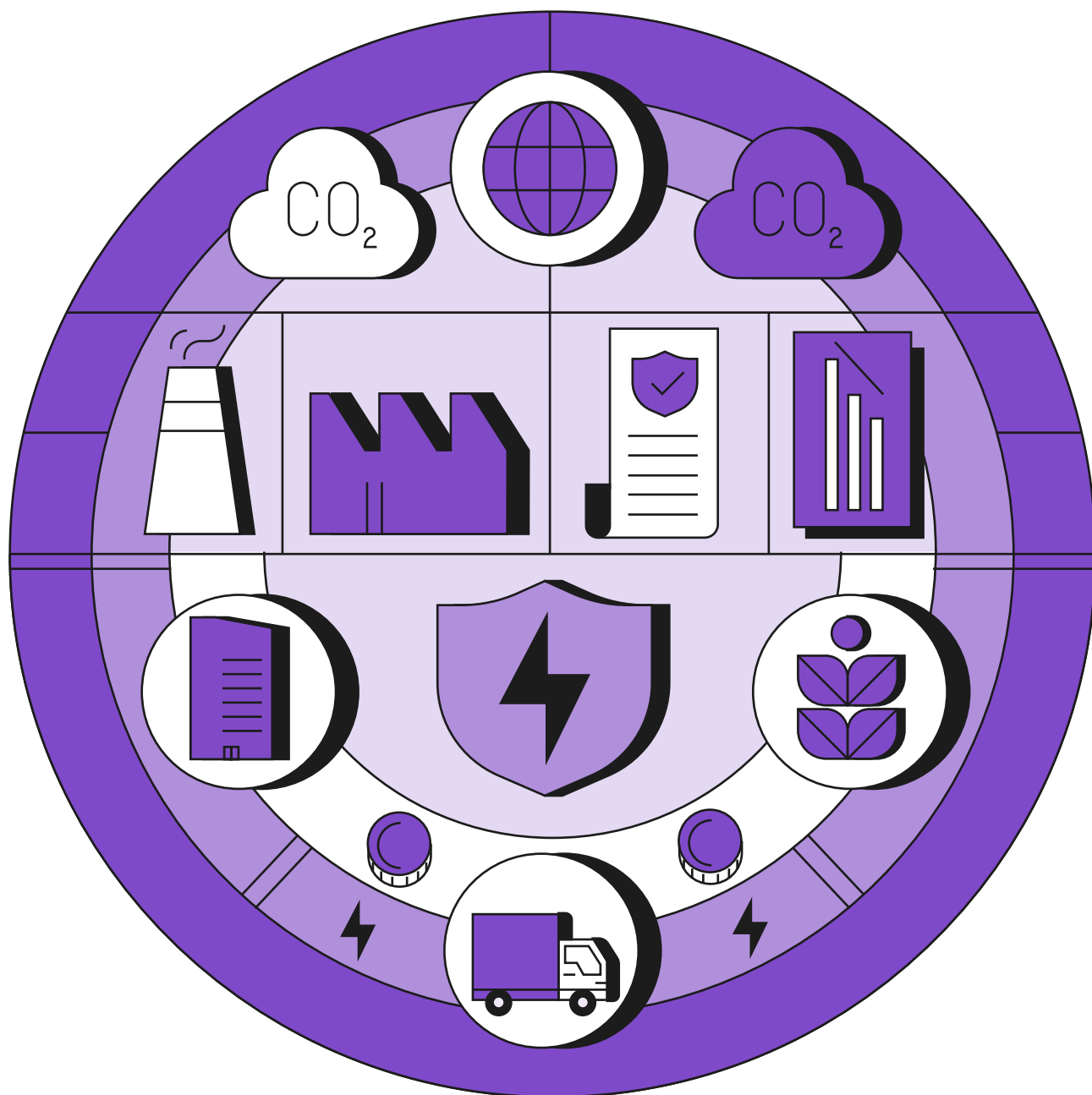


Analiza możliwości redukcji emisji w Polsce

przy użyciu narzędzia Pathways Explorer



Analiza możliwości redukcji emisji w Polsce

przy użyciu narzędzia Pathways Explorer



Instrat Working Paper 01/2023

Jakub Bryksy

Agata Mikitiuk

Aleksander Szpor

Warszawa, styczeń 2023

Rekomendujemy cytowanie:

J. Bryksy, A. Mikitiuk, A. Szpor,
*Analiza możliwości redukcji
emisji w Polsce przy użyciu narzędzia
Pathways Explorer*
Instrat Working Paper 01/2023

Autorzy:

Jakub Bryksy, Agata Mikitiuk, Aleksander Szpor

Wkład merytoryczny i współpraca:

Patryk Kubiczek, Wojciech Rabiega,
Michał Borkowski

Redakcja:

Julia Zaleska

Projekt okładki i skład:

Anna Olczak

Kontakt:

Aleksander Szpor, Program Sprawiedliwa
Transformacja, aleksander.szpor@instrat.pl

Treść publikacji dostępna na licencji Creative
Commons Attribution 4.0 International
(CC BY 4.0).

Publikację można pobrać ze strony internetowej
Fundacji Instrat:
[www.instrat.pl/publikacje/pathways
-explorer-pl](http://www.instrat.pl/publikacje/pathways-explorer-pl).

Dane dotyczące obliczeń mogą zostać
udostępnione na wniosek zainteresowanych
osób. Wszelkie błędy są nasze. Stosuje się
zwyczajowe zastrzeżenia.

ISBN: 978-83-962333-8-7

Publikacja powstała przy wsparciu Europejskiej Fundacji Klimatycznej (ECF) w ramach projektu:
Pathways Explorer – Modelowanie drogi do neutralności klimatycznej Polski w 2050.



instrat



instrat.pl

Fundacja Instrat
ul. Hoża 51
00-681 Warszawa
www.instrat.pl

Spis treści

Cel publikacji	4
1. Selekcja i opracowywanie danych wejściowych do modelu	8
2. Odwzorowanie głównych scenariuszy dekarbonizacji w Polsce w modelu Pathways Explorer	12
3. Tworzenie scenariuszy dynamicznych	15
4. Omówienie wybranych scenariuszy dekarbonizacji do 2050 r.	16
4.1. Scenariusze dekarbonizacji a Polityka energetyczna Polski do 2040 r.	16
4.2. Omówienie wniosków sektorowych	18
Załączniki	24

Cel publikacji

Raport stanowi podsumowanie prac zespołu Fundacji InStrat nad zebraniem i opracowaniem szczegółowych scenariuszy dekarbonizacji polskiej gospodarki. Prace te odbywały się w ramach współpracy z firmą Climact, w oparciu o model Pathways Explorer. Firma Climact realizowała podobne projekty z organizacjami reprezentującymi 32 państwa Unii Europejskiej.

Główne działania po stronie InStratu w ramach realizacji projektu obejmują:

- zebranie kompletnych i aktualnych danych dotyczących emisji GHG w głównych sektorach polskiej gospodarki,
- przegląd i analizę porównawczą wszystkich dostępnych scenariuszy dekarbonizacji polskiej gospodarki do 2050 r.,
- symulacje wybranych scenariuszy o możliwie najwierniejszym stopniu odwzorowania,
- kalibrację scenariuszy w modelu Pathways Explorer,
- popularyzację Pathways Explorer – przyjaznego dla użytkownika narzędzia umożliwiającego tworzenie alternatywnych scenariuszy.

Model Pathways Explorer obejmuje pięć kluczowych sektorów gospodarki, dla których przeprowadzono indywidualne analizy danych historycznych i scenariuszy zmian. Są to:



1

Transport



2

Budynki



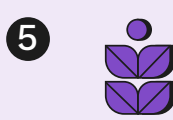
3

Przemysł



4

Wytwarzanie energii



5

AFOLU
(rolnictwo, leśnictwo i inne
użytkowanie gruntów)

Efekt prac jest dostępny w narzędziu Pathways Explorer umożliwiającym analizę scenariuszy dekarbonizacji w dwóch ujęciach:

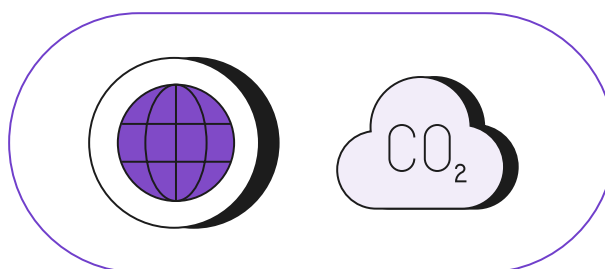
- 1 **STATYCZNYM** – odwzorowanie istniejących scenariuszy zewnętrznych (McKinsey, CAKE, KE).
- 2 **DYNAMICZNYM** – wyniki modelu umożliwiające użytkownikowi zmianę założeń dzięki licznym dźwigniom (z ang. *levers* – czynniki wpływające na scenariusze dekarbonizacji).

Model Pathways Explorer korzysta z najlepszych praktyk zaczerpniętych z podobnych projektów akademickich i konsultingowych w zakresie wspierania decydentów w procesie tworzenia polityki klimatyczno-energetycznej. W efekcie Pathways Explorer jest przejrzystą platformą zawierającą źródła danych pochodzące zarówno z modeli czy polityk energetycznych, jak i stricte ze specjalistycznych dokumentów sektorowych.

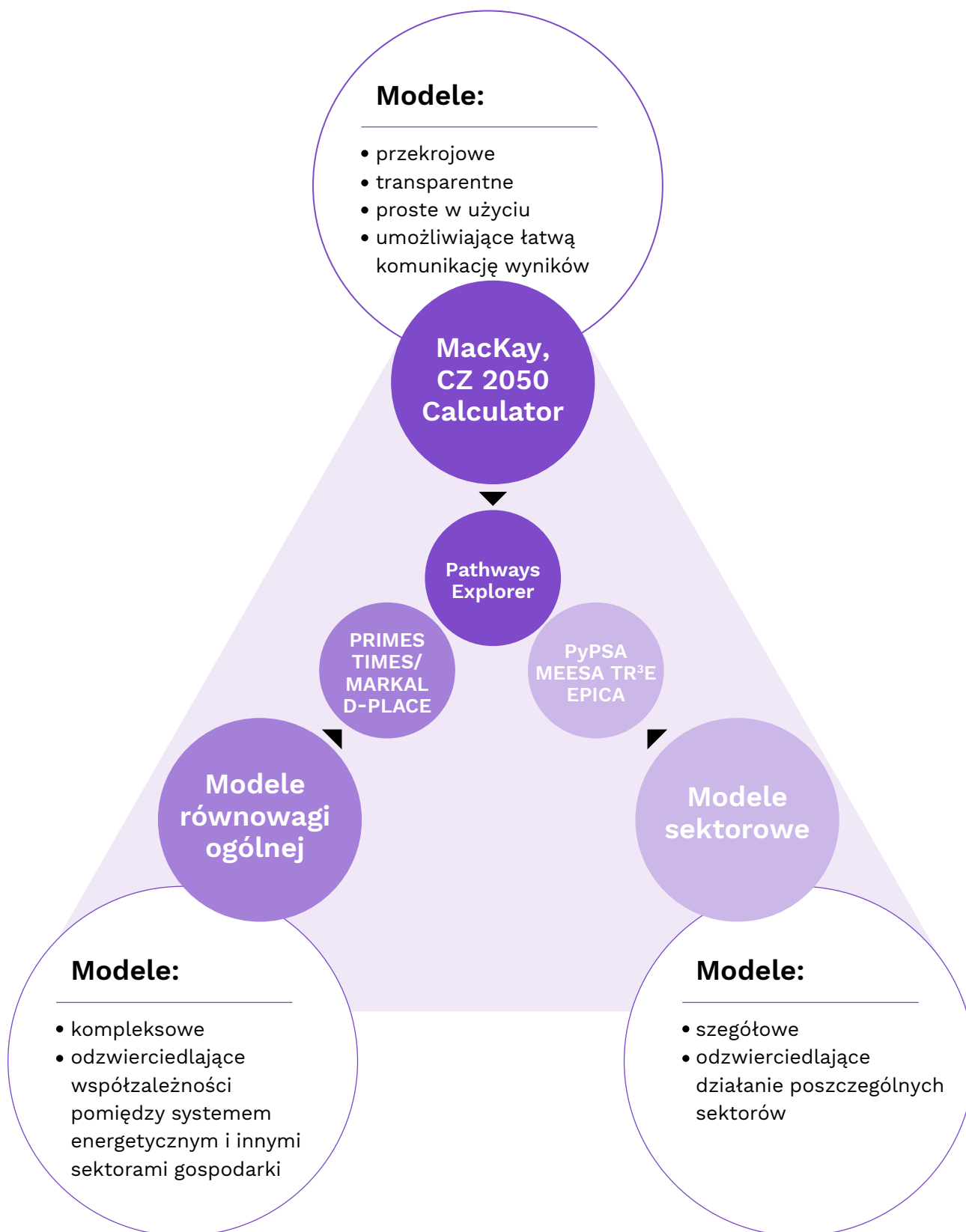
Silną stroną modelu Pathways Explorer jest transparentność i interaktywność. Umożliwia on użytkownikom bez kompetencji z obszaru modelowania śledzenie wpływu wielu zmiennych na wynik modelu i tworzenie własnych scenariuszy dekarbonizacji. Pozwala to również na porównanie własnych symulacji z głównymi założeniami dekarbonizacyjnymi, które są obecne w debacie publicznej.

Narzędzie to umożliwia zrozumienie zależności i wzajemnego wpływu sektorów na poziom dekarbonizacji w gospodarce. W oparciu o tę wiedzę możliwe jest oparte na faktach priorytetyzowanie niezbędnych interwencji (polityk publicznych). Umożliwia to także ocenę kosztów tych działań.

W przeciwieństwie do wyspecjalizowanych modeli sektorowych, Pathways Explorer charakteryzuje mniejsza liczba zmiennych. Pathways Explorer nie jest też modelem równowagi ogólnej, choć obejmuje powiązania pomiędzy sektorami. Rozdzielczość danych w poszczególnych sektorach jest mniejsza niż rozdzielczość wyspecjalizowanych modeli sektorowych. Mniejsza szczegółowość modelu umożliwia uzyskiwanie wyników symulacji w czasie rzeczywistym, przez co sprzyja potrzebom użytkowników niemających kompetencji w zakresie modelowania.



WYKRES 1. Umieszczenie modelu Pathways Explorer względem porównywalnych narzędzi analitycznych



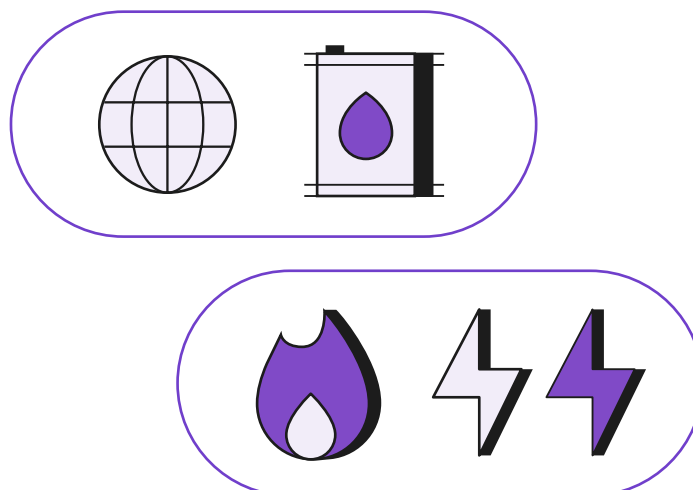
Źródło: opracowanie własne Instrat na podstawie Climact.

Aktualność modelu w świetle wojny w Ukrainie

Rozwój modelu i uzupełnianie danych wejściowych odbywały się głównie przed wybuchem wojny w Ukrainie w lutym 2022 r. Wojna ta wywarła istotny wpływ na ceny i dostępność surowców energetycznych, a także ceny energii. Agresja Rosji na Ukrainę wpłynęła również na czynniki makroekonomiczne, w tym w szczególności na popyt, podaż oraz inflację. Trudno jednak w perspektywie średnio- oraz długoterminowej oszacować ostateczny wpływ wojny¹ na polską gospodarkę. Z dużym prawdopodobieństwem obserwować będzie można dwa przeciwstawne trendy:

- 1 INWESTYCJE (ODTÓRCZE)** w złoża paliw kopalnych i technologie oparte na tych paliwach mające uchronić przed doraźnymi skutkami zakłóceń dostaw surowców z Rosji.
- 2 PRZYSPIESZONE INWESTYCJE** w odnawialne źródła energii i technologie niskoemisyjne pozwalające na uniezależnienie się od dostaw paliw z Rosji.

Jest możliwe, że trendy te w średnim i długim horyzoncie będą się równoważyć, dlatego założenia dla poszczególnych scenariuszy nie zostały zmienione.



¹ Zgodnie z opublikowanym przez Zespół doradczy ds. kryzysu klimatycznego PAN biuletynem z marca 2022 r.: „Warto bardzo mocno podkreślić, że o ile wojna w Ukrainie może w początkowym okresie spowolnić procesy dekarbonizacyjne w Europie, a zwłaszcza w Polsce, to w nieco dalszej perspektywie może znacząco przyspieszyć transformację energetyczną. To nie jest paradoks. Wynika to z faktu, że droga energia wymusza radykalną poprawę efektywności energetycznej i przyspiesza rozwój OZE we wszystkich sektorach gospodarki. Odnawialne źródła nie są bowiem obciążone kosztami paliw i CO₂”.

1. Selekcja i opracowywanie danych wejściowych do modelu

Pierwszy etap prac nad modelem obejmował aktualizację i uzupełnienie bazy danych historycznych modelu Pathways Explorer do 2015 r.

Pierwotne dane dla Polski, które są zawarte w narzędziu, pochodzą z międzynarodowych baz danych. Kluczowe źródło stanowi zintegrowana baza europejskiego sektora energetycznego (JRC-IDEES). Baza ta uwzględnia istotne dane energetyczne, gospodarcze i środowiskowe (zgodne z Eurostatem) oraz najnowsze dane z zakresu technologii.

Brakujące dane pozyskano z Głównego Urzędu Statystycznego oraz specjalistycznych zbiorów i opracowań. W niektórych przypadkach konieczna była również korekta, aktualizacja lub zastąpienie danych innymi i bardziej wiarygodnymi. W podziale sektorowym wykorzystane bazy danych obejmują pięć opisanych dalej obszarów.



Budynki

W sektorze budynków większość danych pochodzi ze zintegrowanej bazy danych dla europejskiego systemu energii JRC-IDEES. Brakujące wartości zostały uzupełnione w oparciu o międzynarodowe i krajowe źródła, przede wszystkim Eurostat (EU Buildings database), raporty GUS (*Gospodarka mieszkaniowa w 2015 r.*² oraz *Zużycie energii w gospodarstwach domowych – raporty z lat 2009–2018*³). W mniejszym stopniu korzystano również z danych zawartych w raporcie Forum Energii: *Czyste ciepło 2030. Strategia dla ciepłownictwa*⁴.

² Główny Urząd Statystyczny, *Gospodarka mieszkaniowa w 2015 r.*, 2016, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/infrastruktura-komunalna-nieruchomosci/nieruchomosci-budynki-infrastruktura-komunalna/gospodarka-mieszkaniowa-w-2015-r-,13,11.html>.

³ Główny Urząd Statystyczny, *Zużycie energii w gospodarstwach domowych*, 2018, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/zuzycie-energii-w-gospodarstwach-domowych-w-2018-roku,2,4.html>.

⁴ Forum Energii, *Czyste ciepło 2030 | Strategia dla ciepłownictwa*, 2019, <https://www.forum-energii.eu/pl/analizy/czyste-cieplo-2030>.



Transport

Większość danych pochodzi ze zintegrowanej bazy danych JRC-IDEES 2015 oraz informacji zebranych podczas projektu TRACCS⁵. Wykorzystane zostały również publikacje Eurostatu, związane z tematyką transportową w Polsce. Dane historyczne zostały zaktualizowane przede wszystkim w oparciu o publikację GUS: *Transport – wyniki działalności*⁶ (raporty z lat 2002–2015). Publikacje te były w szczególności przydatne do sprecyzowania liczby poszczególnych typów pojazdów, zarówno pasażerskich, jak i towarowych. Pomogły także w określeniu liczby i długości różnych typów podróży, czyli *last mile* (definiowanych jako 10% podróży poniżej 50 km) oraz *long distance* (pozostałe przedziały kilometrowe). Istotny był także udział poszczególnych typów napędów w całym parku pojazdowym. Przy aktualizacji liczby pojazdów elektrycznych oraz hybrydowych jeżdżących po polskich drogach, korzystano również z Licznika Elektromobilności Polskiego Stowarzyszenia Paliw Alternatywnych (PSPA).



Energetyka

Kluczowe źródło danych historycznych (ponad 90% wszystkich kategorii technologicznych) stanowiła międzynarodowa zintegrowana baza europejskiego systemu energii JRC-IDEES (Integrated Database of the European Energy System). W przypadku braku dostępności niektórych wartości do roku 2015, positkowano się dodatkowymi dokumentami: raportami rocznymi PKN ORLEN do uzupełnienia danych z branży petrochemicznej (*annual crude oil processing volumes*) oraz platformą World Integrated Trade Solutions (WITS) dla poszczególnych danych handlowych.



Przemysł

Najwięcej danych historycznych uzupełniono w oparciu o publikacje Głównego Urzędu Statystycznego. Były to głównie raporty roczne dotyczące produkcji wyrobów przemysłowych w Polsce (*Produkcja wyrobów przemysłowych w latach 2015–2019*⁷). Podczas aktualizacji założeń dla obszaru metali nieżelaznych (ang. *non-ferrous*) oraz produktów drewnianych (ang. *wood*) positkowano się międzynarodową bazą JRC-IDEES. W przypadku trudno dostępnych danych dotyczących szkła (ang. *glass*), wykorzystano najnowsze artykuły opublikowane przez portal internetowy Strefa Biznesu.

⁵ Projekt finansowany przez KE, którego głównym celem było gromadzenie danych dotyczących transportu w celu wsparcia analizy ilościowej środków związanych z transportem i zmianą klimatu.

⁶ Główny Urząd Statystyczny, *Transport – wyniki działalności*, 2015, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/transport-i-lacznosc/transport/transport-wyniki-dzialalnosci-w-2015-r,-9,15.html>.

⁷ Główny Urząd Statystyczny, *Produkcja wyrobów przemysłowych w latach 2015–2019*, 2020, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/przemysl-budownictwo-srodk-trwale/przemysl/produkcja-wyrobow-przemyslowych-w-latach-20152019,14,2.html>.



AFOLU

AFLOU to zbiorcza nazwa rolnictwa, leśnictwa i użytkowania gruntów (ang. *Agriculture, Forestry and Land Use*). Najwięcej danych zostało uaktualnionych przy użyciu publikacji GUS – *Roczniki Statystyczne Rolnictwa oraz Roczniki Statystyczne Leśnictwa*. Przy wypełnianiu modułu bioenergii wykorzystano dane z raportu: *Biogaz w Polsce – raport 2020*⁸ Polskiego Stowarzyszenia Biometanu w zakresie produktów, z których produkowany był w Polsce biogaz w 2020 r. Przydatne były również informacje Krajowego Ośrodka Wsparcia Rolnictwa (KOWR) dotyczące biokomponentów użytych do produkcji bioetanolu oraz biodiesla w 2020 r. Z kolei dane z National Inventory Reports Polski, publikowane w ramach uczestnictwa naszego państwa w Ramowej Konwencji ONZ dotyczącej zmian klimatu, zostały wykorzystane do aktualizacji historycznych negatywnych emisji CO₂e wynikających z LULUCF (użytkowanie gruntów, zmiana użytkowania gruntów i leśnictwo, ang. *Use, Land-Use Change, and Forestry*).






W niektórych przypadkach dane ze scenariuszy w raportach źródłowych obejmowały inne zakresy lub przedziały lat niż w modelu docelowym. Aby uzupełnić wartości w okresach przejściowych, zastosowano interpolację⁹ danych. Aby uzupełnić zbyt krótkie szeregi czasowe, stosowano aproksymację, która w oparciu o dane historyczne (z wcześniejszych okresów) pomaga stworzyć linię trendu wychodzącą poza posiadany zakres.

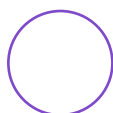


⁸ Polskie Stowarzyszenie Biometanu, *Biogaz w Polsce – raport 2020*, 2020, <https://magazynbiomasa.pl/biogaz-w-polsce-raport-2020-dzis-premiera-publicacji/>.

⁹ Interpolacja liniowa wielomianowa wyznacza wartość poszukiwaną na bazie współrzędnych początkowych i końcowych (tzw. węzłów), wyznaczając linię prostą przechodzącą przez wszystkie trzy punkty. W ten geometryczny sposób można wyznaczyć dowolną liczbę punktów pośrednich.

TABELA 1. Źródła danych wykorzystanych do aktualizacji danych historycznych w modelu Pathways Explorer

 Budynki	 Transport	 Energetyka	 Przemysł	 AFOLU
JRC-IDEES 2015	JRC-IDEES 2015	JRC-IDEES 2015	Główny Urząd Statystyczny	Główny Urząd Statystyczny
• Kluczowe dane technologiczne	• Kluczowe dane technologiczne	• Kluczowe dane technologiczne	• Produkcja wyrobów przemysłowych	• Roczniki Statystyczne Rolnictwa • Roczniki Statystyczne Leśnictwa
Główny Urząd Statystyczny	Główny Urząd Statystyczny	World Integrated Trade Solution	JRC-IDEES 2015	Organizacja Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa
• Gospodarka mieszkaniowa • Zużycie energii	• Transport: wyniki działalności	• Poszczególne dane handlowe	• Dane dla kategorii <i>non-ferrous</i> oraz <i>wood</i>	• Informacje dotyczące wyżywienia
Forum Energii	Polskie Stowarzyszenie Paliw Alternatywnych	PKN ORLEN oraz Lotos	Portal Strefa Biznesu	JRC-IDEES 2015
• Raport: <i>Czyste Ciepło 2030. Strategia dla ciepłownictwa</i>	• Licznik Elektromobilności	• Raporty roczne	• Dane dotyczące szkła	• Dane dotyczące zużycia energii
Eurostat	Eurostat		Ramowa Konwencja ONZ w sprawie zmian klimatu	Polskie Stowarzyszenie Biometanu
• EU Buildings Database	• <i>Pocket Book</i>		• Krajowe raporty inwentaryzacyjne	• Raport: <i>Biogaz w Polsce 2020</i>
			Ramowa Konwencja ONZ w sprawie zmian klimatu	Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa
				• Krajowe raporty inwentaryzacyjne
				• Informacje dotyczące rynku biokomponentów



Źródło międzynarodowe



Najważniejsze źródło w danym sektorze



Inne źródła

Źródło: opracowanie własne In strat.

2. Odzworowanie głównych scenariuszy dekarbonizacji w Polsce w modelu Pathways Explorer

Drugi etap prac obejmował wybór trzech najważniejszych, istniejących już scenariuszy dekarbonizacji polskiej gospodarki oraz ich odzwierciedlenie w modelu Pathways Explorer.

Aby dokonać wyboru scenariuszy, przeprowadzono przegląd literatury związanej z modelowaniem dekarbonizacji polskiej gospodarki. Kierując się dwoma kryteriami, tj. kompleksowości obliczeń oraz ich wiarygodnością, wyłoniono dwa główne źródła zawierające scenariusze transformacji do 2050 r.

Pierwszym źródłem scenariuszy był raport Centrum Analiz Klimatyczno-Energetycznych (CAKE) *Polska Net-Zero 2050. Mapa drogowa osiągnięcia wspólnotowych celów polityki klimatycznej dla Polski do 2050 r.*¹⁰ Opracowanie to zawiera szczegółowy opis metodologiczny, którego autorzy posiadają wieloletnie doświadczenie (także naukowe) w obszarze modelowania. Raport opiera się na wynikach trzech modeli sektorowych (energetyka, transport, rolnictwo). Oznacza to, że dwa istotne z punktu widzenia modelu Pathways Explorer sektory (budynki i przemysł) zostały przeanalizowane w raporcie z dużym uproszczeniem¹¹.

Drugim źródłem jest raport firmy konsultingowej McKinsey *Carbon-neutral Poland 2050. Turning a challenge into an opportunity*¹². Opracowanie to zostało przygotowane z mniejszą transparentnością co do metodologii, wykorzystanych danych i działania modelu. Opiera się jednak o narzędzie obejmujące wszystkie pięć sektorów kluczowych z punktu widzenia Pathways Explorer.

¹⁰ Centrum Analiz Klimatyczno-Energetycznych, *Polska net-zero 2050. Mapa drogowa osiągnięcia wspólnotowych celów polityki klimatycznej dla Polski do 2050 r.*, 2021, https://climatecake.ios.edu.pl/wp-content/uploads/2022/01/CAKE_Mapa-drogowa-net-zero-dla-PL.pdf.

¹¹ W przypadku pominiętych sektorów brakujące dane zostały zastąpione wartościami przedstawionymi w pierwotnej projekcji WAM (dla scenariusza REF) oraz w projekcji McKinsey (dla scenariusza NEU).

¹² McKinsey & Company, *Carbon-neutral Poland 2050. Turning a challenge into an opportunity*, 2020, https://www.mckinsey.com/pl/~/_media/mckinsey/locations/europe%20and%20middle%20east/polska/raporty/carbon%20neutral%20poland%202050/carbon%20neutral%20poland_mckinsey%20report.pdf.

Ze scenariuszy zawartych w obu publikacjach wybrano trzy. Kryterium wyboru było m.in. zróżnicowanie pod względem stopnia redukcji emisji.

- 1 Scenariusz zaczerpnięty z opracowania CAKE określony tutaj jako **scenariusz referencyjny (REF)** – zmierza on do redukcji emisji na poziomie ok. 80% GHG w 2050 r. względem 1990 r. z wyłączeniem sektora użytkowania gruntów i leśnictwa (LULUCF).
- 2 Scenariusz zaczerpnięty z opracowania CAKE określony tutaj jako **scenariusz neutralności (NEU)** – zakłada 90% redukcji emisji w 2050 r. względem 1990 r. i zerowy poziom emisji netto, czyli z uwzględnieniem technologii pochłaniania, łącznie z sektorem LULUCF.
- 3 Scenariusz zaczerpnięty z opracowania McKinsey określony tutaj jako **scenariusz net-zero** – przewiduje on obniżenie poziomu emisji w roku 2050 o 91% względem roku 2017. Pozostałe 9% miałyby tutaj zostać zrekompensowane w ramach zwiększenia możliwości pochłaniania dwutlenku węgla. W związku z powyższym, w roku 2050 Polska miałaby szansę stać się krajem neutralnym klimatycznie. Scenariusz McKinsey jest zatem najbardziej optymistyczny – zakłada istotną rolę wykorzystania odnawialnych źródeł energii, rozwój atomu oraz stopniowe odchodzenie od węgla.

Wybrane trzy scenariusze stanowiły podstawę do przeprowadzonych w modelu Pathways Explorer symulacji. Na tym etapie głównymi wyzwaniami były:

- ograniczona dostępność informacji szczegółowych w raportach CAKE i McKinsey na temat założeń i danych,
- różnice pomiędzy strukturą modeli wykorzystywanych przez CAKE i McKinsey a modelem Pathways Explorer (np. odmienny zakres sektorów).

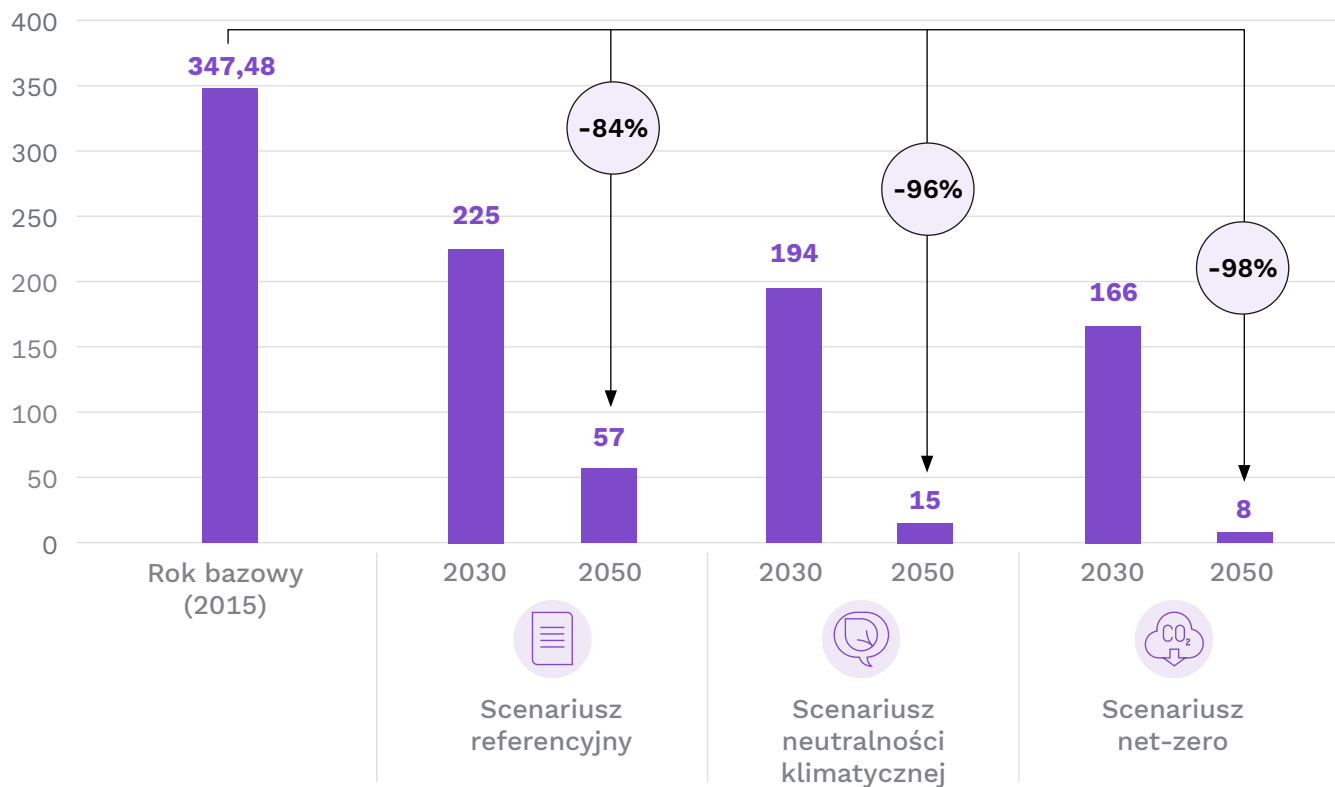
Aby sprostać temu wyzwaniu, konieczne było przyjęcie własnych założeń i przeprowadzenie obliczeń na podstawie dostępnych danych, które pozwoliły uzupełnić brakujące informacje. W efekcie symulacje odwzorowanych scenariuszy różnią się od pierwowzorów w pewnym stopniu.



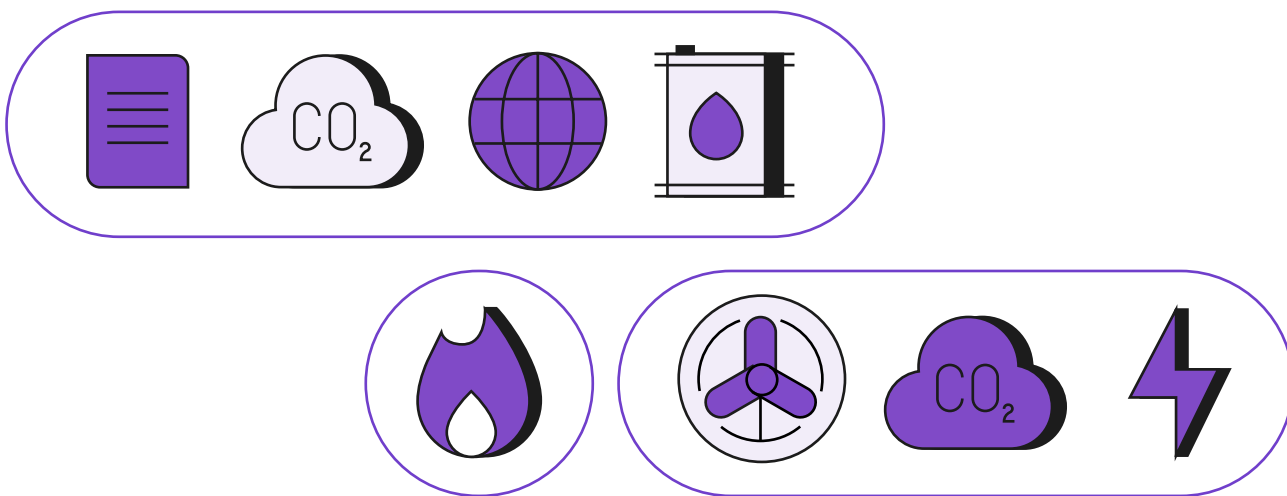
Przygotowane przez Instrat symulacje scenariuszy nazwano: scenariuszem referencyjnym (REF), scenariuszem **neutralności klimatycznej (NEU)** oraz scenariuszem **net-zero**. Nazewnictwo to nawiązuje do pierwowzorów, ale z zastrzeżeniem, że nie są one wiernym odzwierciedleniem.

WYKRES 2. Podsumowanie wyników symulacji wybranych scenariuszy w odniesieniu do roku bazowego (2015 r.)

Emisje GHG
(MtCO₂e)



Źródło: opracowanie własne Instrat na podstawie Pathways Explorer (dane z 9 października 2022 r.).



3. Tworzenie scenariuszy dynamicznych

Kolejnym etapem było przygotowanie scenariuszy dynamicznych w narzędziu Pathways Explorer. W tym celu dla poszczególnych sektorów przeanalizowano możliwe dźwignie (ang. *levers*). Są to czynniki wpływające na scenariusze dekarbonizacji. Dla każdej dźwigni przygotowano cztery wartości umożliwiające użytkownikowi wybór różnych poziomów ambicji scenariusza.

Wartości poszczególnych dźwigni były ustalane w oparciu o założenia zawarte w raportach CAKE i McKinsey. W przypadku braku szczegółowych danych positkowano się wiedzą ekspercką i analizami wewnętrznymi, aby jak najwierniej odzwierciedlić przyjęte założenia emisyjne. Każda wartość (w skali 1–4) w dźwigniach odpowiada innemu poziomowi ambicji ograniczenia emisji. Wartości od 1 do 4 oznaczają:

1 SCENARIUSZ PRZEDŁUŻENIA TRENDÓW HISTORYCZNYCH
zgodny ze scenariuszami typu *business-as-usual* (BAU),

2 SCENARIUSZ POŚREDNI
czyli ambitniejszy, jednak niewykorzystujący pełnego potencjału dostępnych rozwiązań,

3 SCENARIUSZ BARDZO AMBITNY
uwzględniający rozwój technologii i wykorzystanie sprawdzonych rozwiązań stosowanych w innych krajach,

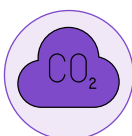
4 SCENARIUSZ TRANSFORMACYJNY
oparty na przełomowych innowacjach uwzględniających np. bardzo silne ograniczenie kosztów technologii, silne zmiany społeczne, odkrycie i rozwój nowych technologii, przyspieszony i szeroki rozwój infrastruktury.

W przypadku braku potrzebnych danych lub scenariuszy dla poszczególnych podobszarów, positkowano się zarówno powszechnie dostępnymi analizami dla danych sektorów, jak i wiedzą ekspercką Instrat. W sytuacji braku wiarygodnych danych dla Polski, wartości dźwigni uzupełniano przy założeniu konwergencji Polski do średniej UE. Dlatego, w niektórych przypadkach, wynik końcowy może nieznacznie odbiegać od wartości prezentowanych w raportach CAKE i McKinsey.

4. Omówienie wybranych scenariuszy dekarbonizacji do 2050 r.

4.1. Scenariusze dekarbonizacji a Polityka energetyczna Polski do 2040 r.

Postępując się narzędziem Pathway Explorer oraz bazując na wyżej opisanych pierwowzorach, Instrat stworzył trzy scenariusze przedstawiające zróżnicowane tempo dekarbonizacji w Polsce w horyzoncie do 2050 r. Przyjęto jednakowe założenia dotyczące liczby mieszkańców kraju oraz gospodarstw domowych dla wszystkich analizowanych scenariuszy. Choć liczba mieszkańców będzie spadać (z 38 mln w 2015 r. do 35 mln w 2050 r.), to liczba gospodarstw domowych w tym czasie wzrośnie (z 13,7 mln do 15,5 mln). Przedstawione przez Instrat scenariusze różnią się od siebie w zasadniczych kwestiach:



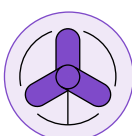
EMISJA GAZÓW CIEPLARNIANYCH

Według scenariusza referencyjnego (REF) emisje gazów cieplarnianych w 2050 r. osiągają 71 MtCO₂e, podczas gdy w scenariuszu ambitnym (net-zero) osiągają one ponad trzykrotnie niższy poziom, czyli 22 MtCO₂e. Scenariusz pośredni (NEU), w którym emisje osiągają 28 MtCO₂e, jest bliższy scenariuszowi ambitnemu (net-zero) jeśli chodzi o wartość w 2050 r., jednak charakteryzuje go wolniejsze tempo redukcji emisji.



UDZIAŁ ENERGII ELEKTRYCZNEJ W KOŃCOWYM ZUŻYCIU ENERGII

Według scenariusza REF w 2050 r. zużycie energii wynosi 32%, podczas gdy w scenariuszu net-zero w 2050 r. wynosi ono 49%.

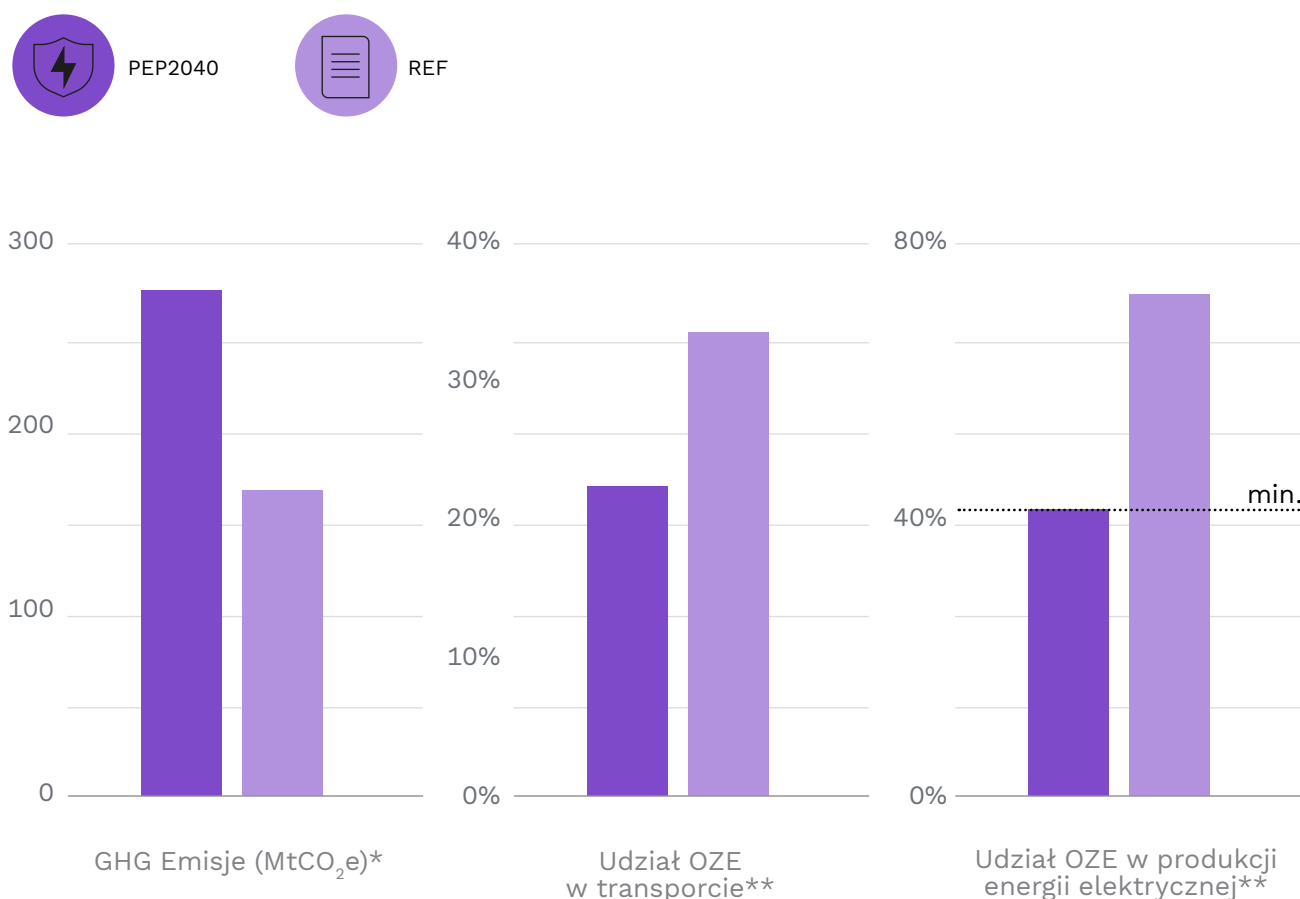


UDZIAŁ OZE W ZAPOTRZEBOWANIU NA ENERGIĘ

W scenariuszu REF wynosi on 61%, zaś w scenariuszu ambitnym aż 91%.

Głównym dokumentem wyznaczającym obecne kierunki i tempo zmian w zakresie dekarbonizacji jest *Polityka energetyczna Polski do 2040 r.* (PEP2040)¹³. Scenariusz transformacji w tym dokumencie odpowiada w największym stopniu scenariuszowi REF. Zgodnie z założeniami PEP2040 w 2030 r. emisja gazów cieplarnianych wyniesie ok. 268 MtCO₂e. Choć scenariusz REF przewiduje wartość bliską 234 MtCO₂e, można założyć, że rozbieżność rzędu 30 MtCO₂e wynika z braku uwzględnienia w PEP2040 wartości LULUCF. Zgodnie ze scenariuszem REF wysokość emisji netto z użytkowania gruntów w sektorze AFOLU wynosi 30 MtCO₂e. Ponadto PEP2040 przewiduje wysoki udział OZE w finalnym zużyciu energii. Scenariusz REF jest też zgodny z założeniami PEP2040 dotyczącymi ograniczania wykorzystania węgla w produkcji energii oraz intensyfikacji wdrażania OZE.

WYKRES 3. Porównanie wybranych danych w scenariuszu PEP2040 oraz scenariuszu REF dla 2040 r.



* Udział OZE w transporcie.

** W finalnym zużyciu energii brutto.

Źródło: opracowanie własne Instrat na podstawie Pathways Explorer (grudzień 2022 r.).

¹³ Ministerstwo Klimatu i Środowiska, *Polityka energetyczna Polski do 2040 r.*, 2021, <https://www.gov.pl/web/klimat/polityka-energetyczna-polski>.

4.2. Omówienie wniosków sektorowych



Budynki

Scenariusze REF i net-zero przewidują znaczne spadki emisji w sektorze do 2050 r. W stosunku do 2015 r. jest to ok. 50% w przypadku scenariusza referencyjnego oraz ponad 95% w scenariuszu net-zero. Kluczową rolę w osiągnięciu tych redukcji odgrywać będzie poprawa efektywności energetycznej budynków oraz wzrost udziału energii elektrycznej w zaspokojeniu zapotrzebowania na energię. Będzie to możliwe dzięki upowszechnieniu rozwiązań, takich jak pompy ciepła. Ponadto oba scenariusze zakładają ok. 50% wzrostu roli ciepłownictwa systemowego.



Scenariusz referencyjny (REF)

W związku z brakiem danych do scenariuszy w raporcie źródłowym w tym scenariuszu wykorzystano dane z WAM.

- scenariusz zakłada ok. 50% spadek emisji w latach 2015–2050 (z poziomu niespełna 45 MtCO₂e do 24 MtCO₂e),
- redukcja emisji jest napędzana wzrostem efektywności energetycznej budynków dzięki przeprowadzonym renowacjom infrastruktury,
- udział energii elektrycznej w całkowitym zużyciu energii w budynkach wzrasta względnie nieznacznie – z 26% w 2015 r. do 30% w 2050 r.,
- przewiduje się 50% wzrostu roli ciepłownictwa systemowego – z poziomu 12% w 2015 r. do 18% w 2050 r.



Scenariusz neutralności klimatycznej (NEU)

W związku z brakiem danych do scenariuszy w raporcie CAKE, w tym scenariuszu wykorzystano dane ze scenariusza net-zero. Oba scenariusze są optymistyczne i zakładają osiągnięcie neutralności klimatycznej w 2050 r. Decyzja ta została zaakceptowana na etapie prac nad projektem. Wyniki symulacji tego scenariusza są zatem takie same, jak w scenariuszu net-zero.



Scenariusz net-zero

- scenariusz zakłada znaczny spadek emisji w latach 2015–2050 – z poziomu niespełna 45 MtCO₂e do jedynie ok. 2 MtCO₂e,
- redukcja emisji jest napędzana wzrostem efektywności energetycznej dzięki gruntownej renowacji infrastruktury – do poziomu kolejno 91% i 89% budynków mieszkalnych i niemieszkalnych w 2050 r.,
- do 2050 r. energia elektryczna ma zaspokoić 44% całkowitego zapotrzebowania na energię w budynkach,
- do 2030 r. przewidywane jest osiągnięcie 50% wzrostu roli ciepłownictwa systemowego (w stosunku do 2015 r.), a poziom ten ma się utrzymać w roku 2050.



Transport

W sektorze transportu wszystkie scenariusze zakładają gwałtowny spadek emisji do 2050 r. względem 2015 r. Scenariusz net-zero przewiduje spadek poziomu emisji do zera, podczas gdy pozostałe dwa scenariusze najpierw wskazują na nieznaczny wzrost emisji do 2030 r., następnie spadek do poziomu ok. 21 MtCO₂e (REF) i 18 MtCO₂e (NEU) do 2050 r. Spadek emisji będzie napędzany zwiększającą się liczbą pojazdów z napędem elektrycznym i wodorowym. Ponadto przewidywana jest zmiana behawioralna w społeczeństwie, w wyniku której zwiększy się użytkowanie transportu publicznego.



Scenariusz referencyjny (REF)

- scenariusz zakłada początkowy wzrost emisji do poziomu 56 MtCO₂e w 2030 r., a następnie spadek do ok. 21 MtCO₂e w 2050 r.,
- dynamika wzrostu i spadku emisji napędzana jest przede wszystkim znaczącym zwiększeniem się liczby pojazdów z napędem elektrycznym, a w późniejszym okresie również wodorowym, zarówno w transporcie pasażerskim, jak i w mniejszym stopniu w towarowym,
- zmiany w emisjach z sektora transportu są również podyktowane kształtowaniem się pracy przewozowej samochodów pasażerskich, która najpierw wzrośnie do 218 mld pasażerokilometrów w 2030 r., by spaść do 180 mld w 2050 r.



Scenariusz neutralności klimatycznej (NEU)

To scenariusz bardziej ambitny niż scenariusz referencyjny. Zakłada on taką samą dynamikę pasażerskiej pracy przewozowej, jak scenariusz referencyjny. Większa redukcja emisji została osiągnięta poprzez większą niż w scenariuszu referencyjnym elektryfikację transportu towarowego.



Scenariusz net-zero

- scenariusz zakłada osiągnięcie zerowej emisji CO₂e już w 2040 r.,
- miałyby się to odbyć głównie poprzez gwałtowną elektryzację parku pojazdów – zarówno pasażerskich, jak i towarowych,
- ważnym aspektem byłoby również zmniejszenie długości podróży samochodami osobowymi na rzecz transportu publicznego.



Przemysł

Przewidywane są znaczące ograniczenia emisyjności sektora z poziomu 47 MtCO₂e w 2015 r., do niespełna 8 MtCO₂e w scenariuszu REF oraz – 8 MtCO₂e w scenariuszu net-zero. Ujemna wartość spowodowana jest wysokim udziałem technologii sekwestracji dwutlenku węgla (CCS). Zmiany w sektorze przemysłowym zakładają intensyfikację wykorzystania wodoru oraz wzrost udziału elektryczności w zapotrzebowaniu na energię.



Scenariusz referencyjny (REF)

W związku z brakiem danych prognostycznych w raporcie źródłowym, w tym scenariuszu wykorzystano dane z WAM (EEA, 2021):

- scenariusz zakłada znaczący spadek emisji w latach 2015–2050 – z poziomu niespełna 50 MtCO₂e do jedynie 7,7 MtCO₂e,
- przewidywany jest wysoki wzrost wykorzystania elektryczności w zapotrzebowaniu na energię – do poziomu niemal 50% w 2050 r.,
- rola wodoru do 2050 r. powinna wzrosnąć do poziomu 6% w zapotrzebowaniu na energię,
- najwięksi emitenci gazów cieplarnianych w sektorze przemysłu – produkcja cementu oraz stali – przewidują znaczący spadek produkcji zanieczyszczeń do atmosfery (o kolejno 45% oraz 52%).



Scenariusz neutralności klimatycznej (NEU)

W związku z brakiem danych prognostycznych w raporcie CAKE w tym scenariuszu wykorzystano dane ze scenariusza net-zero. Oba scenariusze są optymistyczne i zakładają osiągnięcie neutralności klimatycznej w 2050 r. Decyzja ta została zaakceptowana na etapie prac nad projektem. Wyniki symulacji tego scenariusza są zatem takie same, jak w scenariuszu net-zero.



Scenariusz net-zero

- to najbardziej optymistyczny scenariusz, który zakłada całkowitą likwidację emisji w sektorze przemysłowym,
- emisje negatywne (wartości ujemne) spowodowane są przede wszystkim intensyfikacją wykorzystania technologii CCS (sekwestracja dwutlenku węgla) w sektorze przemysłu, wartość CCS w 2050 r. szacowana jest na poziomie – 15,72 MtCO₂e,
- udział wodoru w 2050 r. szacowany jest na poziomie 5%, zaś zdolności wykorzystania elektryczności powinny przekroczyć 50%.



Energetyka

Wszystkie scenariusze opracowane dla tego sektora zakładają spadek wysokości emisji zanieczyszczeń o ponad 90% – z poziomu 189 MtCO₂e w 2015 r. do jedynie 15–16 MtCO₂e w 2050 r. Kluczową rolę przemian w sektorze odgrywa zintensyfikowany udział odnawialnych źródeł energii, w tym w szczególności energii wiatrowej lądowej i morskiej oraz słonecznej. Scenariusze zgodnie przewidują odejście od paliw kopalnych do roku 2050 oraz stworzenie nowych zdolności jądrowych począwszy od pierwszej połowy lat 30.



Scenariusz referencyjny (REF)

- scenariusz referencyjny przewiduje spadek wysokości zanieczyszczeń powietrza o ponad 90% do 2050 r., spowodowane jest to:
 - › odejściem od wykorzystania paliw kopalnych do 2050 r.,
 - › wdrożeniem po 2030 r. energii jądrowej (przewidywane otwarcie i rozpoczęcie pracy pierwszego bloku w 2033 r.),
 - › intensyfikacją wykorzystania odnawialnych źródeł energii, w tym: PV (7%), *wind onshore* (20%) oraz *wind offshore* (45%);
- w 2050 r. zakładane jest osiągnięcie zdolności wychwytywania węgla (*carbon capture*) na poziomie niemal 4 MtCO₂e.



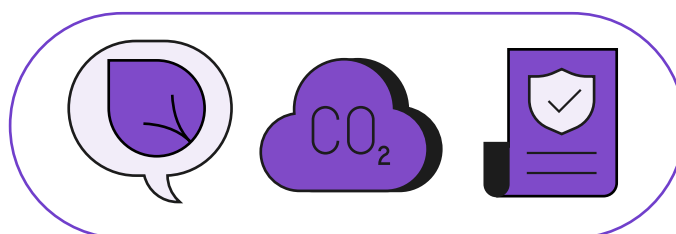
Scenariusz neutralności klimatycznej (NEU)

- to jeden z najbardziej optymistycznych scenariuszy ograniczenia poziomu emisji, który zakłada spadek produkcji GHG o 92%,
- kluczowe założenia scenariusza:
 - › całkowite odejście od wykorzystania paliw kopalnych do 2050 r.,
 - › wykorzystanie odnawialnych źródeł energii na poziomie niemal 70% całkowitego zapotrzebowania na energię,
 - › udział wykorzystania energii jądrowej na poziomie 17% w 2050 r.;
- największy poziom emisji w sektorze energetycznym pochodzi z ciepłownictwa – do 2050 r. przewidywane jest ich ograniczenie o ponad 99%.



Scenariusz net-zero

- przewidywane ograniczenie poziomu emisji do niespełna 16 MtCO₂e w 2050 r.,
- wysoka rola wykorzystania odnawialnych źródeł energii, w tym:
 - › PV – 7%,
 - › *wind onshore* – 21%,
 - › *wind offshore* – 56%;
- zgodnie z założeniami do 2050 r. wykorzystanie energii jądrowej powinno wynieść 10%,
- w 2050 r. zakładane jest osiągnięcie zdolności w zakresie wychwytywania węgla (carbon capture) na poziomie ponad 5 MtCO₂e.





AFOLU

Wszystkie scenariusze zakładają znaczące spadki emisji z sektora rolnictwa. Nie osiągają one jednak poziomu 0 CO₂e z uwagi na procesy biologiczne, które są trudne do zastąpienia technologiami zeroemisyjnymi. Pozostające w 2050 r. pozytywne emisje są równoważone w całości lub w większości przez emisje negatywne wynikające z LULUCF. Dla redukcji emisji ważne są zmiany w diecie społeczności (zmniejszenie konsumpcji mięsa) oraz zwiększenie użytkowania bioenergii w gospodarce.



Scenariusz referencyjny (REF)

- scenariusz zakłada spadek emisji do ok. 15 MtCO₂e w 2050 r.
- emisje zostaną wyrównane poprzez negatywne emisje wynikające z użytkowania gruntów (LULUCF),
- gwałtownie spadnie konsumpcja mięsa – do poziomu 4 918 mld kcal rocznie w 2050 r.,
- ponad dwukrotnie wzrośnie popyt na bioenergię.



Scenariusz neutralności klimatycznej (NEU)

- to scenariusz bardziej ambitny niż scenariusz referencyjny, który zakłada spadek emisji z rolnictwa do poziomu 9,8 MtCO₂e w 2050 r.,
- większy spadek emisji w porównaniu do scenariusza referencyjnego osiągany jest głównie poprzez jeszcze mniejszą konsumpcję mięsa w skali roku (jedynie 3 912 mld kcal rocznie) oraz większy popyt na bioenergię.



Scenariusz net-zero

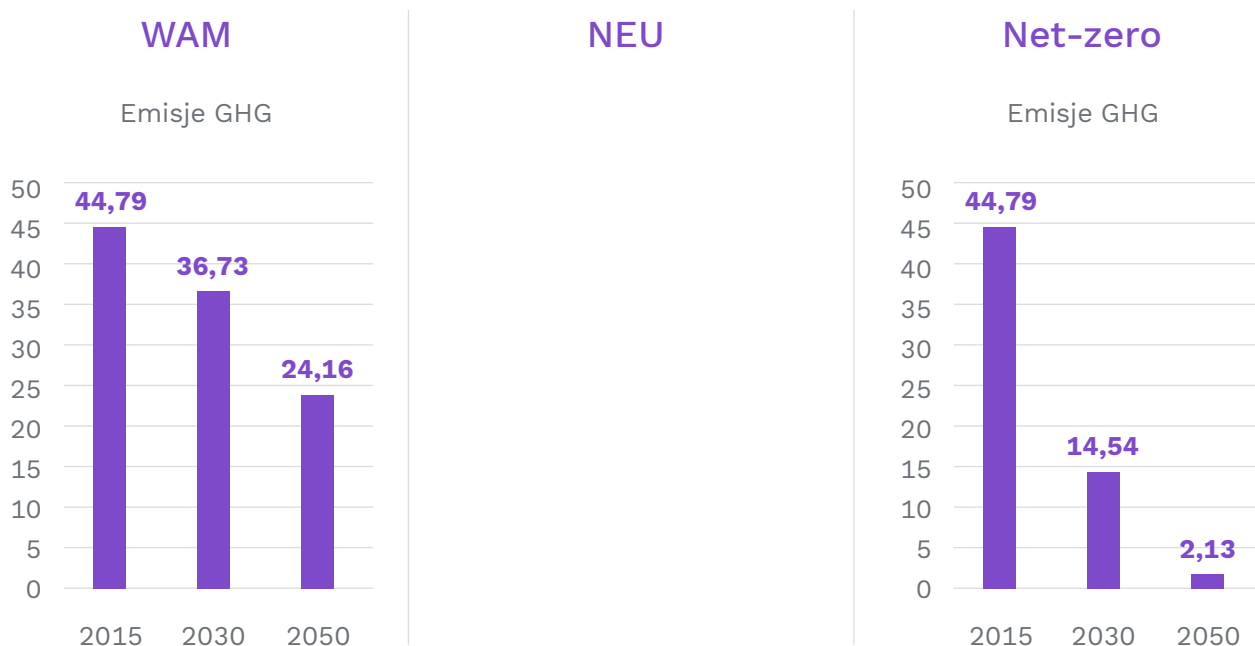
- zakłada mniejszy spadek emisji niż we wcześniej analizowanych scenariuszach,
- mniejszy spadek emisji wynika głównie z mniejszego popytu na bioenergię zakładanego w tym scenariuszu,
- emisje są w dużym stopniu pokrywane poprzez negatywne emisje wynikające z użytkowania gruntów (LULUCF) w wysokości – 11,69 MtCO₂e.

Załączniki



Budynki

Porównanie wartości emisji dla poszczególnych scenariuszy:



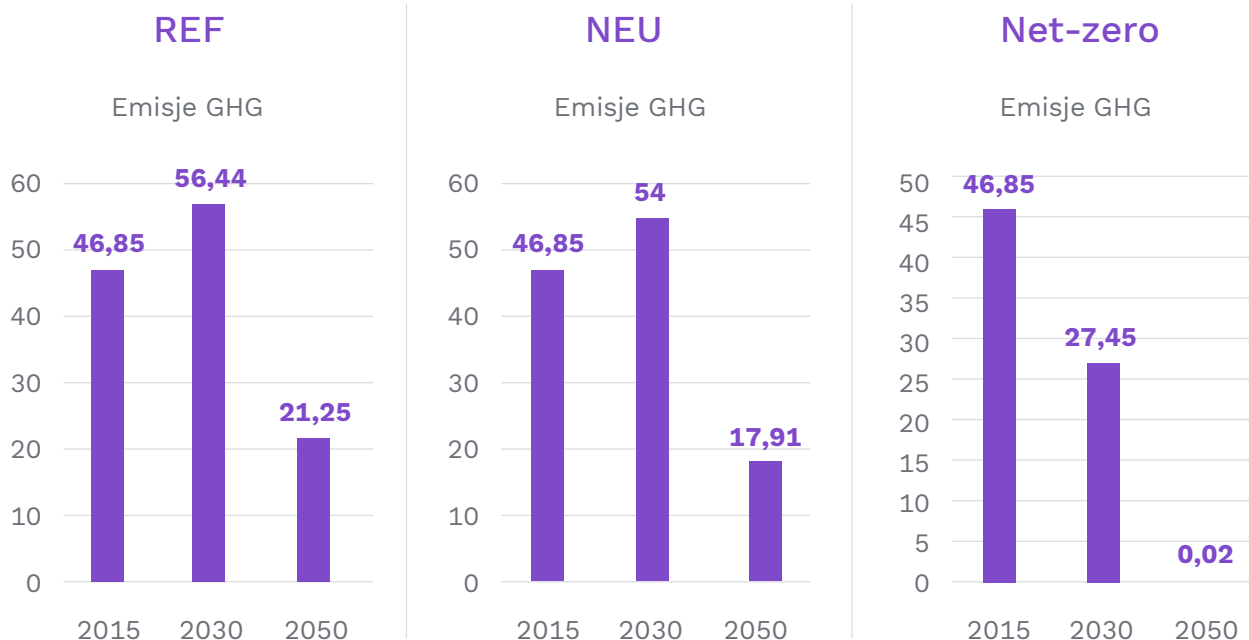
Podsumowanie kluczowych parametrów z Pathways Explorer:

KPI	2015	Scenariusz WAM		Scenariusz neutralny		Scenariusz net-zero	
		2030	2050	2030	2050	2030	2050
Całkowite emisje (MtCO ₂ e)	44,79	36,73	24,16			14,54	2,13
Wskaźnik renowacji - budynki mieszkalne (% budynków)	0%	17%	37%			32%	91%
Wskaźnik renowacji - budynki niemieszkalne (% budynków)	0%	22%	38%			37%	89%
Produkcja prądu (% udziału w energii finalnej)	26%	29%	30%			37%	44%
Ogrzewanie centralne (% udziału w energii finalnej)	12%	15%	18%			18%	18%



Transport

Porównanie wartości emisji dla poszczególnych scenariuszy:



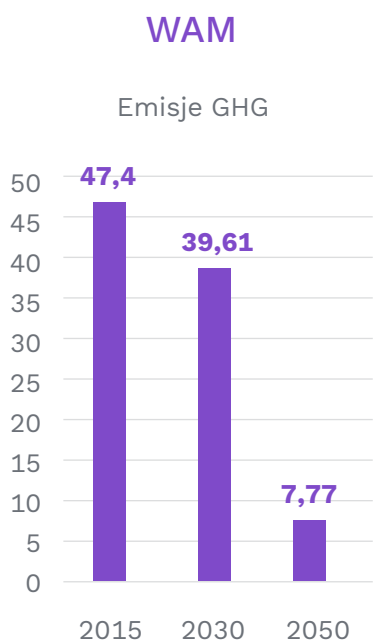
Podsumowanie kluczowych parametrów z Pathways Explorer:

KPI	2015	Scenariusz referencyjny		Scenariusz neutralny		Scenariusz net-zero	
		2030	2050	2030	2050	2030	2050
Całkowite emisje (MtCO ₂ e)	44,85	56,44	21,25	54,00	17,91	27,45	0,02
Zapotrzebowanie na samochody osobowe (pkm)	203 bn	218 bn	180 bn	218 bn	180 bn	185 bn	108 bn
Udział samochodów osobowych we wszystkich środkach transportu (%)	63%	62%	50%	62%	50%	59%	44%
Udział samochodów osobowych (elektrycznych) we wszystkich środkach transportu (% BEV+FCEV)	0%	9%	61%	9%	61%	25%	94%
Udział samochodów dostawczych we wszystkich środkach transportu (%)	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,3%	0,3%
Udział samochodów dostawczych (elektrycznych) we wszystkich środkach transportu (% BEV+FCEV)	0,07%	2%	9%	2%	12%	2%	27%



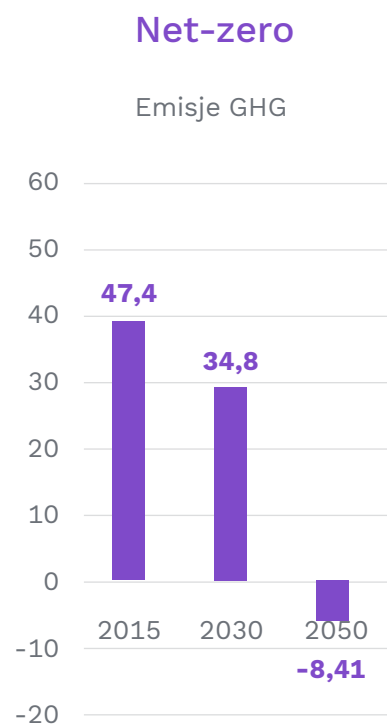
Przemysł

Porównanie wartości emisji dla poszczególnych scenariuszy:



NEU

Brak danych dla scenariusza



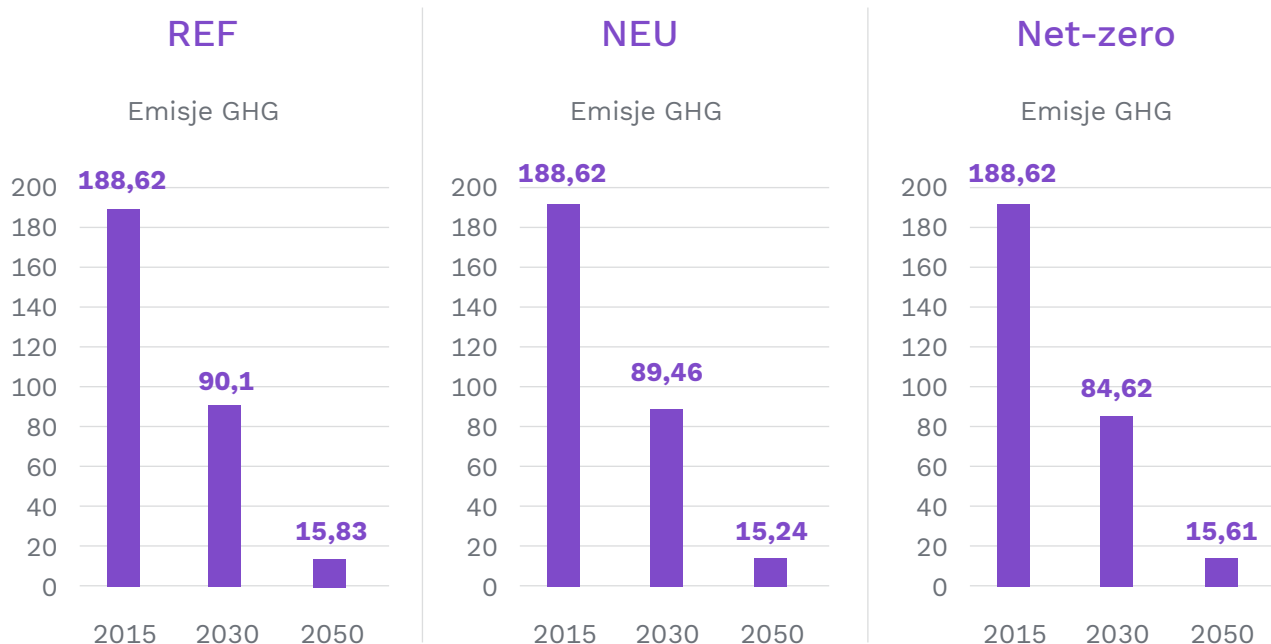
Podsumowanie kluczowych parametrów z Pathways Explorer:

KPI	2015	Scenariusz WAM		Scenariusz neutralny		Scenariusz net-zero	
		2030	2050	2030	2050	2030	2050
Całkowite emisje (MtCO ₂ e)	47,40	39,61	7,77			34,8	-8,41
Produkcja materiałów (Mt)	97,2	110,7	121,5			101,5	94
Technologia (% udział elektryfikacji w energii finalnej)	21%	30%	47%			33%	52%
Technologia (% udział wodoru w energii finalnej)	0%	1%	6%			0,2%	5%



Wytwarzanie energii

Porównanie wartości emisji dla poszczególnych scenariuszy:

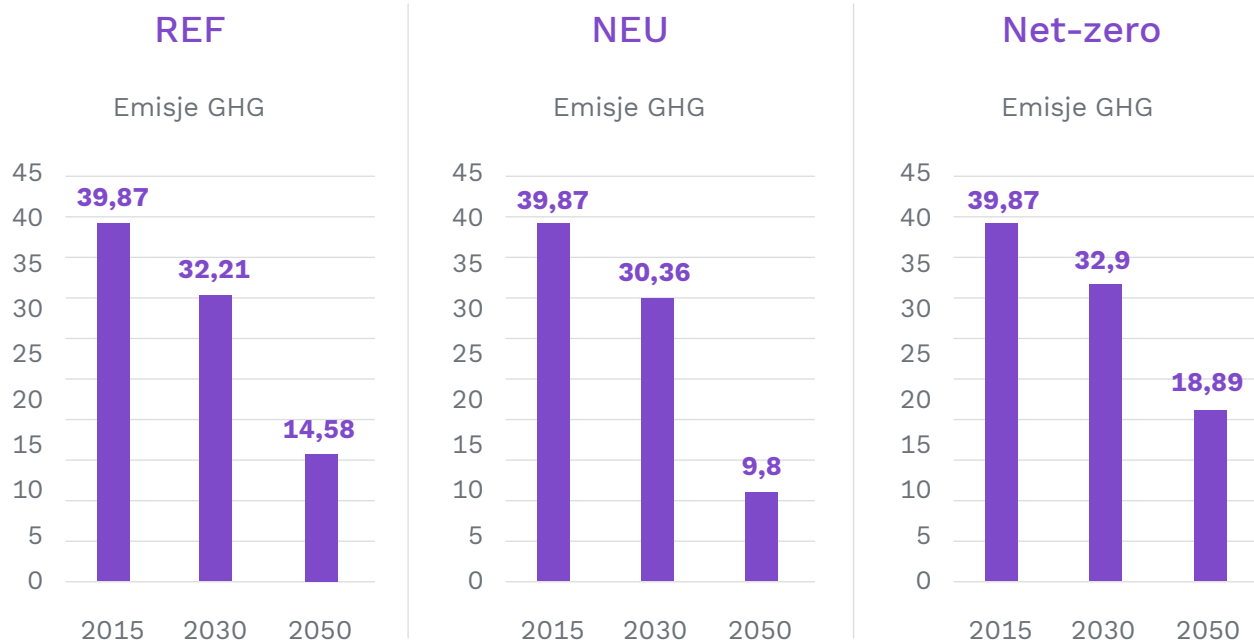


Podsumowanie kluczowych parametrów z Pathways Explorer:

KPI	2015	Scenariusz referencyjny		Scenariusz neutralny		Scenariusz net-zero	
		2030	2050	2030	2050	2030	2050
Całkowite emisje netto (MtCO ₂ e)	188,62	90,01	15,83	89,46	15,24	84,62	15,61
OZE (% udziału w produkcji energii elektrycznej)	8%	53%	74%	55%	69%	62%	86%
Paliwa kopalne (% udziału w produkcji energii elektrycznej)	86%	27%	0%	26%	0%	22%	0%
Energia jądowa (% udziału w produkcji energii elektrycznej)	0%	0%	11%	0%	17%	0%	10%



Porównanie wartości emisji dla poszczególnych scenariuszy:



Podsumowanie kluczowych parametrów z Pathways Explorer:

KPI	2015	Scenariusz referencyjny		Scenariusz neutralny		Scenariusz net-zero	
		2030	2050	2030	2050	2030	2050
Emisje netto w rolnictwie (całkowite, crf 3 + 1.a.4.c) (MtCO ₂ e)	39,87	32,21	14,58	30,36	9,80	32,90	18,89
Wykorzystanie ziemi uprawnej netto (MtCO ₂ e)	-31,98	-30,60	-18,74	-29,76	-13,98	-28,54	-11,69
Produkcja mięsa (kcal/rok)	8349 bn	7363 bn	4918 bn	7002 bn	3912 bn	7363 bn	4918 bn
Zapotrzebowanie na bioenergię (gaz, p. płynne i stałe) (TWh/rok)	101,60	224,39	275,75	240,92	279,77	262,87	188,37
Produkcja drewna (mln ton)	25	28	47	28	45	27	36

