii elektrycznej ma bardziej uniwersalny charakter i będzie odpowiednie dla każdej gałęzi przemysłu. Zelektryfikowane źródła ciepła zintegrowane z OZE na miejscu i magazynowaniem energii elektrycznej będą szczególnie dobrym rozwiązaniem z punktu widzenia sieci energetycznej, ponieważ zmniejszą potrzebę przesyłania energii elektrycznej na duże odległości, a tym samym zwiększą dostępną przepustowość linii przesyłowych i dystrybucyjnych dla pozostałych klientów.

Innym rozwiązaniem, które może przynieść systemowe korzyści dla systemu energetycznego, jest wykorzystanie technologii elektryfikacji do zarządzania popytem (DSM). Rozwiązanie to może mieć szczególne zastosowanie w przemyśle celulozowo-papierniczym, gdzie stosunkowo duża część produkcji ciepła jest dekarbonizowana za pomocą biomasy. W tym przypadku kocioł elektryczny mógłby służyć jako źródło rezerwowe dla istniejącego kotła na biomasę i działać tylko w okresach wysokiej produkcji energii ze źródeł odnawialnych, zmniejszając w ten sposób ograniczanie mocy OZE.

Niniejsze badanie ma na celu przedstawienie ostrożnych szacunków dotyczących możliwości elektryfikacji przemysłu. W przypadku niektórych fabryk wdrożenie magazynowania energii elektrycznej, ciepła lub DSM może przynieść znaczne korzyści. W przypadku większości podstawowych zastosowań ciepła jest to jednak nieopłacalne lub prawie niemożliwe. W związku z tym uwzględniliśmy w obliczeniach cenę energii elektrycznej „w podstawie”, aby uprościć obliczenia i ograniczyć potencjalne błędy.

10. Kontekst regulacyjny UE

Polska polityka transformacji energetycznej i przemysłowej jest kształtowana przez szerszy kontekst prawodawstwa UE wynikający ze strategii Europejskiego Zielonego Ładu, a od 2025 r. – Pakt na rzecz Czystego Przemysłu. Cel końcowy, jakim jest neutralność klimatyczna do 2050 r., wymaga pośredniego planowania kolejnych etapów dekarbonizacji. Kluczowym pakietem legislacyjnym, który obecnie kształtuje krajobraz celów UE, polityk i dostępnych systemów wsparcia w perspektywie 2030 r., jest pakiet Fit for 55, ustanawiający ogólny cel 55% redukcji emisji oraz zestaw narzędzi do jego osiągnięcia. Pod koniec poprzedniej kadencji Komisji przyjęto pierwsze rozwiązania wspierające dodatkowo transformację przemysłową, w tym akt UE w sprawie przemysłu neutralnego emisyjnie (NZIA), a dalsze przepisy zostały uznane za ważny priorytet dla nowej Komisji w ramach paktu na rzecz czystego przemysłu. Wreszcie, przepisy dotyczące gospodarki o obiegu zamkniętym mogą odegrać rolę wspierającą w mobilizowaniu i ułatwianiu przejścia na bardziej ekologiczne technologie w przemyśle. Obecnie toczy się dyskusja na temat celu na rok 2040. Poniżej pokrótce przedstawiono kluczowe elementy odpowiednich przepisów UE, które mają największe znaczenie dla krajowych polityk przemysłowych i promowania przejścia na energię elektryczną.

10.1. Pakiet Fit for 55

Ogólne cele w zakresie emisji i zużycia energii

Ogólny cel redukcji emisji gazów cieplarnianych, który ma zostać osiągnięty w 2030 r., ustalono na 55% w porównaniu do poziomu emisji z 1990 r. W sektorach objętych systemem handlu emisjami redukcja ma wynieść 62% w stosunku do poziomu z 2005 r., natomiast w pozostałych sektorach 40%, przy czym szczegółowe wkłady krajowe zostały nakreślone dla poszczególnych państw członkowskich (Polska ma obecnie zadeklarowany wkład na poziomie 18,2% redukcji).

Udział odnawialnych źródeł energii w całkowitym zużyciu energii końcowej w UE powinien osiągnąć 42,5% (przy 45% jako zalecanym celu). Polska wstępnie zgłosiła 32,6% krajowy wkład w realizację tego celu. Konkretnie cele krajowe zostały ustalone dla wytwarzania energii elektrycznej, budynków i sektora ogrzewania/chłodzenia, przemysłu i transportu.

Cele w zakresie efektywności energetycznej mają zapewnić ograniczenie zużycia energii pierwotnej do nie więcej niż 992,5 Mtoe w całej UE do 2030 r. (dla Polski orientacyjny wkład krajowy wynosi 79,9 Mtoe, 14,4% oszczędności w porównaniu ze scenariuszem PRIMES 2020) i nie więcej niż 763 Mtoe w zużyciu energii końcowej – orientacyjny wkład Polski wynosi 58,5 Mtoe i 12,8% oszczędności w porównaniu ze scenariuszem PRIMES 2020.

Razem, te cele oznaczają potrzebę zmian w wielu sektorach gospodarki UE, aby zmniejszyć emisje, zmniejszyć zużycie energii i zastąpić paliwa kopalne wytwarzaniem energii odnawialnej, stając się tym samym kluczowymi czynnikami napędzającymi elektryfikację gospodarek UE, w tym przemysłu.

Unijny system handlu uprawnieniami do emisji (ETS1 i ETS2)

Zwiększony cel redukcji emisji (z 43% do 62% w porównaniu z poziomami z 2005 r.), dostosowana trajektoria rocznej redukcji całkowitego limitu uprawnień do emisji w systemie ETS1 oraz stopniowe wycofywanie przydziałów bezpłatnych uprawnień w latach 2026-34 zwiększą presję finansową na redukcję emisji w branżach objętych systemem. Włączenie emisji związanych z paliwami z małego przemysłu do ETS2 wywrze presję na mniejsze gałęzie przemysłu w celu dekarbonizacji ich działalności i łańcuchów wartości, mimo że na razie emisje z procesów przemysłowych takich podmiotów nie będą objęte systemem.

Mechanizm opłat granicznych związanych z emisją dwutlenku węgla (CBAM)

Mechanizm opłat granicznych, który nałoży cenę na emisje z importu sześciu rodzajów towarów: stali, cementu, aluminium, wodoru, energii, nawozów, będzie próbował zapobiec ucieczce emisji i wyrównać szanse producentów w UE w objętych nim sektorach. CBAM ma na celu ograniczenie możliwości obchodzenia przez przemysł kontroli emisji poprzez import, wymagając tym samym inwestycji we własne, bardziej ekologiczne moce produkcyjne, w tym poprzez elektryfikację procesów.

Zmieniona dyrektywa w sprawie odnawialnych źródeł energii

Dyrektywa RED III wprowadza cele szczegółowe dla przemysłu: orientacyjny cel 1,6 punktu procentowego rocznego wzrostu udziału energii odnawialnej wykorzystywanej przez przemysł do 2030 r. oraz cel co najmniej 42% przemysłowego zużycia wodoru pochodzącego z niebiologicznych źródeł odnawialnych do 2030 r. i co najmniej 60% do 2035 r. Będzie to miało bezpośredni wpływ na rozprzestrzenianie się technologii elektryfikacji w całym przemyśle. Co więcej, zastosowanie zasady kaskadowego wykorzystania biomasy ograniczy jej wykorzystanie, ograniczając dostępność biomasy do produkcji energii i zmuszając branże zależne od tego zasobu do odpowiedniego dostosowania swoich procesów.

Zmieniona dyrektywa w sprawie efektywności energetycznej

Oprócz ogólnego celu dla państw członkowskich, jakim jest wspólne osiągnięcie 11,7% redukcji zużycia energii do 2030 r., dyrektywa zawiera dla przemysłu cel zwiększonego wkładu w roczne oszczędności energii w wysokości 1,5% (wzrost z 0,8%). W połączeniu z wymogiem stosowania zasady „efektywność energetyczna przede wszystkim” oraz wymogiem, aby duże przedsiębiorstwa przeprowadzały audyty energetyczne co najmniej raz na cztery lata lub wdrażały systemy zarządzania energią, środki te będą sprzyjać priorytetowemu traktowaniu efektywnej elektryfikacji opartej na OZE.

Finansowanie

Zwiększone przychody z ETS, a także instrumenty finansowe takie jak Fundusz na rzecz Innowacji, Fundusz Modernizacyjny i Fundusz Sprawiedliwej Transformacji zwiększą dostępność finansowania rozwoju i komercjalizacji innowacji energetycznych. Pieniądze z tych instrumentów zasilają obecne i przyszłe krajowe systemy wsparcia wspierające transformację przemysłową.

10.2. Pakiet dla czystego przemysłu (CID – Clean Industrial Deal)

CID został ogłoszony jako strategia i pakiet legislacyjny, który ma dostosować kierunki wdrażania Europejskiego Zielonego Ładu zainicjowanego podczas poprzedniej kadencji Komisji Europejskiej, starając się połączyć cele klimatyczne tego ostatniego ze zwiększonym naciskiem na konkurencyjność i transformację bazy przemysłowej UE. CID został opublikowany 26 lutego 2025 r. Jednocześnie, pierwsze nowe inicjatywy regulacyjne uzupełniające EZŁ o kwestie przemysłowe (w tym NZIA) zostały przyjęte jeszcze pod koniec poprzedniej kadencji Komisji Europejskiej, w ramach planu przemysłowego na rzecz zielonego ładu (Green Deal Industrial Plan).

Akt UE w sprawie przemysłu neutralnego emisyjnie – Net Zero Industry Act (NZIA)

Celem NZIA jest zwiększenie zdolności produkcyjnych UE w zakresie technologii zeroemisyjnych (w tym produktów końcowych, komponentów i maszyn produkcyjnych) w celu ułatwienia przejścia na zieloną gospodarkę o obiegu zamkniętym w oparciu o zwiększony udział krajowej produkcji UE. NZIA stanowi, że:

- ogólna strategiczna zdolność produkcyjna Unii w zakresie technologii energii zeroemisyjnej powinna do 2030 r. zbliżyć się do poziomu co najmniej 40 % rocznych potrzeb w zakresie wdrożeń.
- należy zachęcać do dekarbonizacji producentów kluczowych energochłonnych materiałów przemysłowych (stali, cementu, chemikaliów)
- ramy regulacyjne dotyczące produkcji zielonych technologii, procedury wydawania pozwoleń i systemy wsparcia mają zostać ułatwione i usprawnione, przede wszystkim poprzez ustanowienie strategicznych projektów zeroemisyjnych i platformy Net-Zero Europe.
- pozacenowe kryteria zrównoważonego rozwoju i odporności mają zostać ustanowione jako podstawowe kryteria w części zamówień publicznych i dla 30% wolumenu w aukcjach energii odnawialnej (wraz ze zrównoważonym rozwojem społecznym, bezpieczeństwem cybernetycznym i zobowiązaniami do terminowych dostaw).

Akt obejmuje kluczowe obszary technologiczne, takie jak

- Technologie fotowoltaiczne i termiczne wykorzystujące energię słoneczną,
- Lądowe i morskie technologie energii odnawialnej (np. wiatrowej),
- Baterie/technologie magazynowania energii,
- Pompy ciepła i technologie energii geotermalnej,
- Technologie wodorowe, w tym elektrolizery i ogniwa paliwowe,
- Zrównoważone technologie biogazu/biometanu.

Akt o przyspieszeniu dekarbonizacji przemysłu (IDAA – Industrial Decarbonisation Accelerator Act)

IDAA został zapowiedziany jako propozycja legislacyjna mająca na celu przyspieszenie dekarbonizacji energochłonnych gałęzi przemysłu. Akt ten powinien mieć przynajmniej pośredni pozytywny wpływ na elektryfikację przemysłu poprzez takie środki jak:

- Ustanowienie kwot udziału produktów ekologicznych na wiodących rynkach (np. motoryzacyjnym dla ekologicznej stali i budowlanym dla ekologicznych cementów),

- Poprawa warunków dla podmiotów przemysłowych inwestujących w zielone technologie,
- Usprawnienie procedur wydawania pozwoleń na projekty dekarbonizacji przemysłu.

Europejski Fundusz na rzecz Konkurencyjności i Narzędzie Koordynacji Konkurencyjności

Europejski Fundusz na rzecz Konkurencyjności ma stworzyć bardziej usprawniony ekosystem finansowania innowacji poprzez połączenie 11 istniejących instrumentów finansowych, w tym elementów Horyzontu Europa, Funduszu Innowacji, InvestEU i Europejskiego Funduszu Obronnego. Propozycja narzędzia koordynacji opiera się na obserwacjach zawartych w raporcie Draghiego i ma na celu koordynację polityk krajowych w celu przyczynienia się do realizacji nadrzędnych celów UE w zakresie konkurencyjności, synchronizacji polityk przemysłowych, optymalizacji alokacji zasobów, stworzenia bardziej jednolitych standardów oceny wyników i zapewnienia Komisji narzędzi do identyfikacji i pomocy w rozwiązywaniu problemów strukturalnych na poszczególnych rynkach.

10.3. Gospodarka o obiegu zamkniętym

Zmieniona dyrektywa w sprawie emisji przemysłowych (IED 2.0) (2010/75/UE)

Mając na celu zminimalizowanie zanieczyszczeń z instalacji przemysłowych, dyrektywa IED, w ramach zintegrowanego podejścia do zapobiegania zanieczyszczeniom i ich kontroli, wymaga od operatorów takich instalacji stosowania najlepszych dostępnych technologii. Zgodnie z kryteriami określonymi w dyrektywie i jej załącznikach (intensywność emisji i limity dla NO_x, SO_x i cząstek stałych, redukcja emisyjności i energochłonności zagospodarowania odpadów), technologie elektryfikacji, takie jak pompy ciepła lub piece elektryczne, można stosunkowo łatwo zakwalifikować jako BAT.

Pakiet dla przemysłu chemicznego

Pakiet to przyszła inicjatywa ustawodawcza mająca na celu zwiększenie konkurencyjności i zrównoważonego rozwoju europejskiego sektora chemicznego. Jego podstawą jest opublikowana w styczniu 2023 r. ścieżka transformacji dla przemysłu chemicznego, opracowana we współpracy z państwami członkowskimi i odpowiednimi zainteresowanymi stronami. Ma ona na celu zmniejszenie roli paliw kopalnych w sektorze chemicznym i zwiększenie roli odnawialnych źródeł energii (z energią elektryczną jako logicznym zamiennikiem), zwiększenie bezpieczeństwa i zrównoważenia produkcji dzięki ponownemu wykorzystaniu i recyklingowi, dostosowanie do zaktualizowanej strategii przemysłowej UE i przyjęcie zobowiązania do neutralności klimatycznej sektora do 2050 r. Cele pakietu obejmują również:

- uproszczenie procesu rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH) dla użytkowników dalej w łańcuchu dostaw, producentów wyrobów i importerów,
- wspieranie rozwoju rynków zrównoważonej emisji dwutlenku węgla i poprawa konkurencyjności przemysłu chemicznego.

Inne akty prawne UE regulujące gospodarkę o obiegu zamkniętym

Dyrektywa ramowa w sprawie odpadów i rozporządzenie w sprawie przemieszczania odpadów tworzą ramy usuwania odpadów, które sprzyjają recyklingowi i ponownemu wykorzystaniu krytycznych materiałów lub sprzętu niezbędnego do elektryfikacji oraz zachęcają do wychwytywania i wykorzystywania energii z odpadów, w tym w postaci cie-

pła, co pośrednio prowadzi do poprawy dostępności rynkowej odpowiednich rozwiązań i optymalizacji wykorzystania dostępnych zasobów. Zmieniona dyrektywa w sprawie baterii reguluje zrównoważoną produkcję, recykling i utylizację kluczowych komponentów technologii zasilanych energią elektryczną, dążąc do stworzenia dla nich zrównoważonego cyklu życia.

11. Systemy wsparcia dla przemysłu

Istniejące środki finansowe wsparcia dla przemysłu w Polsce obejmują głównie wsparcie dla rozwoju OZE, wysokosprawnej kogeneracji i poprawy efektywności energetycznej.

Na chwilę obecną nie zidentyfikowano instrumentów wsparcia bezpośrednio dedykowanych wspieraniu elektryfikacji przemysłu. Jednak inwestycja w pompę ciepła wykorzystującą ciepło odpadowe z procesów technologicznych należy do inwestycji poprawiających efektywność energetyczną i dlatego może być wspierana w ramach programów „Wsparcie dla energochłonnych gałęzi przemysłu” i „Przemysł energochłonny – poprawa efektywności energetycznej” finansowanych w ramach Funduszu Modernizacyjnego, jak opisano poniżej.

Niektóre z programów pozwalają na budowę nowych elektrowni kogeneracyjnych spalających paliwa kopalne. Jest to przestarzałe rozwiązanie, gdyż częściowy spadek zużycia paliw kopalnych nie doprowadzi nas do neutralności klimatycznej. Emisyjność energii elektrycznej w sieci będzie wkrótce mniejsza niż nawet najbardziej wydajnego kotła na paliwo kopalne.

Poniżej przedstawiamy schematy i programy, w ramach których zakłady przemysłowe mogą ubiegać się o pomoc finansową, która może pomóc im w elektryfikacji.

11.1. Fundusze krajowe

Program Energia Plus: Instrument finansowy dla przedsiębiorstw obejmujący wsparcie dekarbonizacji źródeł energii (NFOŚiGW, 2024)⁸. Dotychczas odbyły się cztery edycje programu. Wsparcie w ramach programu obejmowało modernizację instalacji prowadzącą do zmniejszenia zużycia surowców i emisji, a także budowę jednostek wytwarzania energii wykorzystujących energię odnawialną, ciepło odpadowe, kogenerację (z wyłączeniem kogeneracji węglowej), niskoemisyjne paliwa gazowe oraz wodór. Beneficjenci programu mogli otrzymać pożyczki w wysokości od 0,5 mln zł do 500 mln zł. Budżet IV edycji programu wyniósł 567 mln zł.

⁸ NFOŚiGW (2024), [Nabór IV wniosków 2023-2024](#).

11.2. Fundusz modernizacyjny UE

Polska jest największym beneficjentem unijnego Funduszu Modernizacyjnego (Fundusz Modernizacyjny, 2025)⁹ (34% alokacji), który ma wspierać dekarbonizację gospodarki poprzez poprawę efektywności energetycznej, inwestycje w OZE i magazynowanie. Fundusz został uruchomiony w 2021 r. i od tego czasu polski operator – NFOŚiGW – przygotował kilka programów, które mogą przyczynić się do dekarbonizacji przemysłu. Łącznie dostępne wsparcie wynosi 1,9 mld euro.

⁹ Fundusz Modernizacyjny (2025), [How it works](#).

Kluczowe programy:

Program „Przemysł energochłonny – OZE” (NFOŚiGW, 2025)¹⁰ Program wspiera finansowo inwestycje w zakresie budowy lub przebudowy jednostek wytwarzania energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii wraz z magazynowaniem energii lub ich przyłączeniem do sieci elektroenergetycznej i/lub dystrybucyjnej/przesyłowej. Warunkiem wsparcia dla magazynu energii jest jego zintegrowanie ze źródłem energii, które ma być realizowane równolegle w ramach inwestycji. Wsparcie obejmuje dofinansowanie w formie pożyczki w wysokości do 650 mln zł

¹⁰ NFOŚiGW (2025), *Przemysł energochłonny – OZE*.

Program „Kogeneracja dla Energetyki i Przemysłu” (NFOŚiGW, 2025)¹¹. W ramach programu wspierane są inwestycje polegające na budowie i/lub przebudowie jednostek wytwórczych o łącznej mocy zainstalowanej nie mniejszej niż 10 MW, pracujących w warunkach wysokosprawnej kogeneracji (z wyłączeniem energii wytworzonej w jednostce kogeneracji opalanej węglem kamiennym), wraz z ich przyłączeniem do sieci przesyłowej, w których wykorzystywane jest:

¹¹ Fundusz Modernizacyjny (2025), *Kogeneracja dla Energetyki i Przemysłu – II nabór wniosków*.

- ciepło odpadowe
- energia ze źródeł odnawialnych,
- paliwo gazowe, mieszaniny gazów, gaz syntetyczny lub wodór.

Kwalifikują się instalacje, z których nie więcej niż 30% ciepła użytkowego wytworzonego w jednostce kogeneracyjnej zostanie przekazane do publicznej sieci ciepłowniczej. Instalacje współpalające stałe paliwa kopalne z innymi paliwami (np. biomasą) w instalacjach spalania wielopaliwowego, a także dedykowane spalanie wielopaliwowe są wyłączone ze wsparcia.

Wsparcie obejmuje:

- dofinansowanie w formie pożyczek (pula 2 mld zł),
- dofinansowanie w formie dotacji (pula 1,5 mld zł).

Przemysł energochłonny – poprawa efektywności energetycznej (NFOŚiGW, 2025)¹² Inwestycje kwalifikujące się do dofinansowania w ramach programu priorytetowego to przede wszystkim inwestycje obejmujące:

¹² NFOŚiGW (2025), *Przemysł energochłonny – poprawa efektywności energetycznej*.

- budowę instalacji do odzysku ciepła technologicznego i jego wykorzystania w dalszych procesach technologicznych;
- zwiększenie efektywności energetycznej skutkujące zmniejszeniem zużycia energii elektrycznej pobieranej z sieci, w tym budowę systemów informatycznych do nadzoru zużycia, produkcji i magazynowania energii z funkcją optymalizacji zarządzania.

Instrument obejmuje dofinansowanie w formie pożyczek z budżetem w wysokości do 350 mln zł.

Program Wsparcie dla Przemysłu Energochłonnego (NFOŚiGW, 2025)¹³. Instrument ma wspierać między innymi:

¹³ NFOŚiGW (2025), *Wsparcie dla przemysłu energochłonnego*.

- Projekty poprawy efektywności energetycznej;
- Projekty budowy lub przebudowy jednostek wytwarzania energii odnawialnej z magazynowaniem energii lub podłączeniem do sieci lokalnej i/lub dystrybucyjnej/przesyłowej.

Instrument obejmuje dofinansowanie w formie pożyczek z budżetem w wysokości do 4 mld zł.

11.3. Inne fundusze UE

Ponadto fundusze strukturalne UE mogą obejmować działania uzupełniające elektryfikację i wspierać badania i rozwój potrzebne do opracowania rozwiązań.

Tabela 2. Przegląd systemów wsparcia dla projektów środowiskowych oraz programów badawczo-rozwojowych w dziedzinie energii

Fundusze	Opis
Fundusze Europejskie na rzecz Infrastruktury, Klimatu i Środowiska 2021-2027 (FENIKS)	Jego głównym celem jest poprawa warunków rozwojowych kraju poprzez budowę infrastruktury technicznej i społecznej zgodnej z zasadami zrównoważonego rozwoju. Jest niezwykle ważnym narzędziem realizacji polityki energetycznej, klimatycznej i środowiskowej Polski. Wspiera m.in. wzrost efektywności energetycznej, redukcję emisji gazów cieplarnianych i adaptację do zmian klimatu. Łączna kwota budżetu to prawie 29,3 mld euro. Środki unijne dostępne w ramach FENIKS 2021-2027 dla sektora energetycznego wynoszą 6,08 mld euro, a dla sektora środowiska 3,67 mld euro.
Fundusze Europejskie dla Nowoczesnej Gospodarki 2021-2027 (FENG)	To kolejne ważne źródło unijnego finansowania badań i rozwoju w Polsce. Zapewnia przedsiębiorcom i naukowcom środki na wsparcie projektów badawczo-rozwojowych mających na celu komercjalizację technologii, produktów i usług. Budżet programu wynosi ok. 10 mld euro. Wsparcie obejmuje m.in. zazielenienie przedsiębiorstw oraz realizację projektów w ramach Platformy na rzecz Technologii Strategicznych dla Europy (STEP).
Fundusze norweskie i EOG	Program ma na celu łagodzenie zmian klimatu i zmniejszenie podatności na nie. W ramach programu wspierane będą działania na rzecz dekarbonizacji gospodarki. Celem jest budowa odporniejszego społeczeństwa żyjącego w zrównoważony sposób. W ramach programu dodatkowo finansowane będą badania naukowe i innowacje, wymiar sprawiedliwości, poprawa odporności na katastrofy naturalne, kultura i dziedzictwo naturalne i rozwój lokalny. Łączna wielkość środków zaangażowanych w Program w sektorze środowiska wyniesie ok. 160 mln euro. Głównym źródłem finansowania Programu działań na rzecz środowiska, energii i klimatu jest Mechanizm Finansowy Europejskiego Obszaru Gospodarczego (MF EOG). Wsparcie jest uzupełniane przez budżet krajowy.

11.4. Planowane środki dla przemysłu

W projekcie Krajowego Planu na rzecz Energii i Klimatu nie przedstawiono instrumentów wsparcia bezpośrednio dedykowanych elektryfikacji przemysłu. Planowane instrumenty mają głównie na celu wsparcie:

- budowy instalacji OZE;
- poprawy efektywności energetycznej;
- wysokowydajnej kogeneracji;
- rozwoju produkcji wodoru;
- rozwoju reaktorów SMR.

Przegląd działań planowanych dla przemysłu w polskim KPEiK znajduje się w Załączniku 6.

12. Rekomendacje

Rozwiązania ekonomiczne

Przemysł w Unii Europejskiej musi pozostać konkurencyjny i jak każda inna gałąź gospodarki musi reagować na bodźce finansowe. Skuteczna strategia elektryfikacji powinna przewidywać takie kształtowanie środowiska gospodarczego przemysłu, aby elektryfikacja była najbardziej stabilnym długoterminowo i opłacalnym rozwiązaniem. Powinno to obejmować:

- Długoterminowe planowanie transformacji energetycznej z jasnymi ścieżkami cen głównych nośników energii i kosztów ich stosowania – tworzy stabilność makroekonomiczną i zachęca do długoterminowych inwestycji.
- Dedykowane systemy wsparcia dla elektryfikacji ciepła przemysłowego, zaprojektowane w celu wypełnienia luki między kosztami dalszego wykorzystania paliw kopalnych (jeśli są niższe) a elektryfikacją – stwarza ekonomiczną opłacalność wczesnego wdrożenia elektryfikacji.
- Zachęty do magazynowania ciepła i energii elektrycznej z korzyścią dla stabilności i efektywności ekonomicznej sieci elektroenergetycznej – poprawia stabilność i konkurencyjność sieci elektroenergetycznej.
- Aukcje na zdekarbonizowane (w szczególności zelektryfikowane) ciepło – narzędzie do rozpoczęcia dekarbonizacji w wybranych zastosowaniach, które są najbliższe komercyjnej rentowności nawet bez wsparcia.
- Bardziej elastyczne opłaty sieciowe za energię elektryczną – aby zachęcić do bardziej elastycznego korzystania z energii elektrycznej, szczególnie w przypadku kotłów elektrycznych podłączonych do magazynów ciepła.
- Równe obciążenie opłatami emisji gazów cieplarnianych z 1 zakresu, 2 zakresu i od międzynarodowych konkurentów – w celu wyrównania szans.
- Zaprzestanie dopłat do dalszego wykorzystywania paliw kopalnych, takich jak dopłaty do małej kogeneracji, dopłaty do wydobycia paliw kopalnych i sztuczne obniżanie cen energii dotowanych z budżetów państw – w celu wyeliminowania nieuczciwej konkurencji ze strony firm nadal wykorzystujących paliwa kopalne.

Rozwiązania regulacyjne i strategiczne

Środki te odnoszą się do drugiej bariery, jaką jest nieodpowiednie i/lub niestabilne prawodawstwo.

- Przepisy dotyczące OZE powinny zostać zaktualizowane w celu uproszczenia rozwoju OZE na terenach przemysłowych – stworzyłoby to możliwości biznesowe dla wielu zdegradowanych terenów.
- Przepisy dotyczące lądowej energetyki wiatrowej powinny zostać zliberalizowane, aby umożliwić umieszczanie turbin wiatrowych w odległości 500 metrów od budynków i innych chronionych miejsc – znacznie zwiększy to potencjał lądowej energetyki wiatrowej i obniży ceny energii elektrycznej dla wszystkich.
- Regulacje dotyczące bezpośrednich linii elektroenergetycznych powinny zostać ulepszone – aby ułatwić ich budowę i zapewnić rzeczywiste korzyści ekonomiczne dla oddolnego rozwoju OZE.

