



Ministerstwo
Klimatu i Środowiska

PROJEKT

Załącznik 3. do aKPEiK

Założenia prognostyczne i metodyka prognozowania



Warszawa, październik 2024 r.

Spis treści

Wprowadzenie	3
1. Opis metodyki prognozowania	4
2. Założenia prognostyczne	16
2.1. Liczba ludności	16
2.2. PKB	16
2.3. Sektorowa wartość dodana brutto	17
2.4. Liczba i wielkość gospodarstw domowych	18
2.5. Dochód rozporządzalny gospodarstw domowych	18
2.6. Praca przewozowa transportu pasażerskiego	19
2.7. Praca przewozowa transportu towarowego	20
2.8. Międzynarodowe ceny importowe paliw	20
2.9. Ceny uprawnień do emisji GHG w ramach systemu EU ETS	21
2.10. Kursy wymiany walut	21
2.11. Liczba stopniodni grzania i chłodzenia	22
2.12. Założenia dotyczące kosztów technologii	22
2.13. Pozostałe kluczowe parametry mające wpływ na rozwój sektora paliwowo-energetycznego	26
2.13.1.1. Harmonogram likwidacji wyeksploatowanych mocy wytwórczych energii elektrycznej	26
2.13.1.2. Główne założenia dotyczące mocy i technologii uwzględnionych w prognozach	28
2.13.1.3. Nowe moce wytwórcze zdeterminowane	32
2.13.1.4. Założenia dotyczące wymaganej rezerwy mocy w systemie elektroenergetycznym	35
2.13.1.5. Wymiana transgraniczna	35
2.13.1.6. Elektroenergetyczne sieci przesyłowe i dystrybucyjne	35
2.13.1.7. Założenia dotyczące rozwoju elektromobilności i pomp ciepła	36
3. Wizualizacja infrastruktury wytwórczej, składowania wodoru oraz potencjału OZE	37
Definicje	54
Wykaz skrótów	57
Spis tabel	59
Spis rysunków	60

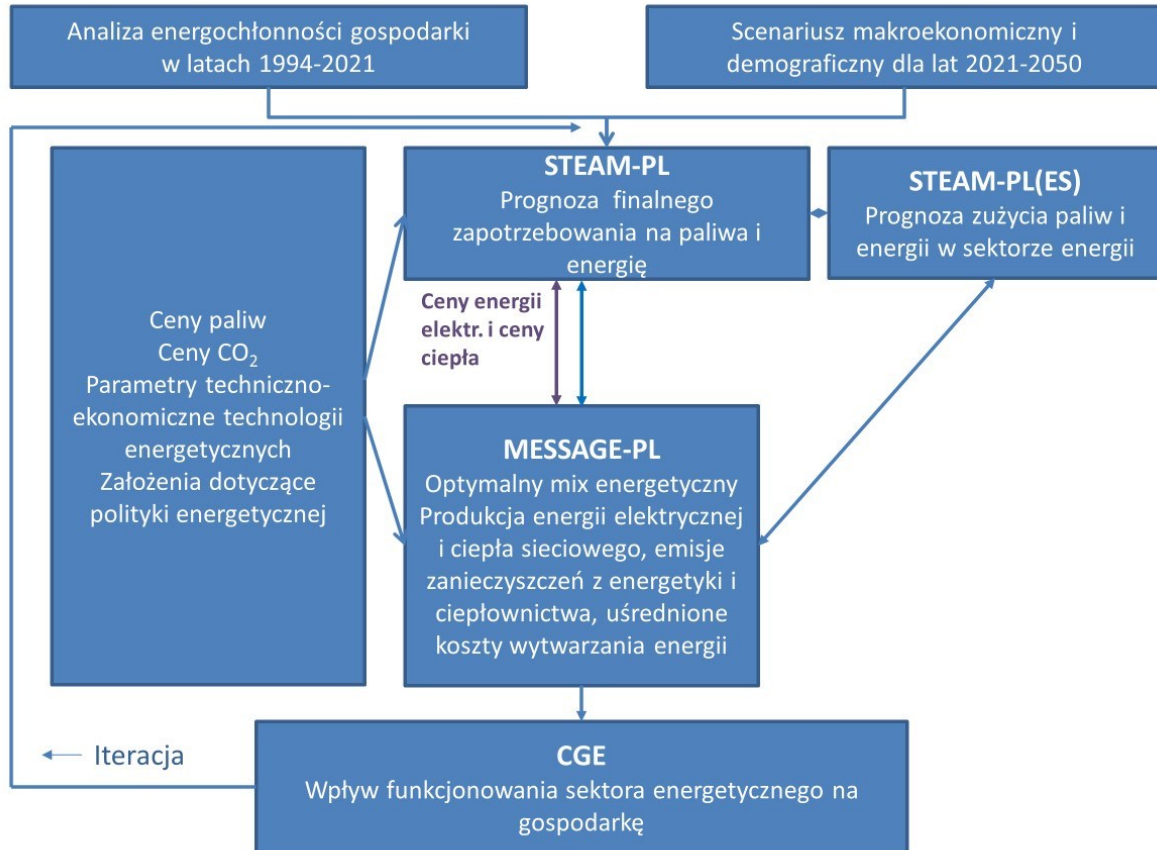
Wprowadzenie

Niniejszy załącznik zawiera opis metodyki prognozowania oraz założenia analityczne do **obu scenariuszy** Krajowego Planu w dziedzinie Energii i Klimatu do 2030 r. tj. **scenariusza aktywnej transformacji klimatyczno-energetycznej – WAM (ang. *with additional measures*) oraz scenariusza transformacji w ścieżce zbliżonej do „biznes jak zwykle” (ang. *business as usual*) – WEM (ang. *with existing measures*).**

Analizy i prognozy zostały wykonane na zlecenie Ministerstwa Klimatu i Środowiska przez Konsorcjum, w skład którego wchodziły: Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy (IOŚ-PIB) oraz Agencja Rynku Energii S.A. (ARE SA). W opracowaniu zawarto szczegółowy opis wykorzystanych do celów pracy metod obliczeniowych oraz przyjętych założeń, mających kluczowy wpływ na uzyskane wyniki. Dane statystyczne i zastosowane agregacje opisujące stan obecny i perspektywy rozwoju sektora paliwowo-energetycznego, bazują na metodyce EUROSTAT (zgodnie z rekomendacjami KE w zakresie przygotowywania krajowych planów).

1. Opis metodyki prognozowania

Ogólny schemat procedury obliczeniowej zastosowanej do celów pracy przedstawiono na rysunku (Rysunek 1.1).



Rysunek 1.1. Schemat procedury obliczeniowej zastosowanej do celów pracy

Punktem wyjścia w zastosowanej do celów pracy metodyce obliczeniowej była analiza energochłonności gospodarki w latach 1994-2021. Na jej podstawie dokonano podziału zużycia energii na poszczególne sektory i podsektory i w dalszej kolejności na poszczególne kierunki użytkowania (ogrzewanie, oświetlenie, procesy technologiczne etc.) w ramach zdefiniowanych w dedykowanym modelu podsektorów. Przebadano występujące relacje pomiędzy poszczególnymi elementami systemu i otoczeniem, siłę powiązań, a także określono w jakim stopniu zmiany zachodzące w jednej części systemu wpływają na zmiany w innych obszarach. Następnie, w oparciu o założone projekcje rozwoju gospodarczego i demograficznego kraju, zbudowano spójny scenariusz stanowiący bazę do obliczeń przyszłego poziomu zapotrzebowania na paliwa i energię w rozpatrywanym horyzoncie czasowym. Pierwszym krokiem w zastosowanej metodyce obliczeniowej było wyznaczenie przyszłego poziomu zapotrzebowania na energię w kraju.

Zgodnie z wykorzystaną metodyką, za główne czynniki wpływające na poziom przyszłego zapotrzebowania na energię przyjęto: tempo wzrostu gospodarczego opisanego szeregiem wskaźników makroekonomicznych (PKB i wartości dodane w poszczególnych sektorach gospodarki krajowej), procesy demograficzne, przewidywane zmiany stylu życia społeczeństwa, postęp technologiczny i procesy poprawy efektywności wykorzystania energii. Projekcje zapotrzebowania na energię elektryczną sporządzono z zastosowaniem podejścia bottom-up, wykorzystanego w modelu STEAM-PL (Set of Tools

for Energy Demand Analysis and Modelling)¹. Model STEAM-PL jest narzędziem opracowanym w ARE S.A., dostosowującym zawarte w nim relacje i równania do zmieniających się warunków funkcjonowania rynków energii, w tym przewidywanego postępu technologicznego. Wygenerowane z zastosowaniem wspomnianego modelu projekcje budowane są w oparciu o spójny scenariusz, w którego skład wchodzi założenia makroekonomiczne, demograficzne, założenia odnośnie do przewidywanego postępu technologicznego i powiązanego z nim tempa poprawy efektywności użytkowania energii. Ceny paliw we wspomnianym modelu mają charakter danych egzogenicznych. Rokiem bazowym w modelu jest rok 2012 – kolejne lata są dokalibrowywane do danych statystycznych, natomiast rokiem bazowym w analizie jest rok 2020. Model STEAM-PL generuje wyniki w zakresie prognoz zapotrzebowania na paliwa i energię, obejmujące wszystkie stosowane obecnie i perspektywiczne paliwa i nośniki energii we wszystkich sektorach i podsektorach gospodarki krajowej (z uwzględnieniem zakładanego tempa rozwoju energetyki rozproszonej). Zastosowanie odpowiednich wskaźników, pozwala na oszacowanie we wspomnianym modelu całkowitej emisji zanieczyszczeń, odpowiadającej zużyciu określonych paliw w danym sektorze gospodarki. Z kolei w modelu STEAM-PL(ES) wyznaczane jest zapotrzebowanie na paliwa i energię w sektorze energii tj. w kopalniach, koksowniach, rafineriach i stacjach regazyfikacji LNG. Wyniki otrzymane z modelu STEAM-PL zostały porównane z wynikami uzyskanymi w modelach MAED i BALANCE, opracowanymi i rozwijanymi w Argonne National Laboratory, Chicago Illinois (USA), wchodzącymi w skład pakietu analiz sektora energetycznego ENPEP - Energy and Power Evaluation Program. Ich opis można odnaleźć w wielu opracowaniach krajowych i zagranicznych. Modele te były wykorzystywane w ARE S.A. w pracach prognostycznych od wczesnych lat 90-tych.

Projekcje zapotrzebowania na energię elektryczną i ciepło sieciowe wykorzystano jako dane wejściowe do modelu MESSAGE-PL (Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impacts), w którym na podstawie otrzymanej wielkości zapotrzebowania, wyznaczono optymalną strukturę sektora wytwórczego oraz wymaganą tym zapotrzebowaniem produkcję z poszczególnych jednostek wytwórczych. Dobór optymalnej z punktu widzenia gospodarki struktury wytwarzania (mix energetyczny) w modelu MESSAGE opiera się na minimalizacji sumarycznych zdyskontowanych kosztów systemowych w całym rozpatrywanym przedziale czasowym, przy zadanych ogólnie ograniczeniach wynikających z polityki klimatyczno-energetycznej, warunków technicznych, logistycznych i surowcowych. Na podstawie obliczonej w tym modelu wielkości produkcji energii elektrycznej i ciepła sieciowego w poszczególnych technologiach wytwarzania, obliczono z zastosowaniem odpowiednich wskaźników, całkowite emisje zanieczyszczeń z sektora, a także uśrednione koszty wytwarzania energii elektrycznej, które stanowiły bazę do wyznaczenia cen detalicznych. Do przebadania wpływu funkcjonowania sektora paliwowo-energetycznego na gospodarkę, co ma być elementem Etapu II pracy, przewiduje się zastosowanie modelu równowagi ogólnej CGE.

Opis zastosowanych modeli analitycznych

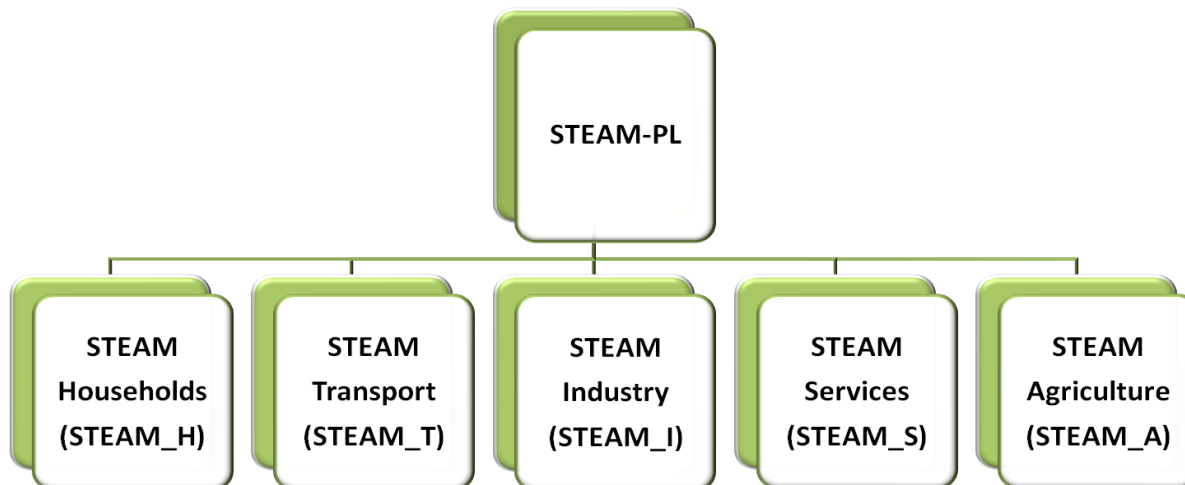
Model STEAM-PL

STEAM-PL jest modelem zużycia końcowego „end-use” dedykowanym dla krajowego systemu paliwowo-energetycznego, szczegółowo odzwierciedlającym techniczne aspekty związane z wykorzystaniem energii w poszczególnych sektorach gospodarki. Jest to zintegrowany model hybrydowy umożliwiający jednocześnie wyznaczanie przyszłego poziomu zapotrzebowania na energię użyteczną (z zastosowaniem klasycznego podejścia "bottom-up") i sposobów jego pokrycia (z zastosowaniem podejścia "top-down"). Model bazuje na algorytmie obliczeniowym, za pomocą którego dokonywana jest symulacja zachowań konsumentów energii, reagujących na zmiany relacji cenowych paliw i technologii, co umożliwia analizę substytucji technologii energetycznych i nośników energii w oparciu o koszty związane z dostawą określonych usług energetycznych (algorytm udziałów rynkowych). Do tego celu model wykorzystuje

¹ Skwiercz S. Model "bottom-up" zapotrzebowania na energię uwzględniający postęp technologiczny i zmiany relacji cenowych. Agencja Rynku Energii S.A./Politechnika Warszawska, Warszawa 2017.

ekonometryczne modelowanie udziałów w rynku w postaci funkcji logit (market share algorithm - podejście matematyczne stosowane m.in. w modelach BALANCE/ENPEP² i WEM³).

STEAM-PL posiada strukturę modułową, tzn. każdemu zdefiniowanemu w nim sektorowi gospodarki krajowej dedykowany jest odpowiedni moduł, uwzględniający w swoich algorytmach obliczeniowych szereg charakterystycznych cech wyróżniających dany sektor (Rysunek 1.2). W modelu zdefiniowano pięć głównych sektorów zużycia końcowego energii tzn. Gospodarstwa domowe (STEAM_H), Transport (STEAM_T), Przemysł (STEAM_I), Usługi (STEAM_S) oraz Rolnictwo (STEAM_A).



Rysunek 1.2. Podział struktury modelu STEAM-PL na moduły

W modelu zastosowano szczegółowy podział sektorów gospodarki krajowej na podsektory, umożliwiającą uchwycenie specyficznych cech funkcjonowania poszczególnych obszarów gospodarczych (Tabela 1.1).

Tabela 1.1. Struktura sektorowa modelu STEAM-PL

Sektor	Podsektor
Gospodarstwa domowe	Gospodarstwa domowe w mieście
	Gospodarstwa domowe na wsi
Transport	Transport pasażerski
	Transport towarowy
Przemysł	Produkcja metali i odlewnictwo metali
	Produkcja metali nieżelaznych
	Produkcja wyrobów chemicznych i petrochemicznych
	Produkcja niemetalicznych wyrobów mineralnych
	Produkcja papieru i wyrobów z papieru, poligrafia, produkcja wyrobów z drewna
	Produkcja artykułów spożywczych, napojów oraz wyrobów tytoniowych
Usługi	Usługi niekomercyjne
	Usługi komercyjne

² <https://ceeesa.es.anl.gov/projects/Enpepwin.html>

³ World Energy Model documentation. International Energy Agency, October 2021. https://iea.blob.core.windows.net/assets/932ea201-0972-4231-8d81-356300e9fc43/WEM_Documentation_WEO2021.pdf

W ramach każdego sektora i podsektora zdefiniowano kierunki użytkowania energii zestawione w (Tabela 1.2).

Tabela 1.2. Zastosowany w modelu STEAM-PL podział na kierunki użytkowania

Sektor	Podsektor
Gospodarstwa domowe	Urządzenia elektryczne
	Oświetlenie
	Klimatyzacja i wentylacja
	Przygotowanie posiłków
	Ogrzewanie pomieszczeń
	Przygotowanie CWU
Transport	Praca przewozowa (transport pasażerski)
	Praca przewozowa (transport towarowy)
Przemysł	Napędy elektryczne
	Oświetlenie
	Ogrzewanie i wentylacja pomieszczeń
	Ciepło piecowe
	Para technologiczna
Usługi	Oświetlenie pomieszczeń
	Oświetlenie ulic
	Wentylacja
	Klimatyzacja
	Ogrzewanie pomieszczeń
	Przygotowanie CWU
	Napędy elektryczne
	Urządzenia technologiczne
	Elektryczne urządzenia biurowe
	Urządzenia chłodnicze
	Przygotowanie posiłków
Rolnictwo	Paliwa silnikowe
	Pozostałe paliwa
	Odbiory elektryczne

Procedurę obliczeniową zastosowaną w modelu można scharakteryzować w następujący sposób: model w pierwszej kolejności określa poziom zapotrzebowania na energię użyteczną na podstawie przyjętego tempa rozwoju gospodarczego kraju oraz czynników o charakterze społecznym, technicznym i regulacyjnym.

Jako siły sprawcze⁴ zmian zapotrzebowania w poszczególnych sektorach i kierunkach użytkowania wymienione w tabeli (Tabela 1.3):

Tabela 1.3. Siły sprawcze zmian zapotrzebowania w poszczególnych sektorach

Sektor	Kierunek użytkowania energii	Podsektor
Gospodarstwa domowe	Urządzenia elektryczne	Dochód rozporządzalny gosp. dom.
	Oświetlenie	Liczba gospodarstw domowych, powierzchnia użytkowa
	Klimatyzacja i wentylacja	Dochód rozporządzalny, liczba gosp. dom.
	Przygotowanie posiłków	Liczba ludności, liczba gosp. dom.
	Ogrzewanie pomieszczeń	Powierzchnia użytkowa

⁴ zidentyfikowane czynniki, które w największym stopniu warunkują zakres i tempo zmian zapotrzebowania na energię

Sektor	Kierunek użytkowania energii	Podsektor
	Przygotowanie ciepłej wody użytkowej	Liczba ludności, liczba gosp. dom.
Transport	Praca przewozowa transportu pasażerskiego	Dochód rozporządzalny gosp. dom.
	Praca przewozowa transportu towarowego	PKB, wartość dodana w przemyśle i budownictwie
Przemysł	Napędy elektryczne	PKB, wartość dodana w przemyśle i budownictwie
	Oświetlenie	
	Ogrzewanie, wentylacja pomieszczeń	
	Ciepło piecowe	
	Para technologiczna	
Usługi	Oświetlenie	Powierzchnia użytkowa obiektów, wartość dodana w usługach
	Ogrzewanie pomieszczeń	
	Wentylacja	Liczba obiektów, liczba osób użytkujących obiekty, liczba zatrudnionych osób w poszczególnych kategoriach działalności oraz wartość dodana w usługach
	Klimatyzacja	
	Przygotowanie CWU	
	Napędy elektryczne	
	Urządzenia technologiczne	
	Elektryczne urządzenia biurowe	
	Urządzenia chłodnicze	
	Przygotowywanie posiłków	
Rolnictwo	Odbiory elektryczne	Wartość dodana w rolnictwie
	Paliwa silnikowe	
	Pozostałe paliwa	

W następnym kroku określany jest zestaw technologii i urządzeń umożliwiających pokrycie zapotrzebowania na poszczególne usługi energetyczne. Do wyznaczenia stanu wyjściowego wykorzystano m.in.: wyniki cyklicznego (co trzy lata) badania zużycia paliw i energii w gospodarstwach domowych⁵, wyniki badania statystycznego „Bilanse paliw i energii”⁶, a także wyniki analiz wykonanych przez uznane ośrodki badawcze i instytucje branżowe. Na podstawie prognozowanej ilości urządzeń, ich charakterystyk techniczno-ekonomicznych oraz przewidywanej intensywności wykorzystania obliczane jest finalne zużycie energii. Poprawa efektywności energetycznej urządzeń elektrycznych uwzględniana jest poprzez założenia związane z rozwojem technologicznym (klasy energetyczne). Tempo wymiany urządzeń istniejących na nowe o wyższej klasie efektywności energetycznej, przyjmowane jest na podstawie analizy trendów historycznych, jako wynik predykcji uzyskany w odpowiednich modelach ekonometrycznych oraz na podstawie danych sprzedażowych pozyskanych od producentów, dla każdego urządzenia z osobna (wskaźnik określający tempo wymiany urządzeń starych na nowe może być również określany przez użytkownika). Podział na klasy energetyczne jest stosowany dla wszystkich zdefiniowanych w modelu urządzeń elektrycznych (np. w module dedykowanym gospodarstwom domowym zdefiniowano 72 różne typy urządzeń elektrycznych codziennego użytku oraz 6 rodzajów urządzeń klimatyzacji i wentylacji). Do określenia kierunków użytkowania energii takich jak ogrzewanie i przygotowywanie ciepłej wody użytkowej oraz sposobu pokrycia potrzeb energetycznych wykorzystywany jest wspomniany wcześniej algorytm udziałów rynkowych (*market share algorithm*).

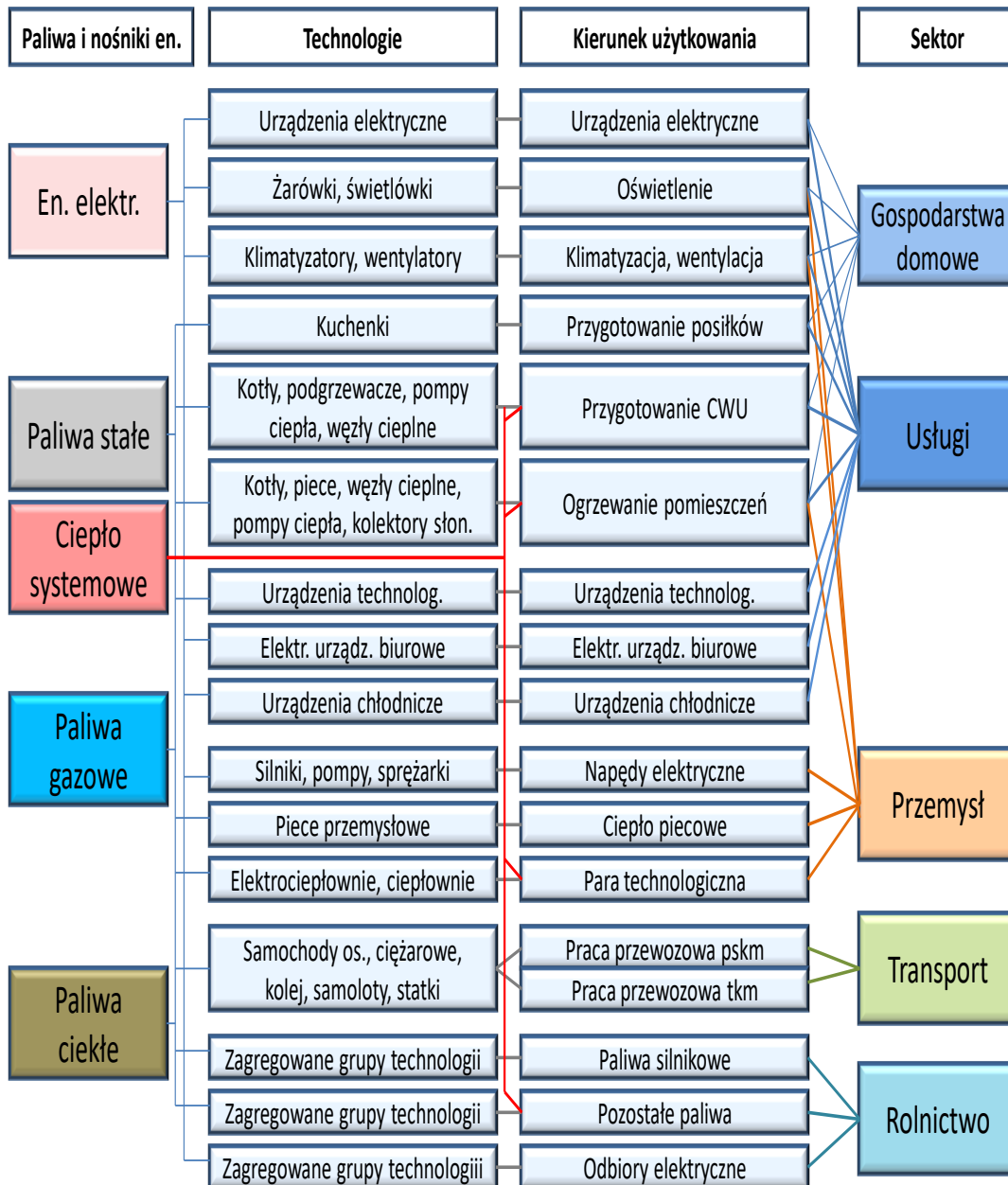
W sektorze przetwórstwa przemysłowego model stosuje nieco inne podejście niż do usług i gospodarstw domowych, a mianowicie w pierwszej kolejności przygotowywane są projekcje produkcji energochłonnych wyrobów przemysłowych (jako dane egzogeniczne wynikające ze strategii gospodarczej oraz z dedykowanych modeli ekonomicznych), a następnie na podstawie danych historycznych wyznaczane są wskaźniki energochłonności dla danych grup wyrobów. Wskaźniki te są ekstrapolowane, co stanowi element odzwierciedlający przebieg procesów poprawy efektywności wykorzystania energii

⁵ „Zużycie energii w gospodarstwach domowych” - GUS, Warszawa, 2002, 2009, 2012, 2015

⁶ G-02b (Sprawozdanie bilansowe nośników energii i infrastruktury ciepłowniczej), G-03 (Sprawozdanie o zużyciu paliw i energii)

(wartości wspomnianych wskaźników mogą być w dowolny sposób kształtowane przez użytkownika, który bazuje na danych historycznych, jak również na danych dotyczących możliwości rozwoju technologicznego w przyszłości). Uzyskany w ten sposób poziom zapotrzebowania na energię ulega w dalszej kolejności podziałowi na poszczególne kierunki użytkowania, w obrębie których, za pomocą algorytmu udziałów rynkowych przeprowadza się symulację sposobów pokrycia tego zapotrzebowania przez poszczególne grupy dedykowanych technologii opisanych szeregiem parametrów techniczno-ekonomicznych – przy zadanych ograniczeniach o charakterze technicznym, surowcowym i środowiskowym.

Na rysunku (Rysunek 1.3) przedstawiono schemat modelu i poszczególne elementy zdefiniowane w modelu STEAM-PL.



Rysunek 1.3. Ogólny schemat modelu STEAM-PL

Zapotrzebowanie na energię użyteczną dla kierunków użytkowania: urządzenia elektryczne, oświetlenie, klimatyzacja i wentylacja, przygotowanie posiłków, elektryczne urządzenia biurowe oraz urządzenia chłodnicze, obliczane jest na podstawie liczby urządzeń danego typu oraz intensywności ich

wykorzystania (zdefiniowanej jako iloczyn średniego rocznego czasu wykorzystania i mocy lub rocznego poboru energii):

$$ZEU = LUO * IWU \quad (3.1)$$

gdzie:

ZEU – zapotrzebowanie na energię użyteczną

LUO – liczba urządzeń odbiorczych

IWU – intensywność wykorzystania danego urządzenia odbiorczego (iloczyn średniego rocznego czasu wykorzystania i mocy urządzenia lub średni roczny pobór energii)

Liczba urządzeń odbiorczych i intensywność ich wykorzystania jest najczęściej pochodną przewidywanej liczby gospodarstw domowych, liczby podmiotów prowadzących daną działalność usługową, liczby ludności oraz stopnia zamożności społeczeństwa mierzonego wskaźnikiem PKB/Mieszkańca lub poziomem dochodu rozporządzalnego. W niektórych przypadkach, wykorzystuje się także dane sprzedażowe pochodzące bezpośrednio od dostawców.

W pozostałych kierunkach użytkowania, zapotrzebowanie na energię jest obliczane na podstawie przewidywanego poziomu aktywności oraz zużycia energii na jednostkę tej aktywności:

$$ZEU = A * I \quad (3.2)$$

gdzie:

ZEU – energia użyteczna

A – poziom aktywności

I – energochłonność

$$ZEF = ZE * \eta \quad (3.3)$$

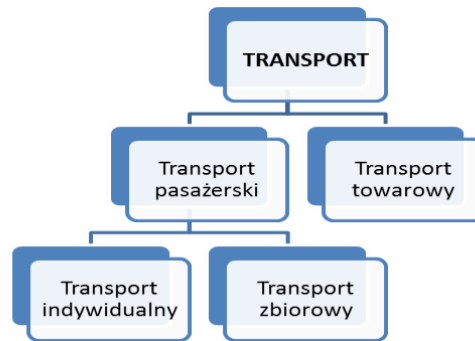
gdzie:

ZEF – energia finalna

η – sprawność

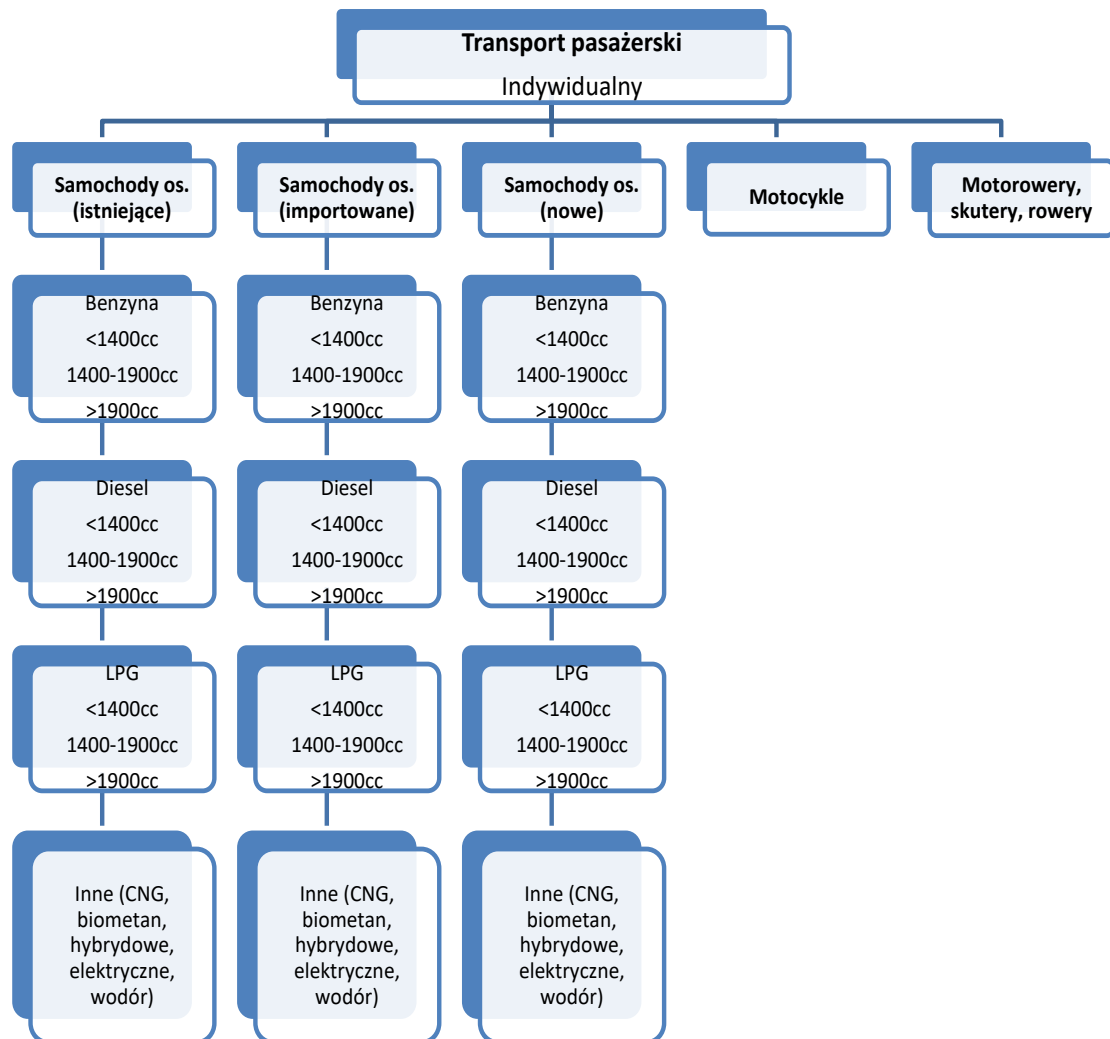
Algorytm udziałów rynkowych jest wykorzystywany do określania sposobu pokrycia wyznaczonego w poprzednich krokach zapotrzebowania na energię użyteczną, dla kierunków użytkowania, w których występuje konkurencja pomiędzy poszczególnymi technologiami i nośnikami energii (np. ogrzewanie pomieszczeń, przygotowywanie posiłków, przygotowywanie ciepłej wody użytkowej, para technologiczna).

Moduł dedykowany sektorowi transportu (STEAM_T) umożliwia prowadzenie analiz w podziale na transport pasażerski i towarowy oraz w podziale na rodzaje środków transportu i typy pojazdów zdefiniowane wewnątrz tych dwóch kategorii. Zastosowana struktura pozwala na szczegółowe odzwierciedlenie zasad funkcjonowania krajowego sektora transportu (Rysunek 1.4; Rysunek 1.5; Rysunek 1.6; Rysunek 1.7; Rysunek 1.8).



Rysunek 1.4. Struktura zastosowana w module STEAM_T

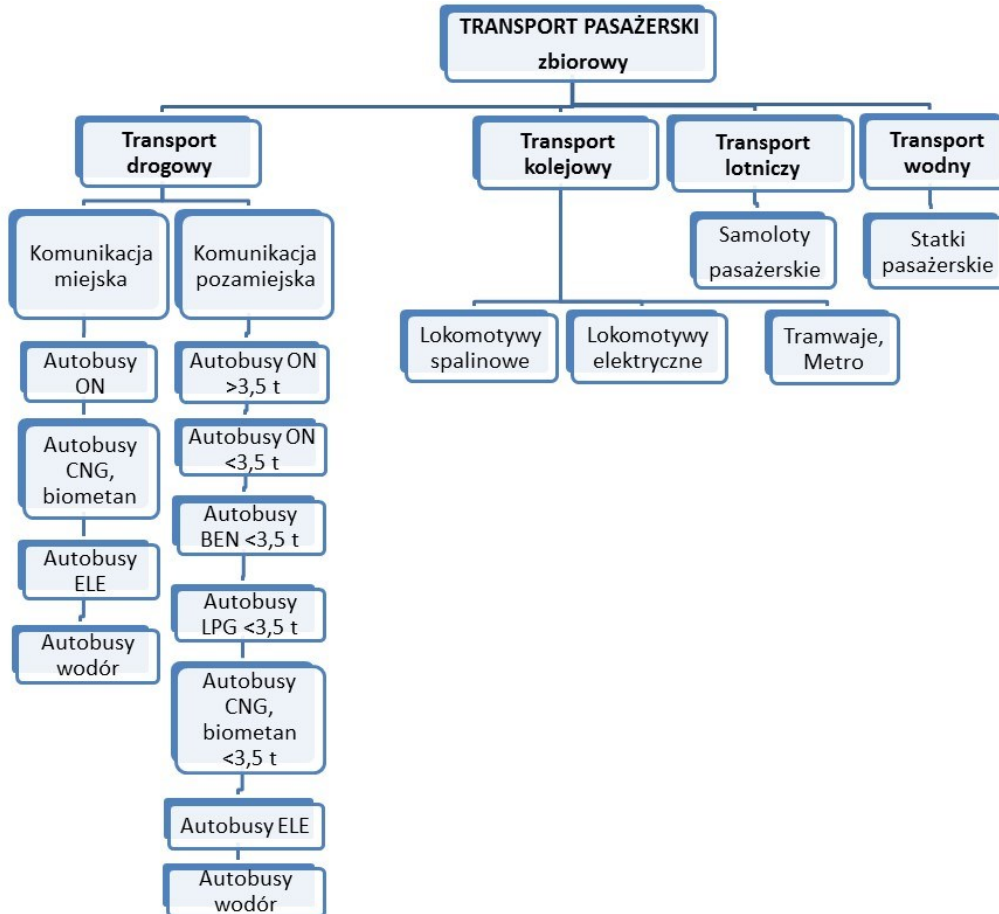
W transporcie pasażerskim indywidualnym wyspecyfikowano następujące grupy pojazdów: samochody osobowe istniejące, samochody osobowe nowe, samochody osobowe importowane, a także motocykle, skutery i rowery. W kategorii samochodów osobowych zdefiniowano następujące typy pojazdów w zależności od rodzaju stosowanego paliwa (benzyna, olej napędowy, gaz ciekły LPG, sprężony gaz ziemny CNG, energia elektryczna, inne) oraz pojemności skokowej silnika (<1,4 dm³, 1,4-1,9 dm³, >2,0 dm³), (Rysunek 1.5).



Rysunek 1.5. Struktura zastosowana w module STEAM_T - Transport pasażerski indywidualny

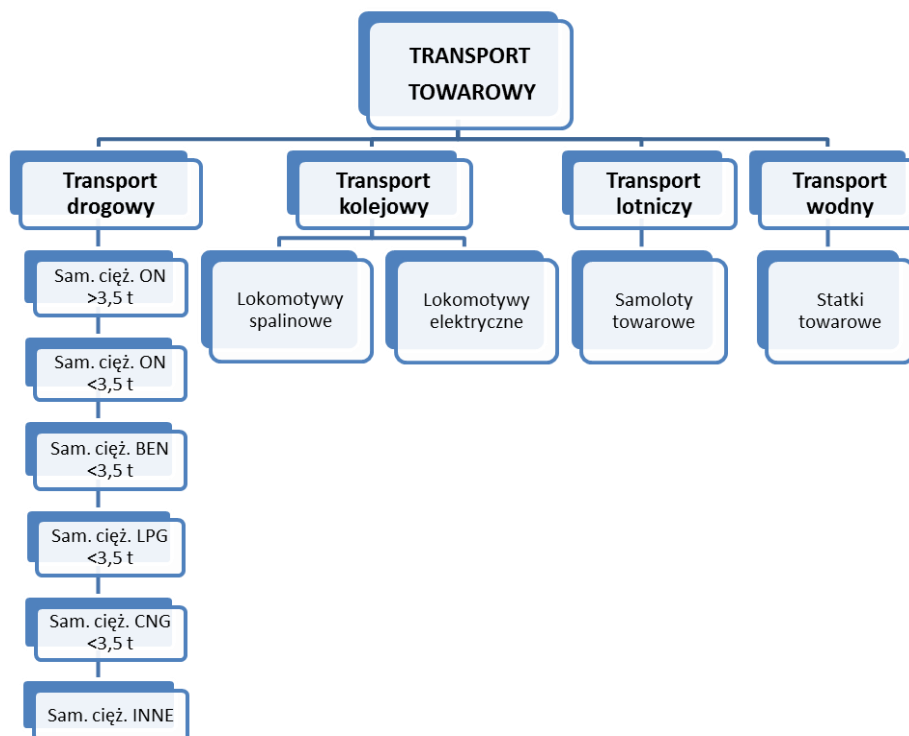
W transporcie pasażerskim zbiorowym wyodrębniono cztery podstawowe gałęzie transportu tzn. transport drogowy (obejmujący komunikację autobusową miejską i międzymiastową), transport kolejowy

z wyszczególnieniem charakterystycznych typów pojazdów szynowych (lokomotywy spalinowe, elektryczne, pociągi metra oraz tramwaje), transport lotniczy oraz transport wodny. Do środków komunikacji miejskiej zaliczono autobusy napędzane olejem napędowym (ON), sprężonym gazem ziemnym (CNG), energią elektryczną i innymi paliwami (np. wodór, etanol). W komunikacji pozamiejskiej (międzymiastowej i międzynarodowej) przyjęto pięć typów pojazdów autobusowych: autobusy napędzane ON o masie $> 3,5$ t i $< 3,5$ t, autobusy napędzane benzyną o masie $< 3,5$ t oraz autobusy na sprężony gaz ziemny o masie do $3,5$ t (Rysunek 1.6).



Rysunek 1.6. Struktura zastosowana w module STEAM_T – Transport pasażerski zbiorowy

W transporcie towarowym wyspecyfikowano cztery podstawowe gałęzie tj.: transport drogowy, który reprezentowany jest przez samochody ciężarowe o masie pojazdu do $3,5$ t i powyżej $3,5$ o określonym rodzaju stosowanego paliwa, transport kolejowy (lokomotywy spalinowe i elektryczne) oraz transport lotniczy i wodny (statki towarowe, barki), (Rysunek 1.7).



Rysunek 1.7. Struktura zastosowana w module STEAM_T – Transport towarowy

Projekcje zapotrzebowania na paliwa w tym sektorze tworzone są na podstawie iloczynu przewidywanej liczebności pojazdów transportowych, prognoz ich średnich rocznych przebiegów oraz średniego zużycia paliwa na 100 km przebiegu:

$$EF = LP \times SRP \times SZP \quad (3.4)$$

gdzie:

EF – energia finalna

LP – liczba pojazdów transportowych

SRP – średnie roczne przebiegi

SZP – średnie zużycie paliwa na 100 km przebiegu.

Model MESSAGE-PL

Model alternatywnych strategii zaopatrzenia w energię i ich ogólne oddziaływanie na środowisko (MESSAGE) został zaprojektowany jako model optymalizacyjny dla średnio- i długoterminowego planowania systemu energetycznego, scenariuszy rozwoju oraz analizy polityki energetycznej. Model MESSAGE⁷ został stworzony i nadal jest rozwijany w Instytucie Stosowanych Analiz Systemowych w Laxenburgu (IIASA, Austria). Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (IAEA) przejęła model MESSAGE w 2000 r., gdzie jest stale aktualizowany i ulepszany w celu wsparcia szczegółowych analiz alternatywnych strategii energetycznych, w tym wykorzystania technologii jądrowych. Specjalne porozumienie między IIASA i IAEA dopuszcza jego stosowanie w państwach, które podpisały stosowne porozumienia – Polska należy do takich państw. W ARE S.A. model MESSAGE został zaadoptowany do warunków polskich.

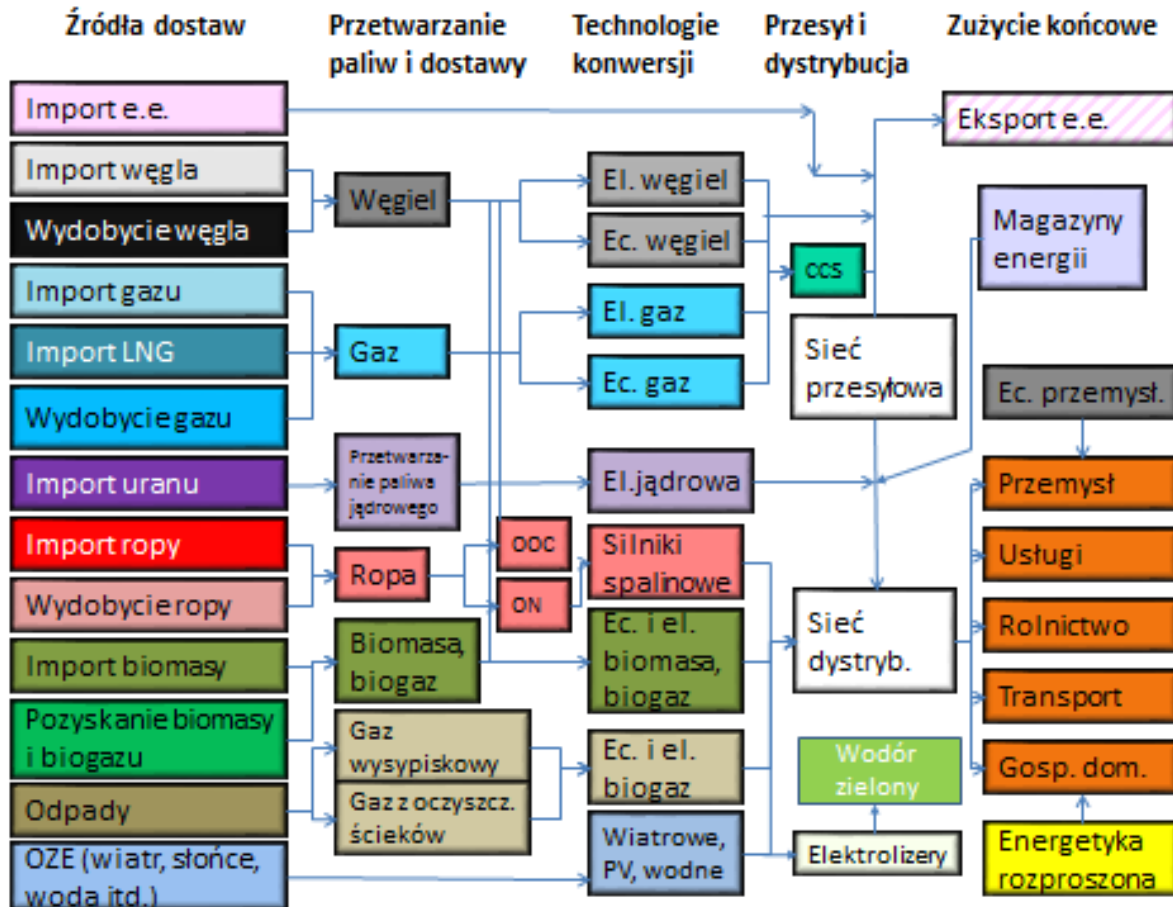
Zastosowana w modelu MESSAGE metodyka opiera się na optymalizacji funkcji celu przy zadanych ograniczeniach zasobowych, dostępności paliw i handlu, nowych inwestycji, stopnia nasycenia rynku

⁷ MESSAGE - Model for Energy Supply Strategy Alternatives and the General Environmental Impacts, User Manual, IAEA, 2007

nowych technologii, norm emisji zanieczyszczeń i produkcji odpadów, w celu formułowania i oceny alternatywnych strategii zaopatrzenia w energię dla danej wielkości popytu na energię.

Funkcja celu zdefiniowana jest jako minimalizacja sumarycznych zdyskontowanych kosztów systemowych w całym rozpatrywanym przedziale czasowym oraz całym łańcuchu dostaw, wykorzystując metody programowania liniowego lub programowania całkowito-liczbowego, dla pewnych zadań, (np. dobór agregatów o wyszczególnionej mocy - duże jednostki węglowe i jądrowe).

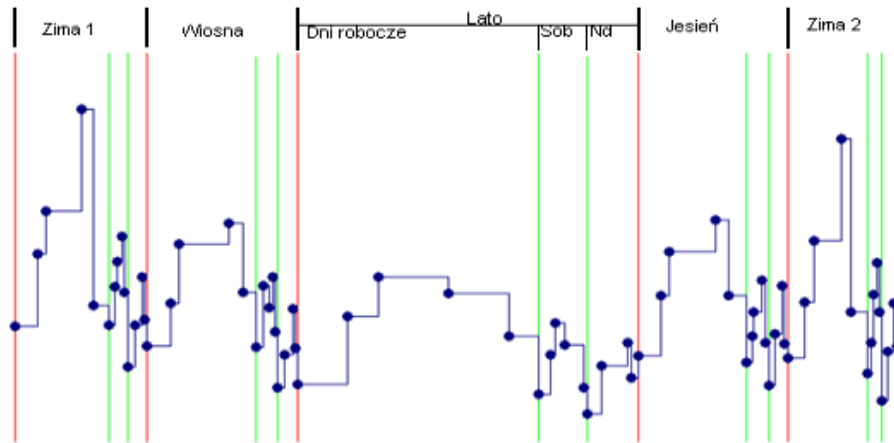
MESSAGE działa na zdefiniowanej przez użytkownika sieci przepływów energii, począwszy od wydobycia lub dostawy energii pierwotnej, poprzez przemiany (np. wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła), przesył i dystrybucję, aż do odbiorców końcowych (Rysunek 1.8).



Rysunek 1.8. Uproszczony schemat systemu elektroenergetycznego i ciepłowniczego w modelu MESSAGE

Zarówno technologie istniejące, jak i nowe jednostki wytwórcze są częścią sieci. Obecnie model zawiera ok. 100 istniejących jednostek wytwórczych oraz nowych rodzajów technologii (m.in. wysokosprawne technologie węglowe i gazowe bez- oraz z wychwytem CO₂, technologie wykorzystania źródeł odnawialnych - OZE, elektrownie jądrowe, technologie kogeneracyjne, magazyny energii, elektrolizery, usługi DSR). Model uwzględnia długoterminowe cele odnośnie do emisji zanieczyszczeń powietrza i emisji CO₂ (w tym, ograniczenia odnośnie pozwoleń do emisji wynikające z Europejskiego systemu handlu emisjami) oraz instrumenty polityki państwa promujące OZE i skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła.

Istotną zaletą modelu MESSAGE jest możliwość różnicowania poziomu zapotrzebowania na dany nośnik energii według pór roku, rodzajów dni oraz pór dnia. Informacja ta jest podstawą do określenia miksu technologicznego oraz trybu pracy zainstalowanych jednostek (praca w podstawie, pod-szczycie i szczycie obciążenia). Stosowana w modelu MESSAGE ekwiwalentna krzywa obciążenia w KSE (Rysunek 1.9) tworzona jest na podstawie danych z PSE S.A odnośnie poziomu obciążenia dla okresów historycznych oraz prognoz zmian tej krzywej opracowywanych w ARE S.A.



Rysunek 1.9. Ekwiwalentna krzywa obciążenia zastosowana w modelu MESSAGE

Na podstawie wyznaczonej przy zastosowaniu modelu MESSAGE optymalnej struktury sektora wytwórczego oraz wymaganej zapotrzebowaniem produkcji z poszczególnych jednostek wytwórczych, określone są jednostkowe uśrednione koszty wytwarzania energii elektrycznej w Polsce w rozpatrywanym horyzoncie czasowym.

2. Założenia prognostyczne

Poniżej przedstawiono informacje nt. prognozowanego kształtowania się głównych czynników zewnętrznych mających wpływ na rozwój sytuacji w systemie energetycznym i emisje gazów cieplarnianych.

2.1. Liczba ludności

Do celów pracy wykorzystano projekcję liczby ludności w Polsce na podstawie wytycznych KE, skorygowaną nieznacznie w górę w celu odzwierciedlenia procesów imigracyjnych (Tabela 2.1).

Tabela 2.1. Liczba ludności [mln]

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Ogółem	38,1	38,0	38,0	38,0	38,0	37,9	37,5	37,0
Miasto	23,4	23,1	22,9	22,7	22,7	22,6	22,1	21,5
Wieś	14,7	14,9	15,1	15,3	15,3	15,3	15,4	15,5

Źródło: ARE S.A. na podstawie wytycznych KE, prognoz GUS

Zaprezentowana projekcja demograficzna zakłada spadek liczby ludności w rozpatrywanym horyzoncie czasowym z obecnych 38 do 37 mln. Należy przy tym odnotować, że spadek dotyczy ludności w aglomeracjach miejskich, przy jednoczesnym, sukcesywnym wzroście liczby ludności zamieszkałej na obszarach wiejskich. Wynika to przede wszystkim z postępującego od mniej więcej 2000 r. kierunku przemieszczeń ludności z miast na wieś, najczęściej do gmin podmiejskich skupionych wokół dużych miast. Przyjęte do obliczeń modelowych projekcje liczby ludności są wyższe od prezentowanych przez GUS, ponieważ szacunki Centrum Analiz Unii Metropolii Polskich⁸ wskazują na wyższe wartości od podawanych w oficjalnych statystykach.

2.2. PKB

Scenariusz makroekonomiczny, na bazie którego powstała projekcja zapotrzebowania na energię w Polsce w perspektywie 2040 r., został oparty na wytycznych KE (założenia do scenariusza Referencyjnego PRIMES2020⁹). Przyjętą do obliczeń modelowych projekcję wzrostu PKB dla Polski w wartościach bezwzględnych przedstawiono w tabeli poniżej (Tabela 2.2), natomiast projekcje średniorocznych wzrostów w kolejnej tabeli (

Tabela 2.3). Z zaprezentowanych projekcji wynika średnioroczne tempo wzrostu PKB w Polsce w okresie 2021-2040 na poziomie 2,3%.

Tabela 2.2. Produkt Krajowy Brutto [mln EUR'2020]

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
PKB	286657	361804	419955	475755	561399	632335	689801	738296

Źródło: EUROSTAT, PRIMES2020 Scenariusz Referencyjny

Tabela 2.3. Dynamika wzrostu PKB w latach 2021–2040 (średniorocznie)

	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2021-2040
--	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

⁸ <https://metropolie.pl/arttykul/34-million-ukrainians-in-poland-new-report-by-the-union-of-polish-metropolises>

⁹ E3-Modelling: Prof. P. Capros, A. De Vita, A. Florou. Energy, transport and GHG emissions – Trends to 2050. PRIMES2020 Reference Scenario. Brussels/Athens, July 2021

PKB	103,6	102,4	101,7	101,4	102,3
-----	-------	-------	-------	-------	-------

Źródło: EUROSTAT, PRIMES2020 Scenariusz Referencyjny

2.3. Sektorowa wartość dodana brutto

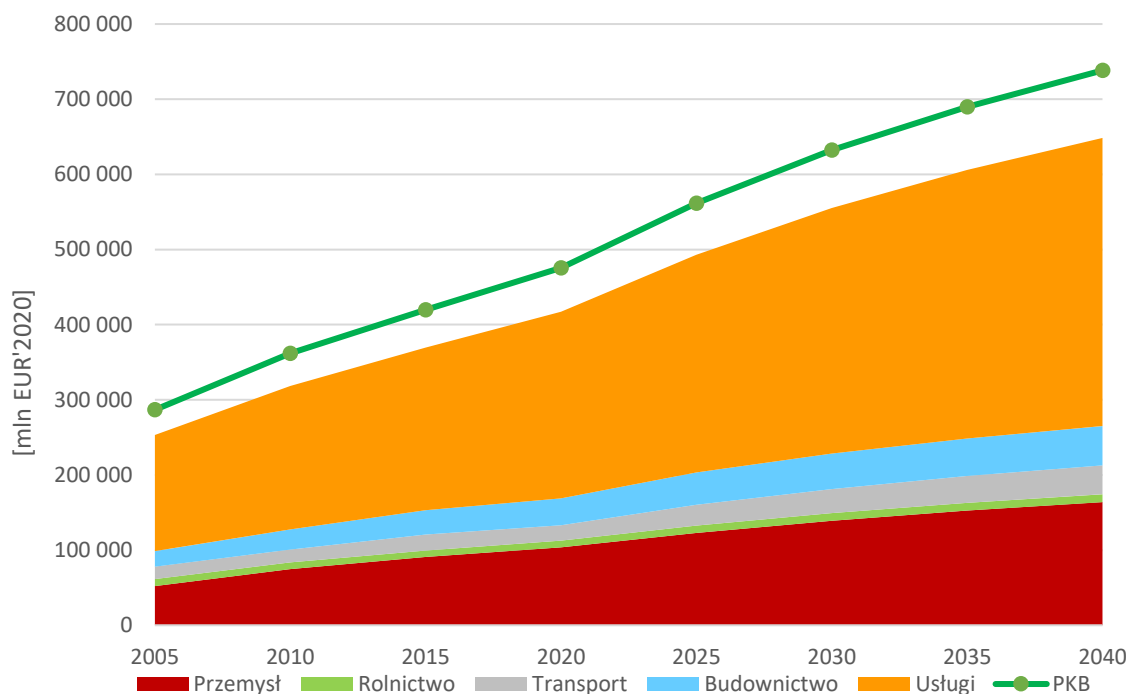
Strukturę tworzenia wartości dodanej brutto wyznaczono na podstawie przyjętej ścieżki założeń makroekonomicznych do modelu PRIMES2020 (scenariusz Referencyjny). Wartości tej projekcji zostały nieznacznie skorygowane w początkowym okresie prognozy w celu ich dostosowania do danych statystycznych z 2020 r. (Tabela 2.4).

Tabela 2.4. Sektorowa wartość dodana brutto [mln EUR'2020]

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Wartość dodana brutto	253404	318290	369495	417356	492952	555333	605838	648466
Przemysł	52112	74580	90851	103547	123007	139249	152877	163909
Rolnictwo	9312	9284	8624	8958	9447	9961	10213	10342
Transport	16527	16831	21386	20554	27768	32094	35449	38515
Budownictwo	20772	27023	32431	36001	43006	47285	49998	52238
Usługi	154681	190572	216203	248296	289724	326744	357301	383462

Źródło: EUROSTAT, PRIMES Ref2020, ARE S.A.

Zgodnie z założonym scenariuszem wzrostu wartości dodanej w poszczególnych sektorach, najsilniej rozwijać się będzie sektory transportu, przemysłu i usług. Największy wkład w wartość dodaną brutto nadal będzie po stronie usług, który zanotuje wzrost o ok. 54% (Rysunek 2.1). Drugim, obok usług sektorem napędzającym gospodarkę jest przemysł. Wzrost wartości dodanej w przemyśle w latach 2020-2040 wynosi ok. 58%.



Rysunek 2.1. PKB i struktura tworzenia wartości dodanej brutto w Polsce

2.4. Liczba i wielkość gospodarstw domowych

Na podstawie przewidywanej liczby ludności w kraju, sporządzono projekcje liczby gospodarstw domowych (Tabela 2.5) i przeciętnej liczby osób zamieszkujących jedno gospodarstwo domowe (Tabela 2.6). Oszacowań dokonano na podstawie analizy trendu historycznego oraz porównań z najnowszymi projekcjami przygotowywanymi przez GUS¹⁰. Z zaprezentowanego zestawienia wynika, że następować będzie stopniowa poprawa warunków mieszkaniowych w Polsce, przejawiająca się spadkiem liczby osób przypadających na jedno gospodarstwo domowe. W 2020 r. na jedno gospodarstwo domowe przypadało średnio 2,5 osoby. Przewiduje się poprawę tego wskaźnika w rozpatrywanym horyzoncie czasowym do poziomu ok. 2,4 w 2030 r. i 2,2 w 2040 r.

Tabela 2.5. Liczba gospodarstw domowych

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Ogółem	12 776	13 471	13 962	15 016	15 694	16 088	16 577	16 971
Miasto	8 580	9 088	9 398	10 154	10 598	10 793	11 058	11 258
Wieś	4 196	4 383	4 564	4 862	5 096	5 295	5 519	5 713

Źródło: GUS, ARE S.A.

Tabela 2.6. Liczba osób przypadających na jedno gospodarstwo domowe

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Ogółem	3,0	2,8	2,7	2,5	2,4	2,4	2,3	2,2
Miasto	2,7	2,5	2,4	2,2	2,1	2,1	2,0	1,9
Wieś	3,5	3,4	3,3	3,1	3,0	2,9	2,8	2,7

Źródło: GUS, ARE S.A.

2.5. Dochód rozporządzalny gospodarstw domowych

Zgodnie z metodyką przyjętą przez EUROSTAT i zaimplementowaną do polskiej statystyki, dochód rozporządzalny gospodarstw domowych (ang. *household's available income*), to suma rocznych dochodów pieniężnych brutto wszystkich członków gospodarstwa domowego, pomniejszona o zaliczki na podatek dochodowy, podatki od dochodów z własności, składki na ubezpieczenie społeczne i zdrowotne, transfery pieniężne przekazane innym gospodarstwom domowym oraz rozliczenia z Urzędem Skarbowym. Innymi słowy są to środki pieniężne, które gospodarstwa domowe mogą przeznaczać na konsumpcję, inwestycje lub oszczędności. Wskaźnik ten umożliwia ocenę realnej siły nabywczej gospodarstw domowych. Do celów pracy wykorzystano dane prezentowane w publikacji GUS¹¹, dotyczące poziomu przeciętnego miesięcznego dochodu rozporzadzalnego na osobę. Prognozę tego wskaźnika (Tabela 2.7) sporządzono w oparciu o założone projekcje wzrostu PKB w kraju i średniej liczby osób przypadających na jedno gospodarstwo domowe.

Tabela 2.7. Projekcja dochodu rozporzadzalnego gospodarstw domowych [EUR'2020]

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Ogółem kraj	6 769	10 204	10 819	13 125	15 502	17 464	19 053	20 393

Źródło: GUS, ARE S.A.

Zgodnie z zaprezentowaną projekcją, dochód rozporządzalny gospodarstw domowych wzrasta w latach 2020-2040 o ok. 55%. Wzrost tego wskaźnika odzwierciedla poprawę sytuacji materialnej społeczeństwa i będzie między innymi determinował przyszły wzrost zapotrzebowania na energię w kraju. Dochód

¹⁰ Prognoza liczby ludności na lata 2023-2060. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2023

¹¹ „Budżety gospodarstw domowych” – GUS, Warszawa

rozporządzalny gospodarstw domowych był korygowany w kolejnych pętlach obliczeniowych z zastosowaniem modelu ekonomicznego CGE.

2.6. Praca przewozowa transportu pasażerskiego

Popyt na pracę przewozową jest podstawowym czynnikiem wpływającym na poziom zapotrzebowania na paliwa i energię i w konsekwencji na poziom emisji w sektorze transportu. Prognozy tego popytu bazują na danych z lat 2005-2020 i zostały skonfrontowane z założeniami z tego obszaru przyjętymi w scenariuszu referencyjnym PRIMES2020⁸ oraz wielkościami pochodzącymi ze „Strategii Zrównoważonego Rozwoju Transportu...”¹². Są one wynikiem zastosowania podejścia „bottom-up” w modelu prognostycznym, w którym przyjęto następujący ogólny sposób obliczeniowy:

*praca przewozowa danego środka transportu [pskm] = liczba pojazdów danego typu [szt.] * średni roczny przebieg [km] * liczba przewożonych osób*

Zgodnie z przyjętą do obliczeń projekcją, liczba zarejestrowanych samochodów osobowych w kraju wzrośnie z 25,1 mln sztuk w 2020 r. do 29,8 mln sztuk w 2030 r. i następnie zacznie spadać m.in. z powodu spadającej liczby ludności. W Polsce mamy do czynienia ze specyficzną sytuacją, gdzie całkowita liczba zarejestrowanych pojazdów jest o kilka milionów wyższa (o ok. 7 mln) od liczby pojazdów faktycznie użytkowanych (w prognozach zużycia paliw ten fakt został uwzględniony i liczba samochodów osobowych została pomniejszona zgodnie szacunkami PZPM¹³). Prognozy średnich przebiegów zostały opracowane w oparciu o analizy eksperckie bazujące na danych z Centralnej Ewidencji Pojazdów i Kierowców (CEPiK). Otrzymane wyniki w zakresie pracy przewozowej poddano weryfikacji z zastosowaniem podejścia „top-down”, gdzie wykorzystano relacje występujące pomiędzy poziomem aktywności gospodarczej mierzonej wskaźnikiem PKB/Ma, a poziomem aktywności transportowej.

Tabela 2.8. Praca przewozowa transportu pasażerskiego [mld pskm]

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Samochody osobowe (indyw.)	b.d.	289,2	344,1	442,5	531	567	569	552
Motocykle (indyw.)	b.d.	5,1	6,7	8,4	10	13	15	19
Skutery, motorowery, rowery	b.d.	1,5	1,7	1,9	2	2	3	3
Autobusy (miejskie)	b.d.	11,7	11,9	12,0	13	14	15	15
Autobusy (pozamiejskie)	21,6	21,5	21,8	20,0	23	24	26	27
Kolej (publ.)	18,2	17,9	17,4	25,0	26	40	43	45
Samoloty	8,5	8,3	13,5	13,4	18	20	22	24
Statki (żegluga śródlądowa)	b.d.	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0
Pojazdy szynowe (tramwaje, metro) i trolejbusy	b.d.	3,2	3,5	4,0	5	7	8	10
Razem	b.d.	358,5	420,5	527,2	630	687	700	694

Źródło: ARE S.A., na podstawie: Primes Ver. 6 Energy Model. National Technical University of Athens, 2021, "Transport - wyniki działalności" - GUS. Warszawa, "Strategia zrównoważonego rozwoju transportu do 2030 r." - Monitor Polski. Warszawa, 2019

W ujęciu syntetycznym, popyt na pracę przewozową transportu pasażerskiego wzrasta z 527 mld pskm w 2020 r. do 687 mld pskm w 2030 r., czyli o ok. 30%. Po 2035 r. zaczyna spadać do 694 mld pskm w 2040 r. W układzie gałęziowym, największa część popytu koncentruje się na indywidualnym transporcie samochodowym, który wzrasta z poziomu 443 mld pskm w 2020 r. do 567 mld pskm w 2030 r., później następuje stopniowy spadek do 552 mld pskm w 2040 r. Istotny wzrost popytu odnotowuje również

⁸ E3-Modelling: Prof. P. Capros, A. De Vita, A. Florou. Energy, transport and GHG emissions – Trends to 2050. PRIMES2020 Reference Scenario. Brussels/Athens, July 2021.

¹² Uchwała nr 105 Rady Ministrów z dnia 24 września 2019 r. w sprawie przyjęcia "Strategii Zrównoważonego Rozwoju Transportu do 2030 roku" - Monitor Polski, Warszawa, 6 listopada 2019 r.

¹³ Polski Związek Przemysłu Motoryzacyjnego. <https://fleet.com.pl/wiadomosci/cykl-zycia-samochodu>

transport kolejowy (co jest związane poprawą jakości świadczonych usług i rozwojem kolei dużych prędkości) oraz krajowy transport lotniczy (w wyniku rosnącej dostępności i popularności tej formy transportu).

2.7. Praca przewozowa transportu towarowego

Czynnikami kształtującymi wielkość popytu na przewozy ładunków – obok wzrostu gospodarczego mierzonego szeregiem wskaźników makroekonomicznych – są przede wszystkim zmiany wskaźników transportochłonności działalności gospodarczej (które na ogół mają tendencję malejącą wraz ze wzrostem udziału towarów wysoko przetworzonych i usług), wielkość polskiego handlu zagranicznego, zmiany relacji międzygałęziowych w transporcie, oraz koniunktura na międzynarodowych rynkach transportowych. Projekcje popytu na pracę przewozową transportu towarowego zaimplementowane do prognoz energetycznych pochodzą bezpośrednio z modelu bazującego na następującym algorytmie obliczeniowym:

praca przewozowa danego środka transportu [tkm] = masa przewożonych ładunków [tona] średnia odległość przewozy 1 tony ładunku [km].*

Prognozy średniej odległości przewozu ładunków danymi środkami transportu zostały sporządzone na podstawie analizy trendów historycznych. W tabeli (Tabela 2.9) zestawiono projekcje pracy przewozowej transportu towarowego, będące wynikiem obliczeń modelowych i przyjętych założeń.

Tabela 2.9. Praca przewozowa transportu towarowego [mld tkm]

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Transport kolejowy	50,0	48,9	50,6*	52,2**	70,2	87,1	99,5	109,3
Transport samochodowy	119,7	214,2	273,1	354,9	351,3	364,4	355,0	337,5
Transport rurociągowy	25,4	24,2	21,8	23,0	18,3	18,6	17,8	16,8
Żegluga śródlądowa	1,3	1,0	2,2	0,9	1,6	1,9	2,0	2,2
Żegluga morska	b.d.	112,0	158,0	178,0	206,0	235,0	240,0	245,0
Transport lotniczy	0,1	0,1	0,4	0,6	1,6	2,1	2,7	2,9
Razem	b.d.	400	506	611	649	709	717	714

Źródło: ARE S.A. na podstawie: Primes Ver. 6 Energy Model. National Technical University of Athens, 2021, "Transport - wyniki działalności" - GUS. Warszawa, "Strategia zrównoważonego rozwoju transportu do 2030 r." - Monitor Polski. Warszawa, 2019

* Źródło: Dane Urzędu Transportu Kolejowego <https://dane.utk.gov.pl/sts/przewozy-towarowe/dane-eksploatacyjne/21530,Przewozy-towarowe.html#Szczeg%C3%B3w%C5%82owe%20dane%20w%20plik%20MS%20Excel>

** Źródło Urzędu Transportu Kolejowego <https://dane.utk.gov.pl/sts/przewozy-towarowe/dane-eksploatacyjne/21530,Przewozy-towarowe.html#Szczeg%C3%B3w%C5%82owe%20dane%20w%20plik%20MS%20Excel>

Zgodnie z zaprezentowanymi wynikami, popyt na pracę przewozową transportu towarowego wzrasta z 611 mld tkm w 2020 r. do 714 mld tkm w 2040 r. W układzie gałęziowym, największa część popytu na przewozy ładunków przypada na transport samochodowy, którego udział w pracy przewozowej wynosi ok. 58% w 2020 r. i stopniowo spada do 47% w 2040 r.

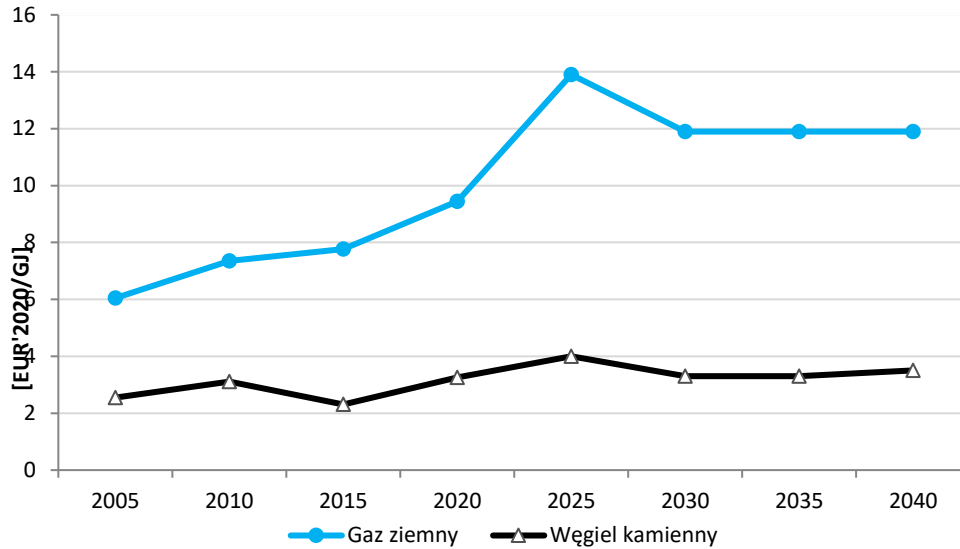
2.8. Międzynarodowe ceny importowe paliw

Przyjęte do obliczeń modelowych projekcje cen paliw w imporcie do Unii Europejskiej, zaprezentowane w tabeli (Tabela 2.10) i na rysunku (Rysunek 2.2), zostały przyjęte na podstawie wytycznych KE. W pierwszych latach prognozy wartości dla węgla kamiennego i gazu ziemnego zostały skorygowane w celu odzwierciedlenia wzrostu cen tych surowców, będącego wynikiem odejścia krajów UE od importu z Federacji Rosyjskiej. Zaprezentowane poniżej projekcje posłużyły z kolei jako podstawa do określenia cen paliw na rynku krajowym.

Tabela 2.10. Ceny paliw w imporcie do UE [EUR'2020/GJ (NCV)]

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Gaz ziemny	6,0	7,4	7,8	9,4	13,9	11,9	11,9	11,9
Węgiel kamienny	2,5	3,1	2,3	3,3	4,0	3,3	3,3	3,5

Źródło: ARE S.A. na podstawie Wytycznych KE do aktualizacji KPEiK



Rysunek 2.2. Ceny paliw w imporcie do UE

2.9. Ceny uprawnień do emisji GHG w ramach systemu EU ETS

Projekcje cen uprawnień do emisji gazów cieplarnianych dla sektorów objętych systemem handlu uprawnieniami do emisji (zgodnie z dyrektywą EU ETS) przedstawiono w tabeli (Tabela 2.11). Ceny te zostały określone na podstawie wytycznych KE. Aby zapewnić porównywalność scenariuszy, przyjęto takie same wartości cen dla scenariuszy WAM i WEM. Uwzględniono również uwagi zgłoszone podczas prekonsultacji do aktualizacji KPEiK (z 2023 r.) i zaktualizowano średnie ceny uprawnień do emisji do wartości 90 EUR'2020/tCO₂eq w 2025 roku i 100 EUR'2020/tCO₂eq w 2030 roku. Przewidywana ścieżka cenowa w późniejszych latach opiera się na wytycznych KE i zakłada dalszy wzrost wartości uprawnień do 250 EUR'2020/tCO₂eq w 2040 roku.

Tabela 2.11. Ceny uprawnień do emisji GHG w systemie EU ETS [EUR'2020/tCO₂eq]

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Cena 1 uprawnienie	0	14	9	25	90	100	120	250

Źródło: Wytyczne KE do KPEiK

2.10. Kursy wymiany walut

Kursy wymiany EUR/PLN przyjęto zgodnie z najnowszymi projekcjami Ministerstwa Finansów¹⁴. Zakłada się w nich poziom wymiany na poziomie 4,450 PLN/EUR. W obliczeniach przyjęto kurs wymiany USD/EUR na poziomie 1,1. Dane historyczne dla lat 2005-2020 pochodzą z danych archiwalnych NBP.

¹⁴ Ministerstwo Finansów. Wytyczne dotyczące stosowania jednolitych wskaźników makroekonomicznych będących podstawą oszacowania skutków finansowych projektowanych ustaw. Aktualizacja, październik 2023 r.

Tabela 2.12. Kursy wymiany walut

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
USD/EUR	1,245	1,328	1,120	1,140	1,100	1,100	1,100	1,100
PLN/EUR	4,023	3,995	4,184	4,440	4,450	4,450	4,450	4,450

Źródło: NBP, MF

2.11. Liczba stopniodni grzania i chłodzenia

Założenia dotyczące liczby stopniodni grzania w perspektywie prognozy, zostały przyjęte na podstawie rekomendacji Komisji Europejskiej w zakresie przygotowywania KPEiK¹⁵. Dane historyczne dla lat 2005 - 2020 pochodzą z baz danych EUROSTAT. Założone projekcje liczby stopniodni grzania i chłodzenia zakładają stopniowe ocieplenie się klimatu w strefie klimatycznej, w której znajduje się Polska.

Tabela 2.13. Liczba stopniodni grzania HDD

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
HDD	3547	3881	3113	3442	3430	3418	3408	3399

Źródło: EUROSTAT, Wytyczne KE do KPEiK na lata 2021-2030

Tabela 2.14. Liczba stopniodni chłodzenia CDD

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
CDD	216	197	220	223	226	229	231	233

Źródło: EUROSTAT, Wytyczne KE do KPEiK na lata 2021-2030

2.12. Założenia dotyczące kosztów technologii

Przedstawione w tabeli (Tabela 2.15) parametry nowych jednostek wytwórczych sporządzono w oparciu o najnowsze dostępne publikacje renomowanych ośrodków badawczych. W analizach modelowych założono, że dostępne będą wyłącznie technologie wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej znajdujące się obecnie w ofertach komercyjnych.

Tabela 2.15. Parametry techniczno-ekonomiczne technologii wytwarzania i przesyłowych

Paliwo/Technologia	Okres uruchomienia	Nakłady inwest.OVN tys.€/MWh _{net}	Koszty		Sprawność netto elektr. /całkowita %	Techniczny czas życia Lata	Wskaź. emisji CO ₂ kg/GJ
			Stałe tys.€/MWh _{net}	Zmienne €/MWh _{net}			
1.1 Węgiel brunatny - PL	2020-2050	2000	53	3,8	44	40	110
1.2 Węgiel brunatny - PC+CCS	2030-2050	3600	80	9,5**	38	40	14*
1.3 Węgiel brunatny - FBC	2020-2050	2275	56	3,8	40	40	106
2.1 Węgiel kamienny - PC	2020-2050	1850	49	3,6	46	40	94
2.2 Węgiel kamienny - IGCC	2025-2050	2500	64	7,8	48	40	94
2.3 Węgiel kamienny - IGCC+CCS	2030-2050	3650	87	11,3**	40	40	12*
2.4 Węgiel kamienny - CHP	2020-2050	2500	53	3,6	30/80	40	94
2.5 Węgiel kamienny - CHP+CCS	2030-2050	3885	84	13,3	22/75	40	12
3.1 Gaz ziemny/Wodór# - CCGT	2020-2050	835	20	2	58-62	30	56
3.2 Gaz ziemny - CCGT+CCS	2030-2050	1500	42	4,4**	50-52	30	6*
3.3 Gaz ziemny/Wodór# - CHPCCGT	2020-2050	1055	22	2,2	52-56	30	56

¹⁵ Zawiadomienie Komisji w sprawie wytycznych dla państw członkowskich dotyczących aktualizacji krajowych planów w dziedzinie energii i klimatu na lata 2021–2030 (2022/C 495/02). Dz. Urz. UE L 495 z 29.12.2029, str. 24

Paliwo/Technologia	Okres uruchomienia	Nakłady inwest. OVN tys.€/MWh _{net}	Koszty		Sprawność netto elektr. /całkowita %	Techniczny czas życia Lata	Wskaź. emisji CO ₂ kg/GJ
			Stałe tys.€/MWh _{net}	Zmienne €/MWh _{net}			
3.4 Gaz ziemny//Wodór# - TG	2025-2050	500	18	6,7	40	30	56
3.5 Gaz Mikro CHP	2020-2050	2610	108	-	20/90	25	56
4.1 Jądrowa - PWR	2030-2050	4750	115	3	36	60	0
4.2 Małe reaktory jądrowe_SMR	2030-2050	6500↓5250	115	4	36	60	0
5.1 Wiatrowe na lądzie	2020-2050	1500↓1150	56	-	-	25	0
5.2 Wiatrowe na morzu	2020-2030	3050↓2450	100	-	-	25	0
5.3 Wiatrowe na morzu	2031-2050	2450↓1850	100	-	-	25	0
5.4 Duże wodne	2020-2050	3100	39	-	-	60	0
5.5 Małe wodne	2020-2050	2850	83	-	-	60	0
5.6 Geotermalne	2020-2050	7780↓6650	178	-	9	30	0
5.8 Ogniwa fotowoltaiczne	2020-2050	840↓610	18	-	-	25	0
5.9 Ogniwa fotowoltaiczne dachowe	2020-2050	1100↓780	22	-	-	25	0
5.10 Biogaz rolniczy - CHP	2020-2050	3650↓3050	244	-	36/85	25	0
5.11 Biogaz z oczyszcz. ścieków- CHP	2020-2050	3900	150	-	34/85	25	0
5.12 Biogaz składowiskowy - CHP	2020-2050	2000	89	-	40/85	25	0
5.13 Biomasa stała - CHP	2020-2050	3250↓3000	133	-	30/80	30	0
6.1 El. wodne pompowe	2020-2050	1350	44	-	80	60	0
6.1 Bateriajne układy magazynowania en. elektr.	2025-2050	555↓225 [€/kWh]	22	-	90	15	0
7.1 Elektrolizery	2020-2050	550↓285	30↓25	-	68↓75	30	0
8.1 Ciepłownia Węgiel	2020-2050	350	1,5	1,4	90	30	94
8.2 Ciepłownia Gaz ziemny	2020-2050	150	1,3	0,4	96	30	56
8.3 Ciepłownia Olej opałowy	2020-2050	200	1,4	0,5	95	30	74
8.4 Ciepłownia Biomasa	2020-2050	500	1,5	1,4	90	30	0
8.5 Ciepłownia Biogaz	2020-2050	150	1,3	0,4	95	30	0
8.6 Ciepłownia Kotle elektrodoowe/Grzejniki el.	2020-2050	450	1,1	0,5	99	30	0
8.7 Ciepłownia Geotermalna	2020-2050	2850↓2500	26	4,4	10	30	0
8.8 Ciepłownia Pompy ciepła	2020-2050	950↓850	2	1,8	300	25	0
Podłączenie do/wzmocnienie sieci							
9.1 Elektrownie systemowe	2020-2050	250					
9.2 Elektrownie wiatrowe na lądzie	2020-2050	350					
9.3 Elektrownie wiatrowe na morzu	2020-2050	750					
9.4 Inne el. I elektrociepłownie	2020-2050	50-250					

Dostosowane do spalania wodoru lub spalające tylko wodór

* Wskaźnik odniesiony do wsadu energetycznego w paliwie. Niższe wartości tego wskaźnika uwzględniają instalację wychwyty CO₂

**Włącznie z transportem i magazynowaniem CO₂

Źródła:

- International Energy Agency (2022), Global Energy and Climate Model Documentation 2022, IEA, Paris
- National Renewable Energy Laboratory, 2022 Annual Technology Baseline, Golden, 2022
- Aurora Energy Research, CO₂-free flexibility options for the Dutch energy system, October 2021
- European Commission JRC (Joint Research Centre), Power generation technology assumptions, Oct 2019
- Danish Energy Agency, Technology Data Catalogue for Electricity and district heating production - Updated February 2023
- ASSET (Advanced System Studies for Energy Transition) EU funded project, Technology pathways in decarbonisation scenarios, 2018
- O. Schmidt, A. Hawkes, A. Gambhir & I. Staffell. The future cost of electrical energy storage based on experience rates. Nat. Energy 2, 17110 (2017)

W tabeli (a 2.16) zamieszczono przyjęte do obliczeń modelowych parametry techniczno-ekonomiczne technologii CO i CWU stosowanych w gospodarstwach domowych i małych przedsiębiorstwach

usługowych. Dane te pochodzą z wielu różnych źródeł, w tym z oficjalnych stron producentów i dystrybutorów urządzeń w Polsce.

Tabela 2.16. Parametry techniczno-ekonomiczne technologii CO i CWU

	Koszt zakupu 2020-2050 [EUR'2020/kW]	Koszt zakupu dodatkových instalacji 2020-2050 [EUR'2020/kW]	Opis dodatkowych instalacji	Sprawność [%]
piece lub grzejniki elektryczne - zainstalowane	24	brak	nie dotyczy	100
piece lub grzejniki elektryczne - ruchome	12	brak	nie dotyczy	100
elektryczne ogrzewanie podłogowe	143	48	sterowanie i automatyka	100
elektryczny ogrzewacz wody (bojler, terma)	17	brak	nie dotyczy	100
kocioł centralnego ogrzewania na gaz ziemny	48	179	grzejniki wodne+przyłącze	90-97
ogrzewacz wody (bojler, terma) na gaz ziemny	18	60	przyłącze	90
dwufunkcyjny kocioł (co + cw) na gaz ziemny	72	179	grzejniki wodne+przyłącze	90-97
kocioł centralnego ogrzewania na gaz ciekły (propan - butan)	48	239	grzejniki wodne+zbiornik	90-97
ogrzewacz wody na gaz ciekły (propan - butan)	18	2	butla	90
dwufunkcyjny kocioł (co + cw) na gaz ciekły (propan - butan)	72	239	grzejniki wodne+zbiornik	90-97
kocioł centralnego ogrzewania na olej opałowy	48	131	grzejniki wodne+zbiornik	90-95
dwufunkcyjny kocioł (co + cw) na olej opałowy	72	131	grzejniki wodne+zbiornik	90-95
kocioł centralnego ogrzewania na paliwa stałe	48	119	grzejniki wodne	60-80
ogrzewacz wody (bojler, terma) na paliwa stałe	18	48	piec na paliwo stałe	60-80
dwufunkcyjny kocioł (co + cw) na paliwa stałe	66	119	grzejniki wodne	60-80
piece na paliwa stałe w pomieszczeniach	24	brak	nie dotyczy	40-80
kominek na paliwa stałe z otwartym wkładem kominkowym	24	72	obudowa	40-80
kominek na paliwa stałe z zamkniętym wkładem kominkowym	24	72	obudowa	50-80
kominek na paliwa stałe z płaszczem wodnym	96	191	obudowa+grzejniki wodne	60-80
kuchnia na paliwa stałe	24	brak	nie dotyczy	30-80
dwufunkcyjny węzeł cieplny	70	brak	węzeł+przyłącze	70
pompa ciepła	717	119	grzejniki wodne	3,5-5,4*

*COP - coefficient of performance

Źródło: ARE S.A. na podstawie danych zebranych od producentów i dystrybutorów urządzeń

Z uwagi na złożoność procesów produkcyjnych w przemyśle i znaczne zróżnicowanie w odniesieniu do stosowanych technologii i rozwiązań, zaimplementowane do modelu przemysłu rodzaje technologii są jedynie ich sztucznym odzwierciedleniem. Sektor przemysłu w modelu energetycznym potraktowany jest w sposób uproszczony zgodnie z zasadami postulowanymi w analizie systemowej. Podejście systemowe zakłada, że badana rzeczywistość jest zbyt złożona, aby móc ją w pełni odwzorować w modelu, dlatego też odzwierciedla się tam jedynie najważniejsze składowe i zależności. W modelu zastosowanym do celów pracy, zdefiniowano pięć głównych kierunków użytkowania energii: ciepło piecowe, para technologiczna, napędy elektryczne, ogrzewanie pomieszczeń i oświetlenie. Para technologiczna wytwarzana jest w elektrociepłowniach przemysłowych, dla których parametry techniczno-ekonomiczne zostały zestawione w tabeli (Tabela 2.15). Z kolei ciepło piecowe wykorzystywane w procesach przemysłowych takich jak wypalanie produktów ceramicznych, topienie masy bitumicznej, szkła, suszenie etc., jest wytwarzane w technologiach piecowych, których parametry techniczno-ekonomiczne zostały zaprezentowane w tabeli (Tabela 2.17). Dodatkowo tabela zawiera dane dla powszechnie stosowanych w przemyśle silników elektrycznych, których zadaniem jest przetwarzanie energii elektrycznej na mechaniczną.

Tabela 2.17. Parametry techniczno-ekonomiczne technologii przemysłowych

Technologia	Paliwo	Kierunek użytkowania	Koszty zakupu 2020 [EUR'2020/kW]	Koszty zakupu 2030 [EUR'2020/kW]	Koszty zakupu 2040 [EUR'2020/kW]	Koszty zakupu 2050 [EUR'2020/kW]	Koszty operacyjne O&M [EUR'2020/GJ]	Techniczny czas życia	Wskaźnik emisji CO ₂ [kg/GJ]
Piece/kotły przemysłowe do produkcji ciepła technologicznego	Gaz wielkopiecowy	Ciepło wysokotemperaturowe	1200	1200	1200	1200	0,3	25	260
Piece/kotły przemysłowe do produkcji ciepła technologicznego	Gaz koksowniczy	Ciepło wysokotemperaturowe	1650	1650	1650	1650	0,4	25	44
Piece/kotły przemysłowe do produkcji ciepła technologicznego	Koks	Ciepło wysokotemperaturowe	500	500	500	500	0,12	25	107
Piece/kotły przemysłowe do produkcji ciepła technologicznego	Energia elektryczna	Ciepło wysokotemperaturowe	1200	1200	1200	1200	0,3	25	0
Piece/kotły przemysłowe do produkcji ciepła technologicznego	Węgiel	Ciepło wysokotemperaturowe	1650	1650	1650	1650	0,4	25	94
Piece/kotły przemysłowe do produkcji ciepła technologicznego	Ciężki olej opałowy	Ciepło wysokotemperaturowe	1600	1600	1600	1600	0,4	25	77
Piece/kotły przemysłowe do produkcji ciepła technologicznego	Lekki olej opałowy	Ciepło wysokotemperaturowe	1600	1600	1600	1600	0,4	25	77
Piece/kotły przemysłowe do produkcji ciepła technologicznego	LPG	Ciepło wysokotemperaturowe	1200	1200	1200	1200	0,3	25	63
Piece/kotły przemysłowe do produkcji ciepła technologicznego	Gaz ziemny	Ciepło wysokotemperaturowe	1200	1200	1200	1200	0,3	25	56
Silniki elektryczne wielkoskalowe	Energia elektryczna	Napędy elektryczne	300	250	200	190	0,18	10	0
Silniki elektryczne małoskalowe	Energia elektryczna	Napędy elektryczne	500	450	400	375	0,18	10	0

Źródło: ARE S.A. na podstawie analizy dostępnych źródeł literaturowych i danych dostawców urządzeń

Tabela 2.18. Parametry techniczno-ekonomiczne technologii stosowanych w transporcie

Rodzaj pojazdu	Koszt zakupu nowych pojazdów	Jednostkowe zużycie paliw/energii	
	[EUR'2020/pojazd]	2020→2040	
Samochody os. (benzyna <1399 cm ³)	9 500	5,4→3,6	[l/100km]
Samochody os. (benzyna 1400-1900 cm ³)	12 200	6,6→4,3	[l/100km]
Samochody os. (benzyna >1900 cm ³)	14 900	8,5→5,5	[l/100km]
Samochody os. (ON <1399 cm ³)	13 600	4,6→3,0	[l/100km]
Samochody os. (ON 1400-1900 cm ³)	17 600	5,9→3,8	[l/100km]
Samochody os. (ON >1900 cm ³)	20 250	6,9→4,5	[l/100km]
Samochody os. (LPG <1399 cm ³)	10 250	6,4→4,3	[l/100km]
Samochody os. (LPG 1400-1900 cm ³)	13 000	8,1→7,0	[l/100km]
Samochody os. (LPG >1900 cm ³)	15 650	10,7→7,1	[l/100km]
Samochody os. (hybrydowe)	20 000→14 000	3,8→2,8	[l/100km]
Samochody os. (CNG)	19 000	7,1→6,5	[m ³ /100km]
Samochody ciężarowe o masie do 3,5t (CNG)	36 000	11,9→10,5	[m ³ /100km]
Samochody os. (elektr.)	50 000→20 000	23,0→21,0	[kWh/100km]
Samochody ciężarowe o masie do 3,5 t (elektr.)	90 000→70 000	33,0→28,0	[kWh/100km]
Samochody os. (wodór)	56 000→22 500	0,9→0,7	[kg/100km]
Samochody ciężarowe o masie do 3,5 t (wodór)	90 000→70 000	33,0→28,0	[kg/100km]
Samochody ciężarowe o masie do 3,5t (benzyna)	27 600	12,0→8,5	[l/100km]
Samochody ciężarowe o masie do 3,5t (ON)	35 650	9,6→7,0	[l/100km]
Samochody ciężarowe o masie do 3,5t (LPG)	33 350	12,1→10,6	[l/100km]
Samochody ciężarowe o masie pow. 3,5t (ON)	108 100	45,0→34,0	[l/100km]
Ciągniki rolnicze	46 000	1,15→1,02	[toe/rok]
Siloso-kombajny	155 250	4,5→3,96	[toe/rok]
Kombajny zbożowe	73 000	1,42→1,25	[toe/rok]

Źródło: ARE S.A. na podstawie danych producentów oraz organizacji branżowych

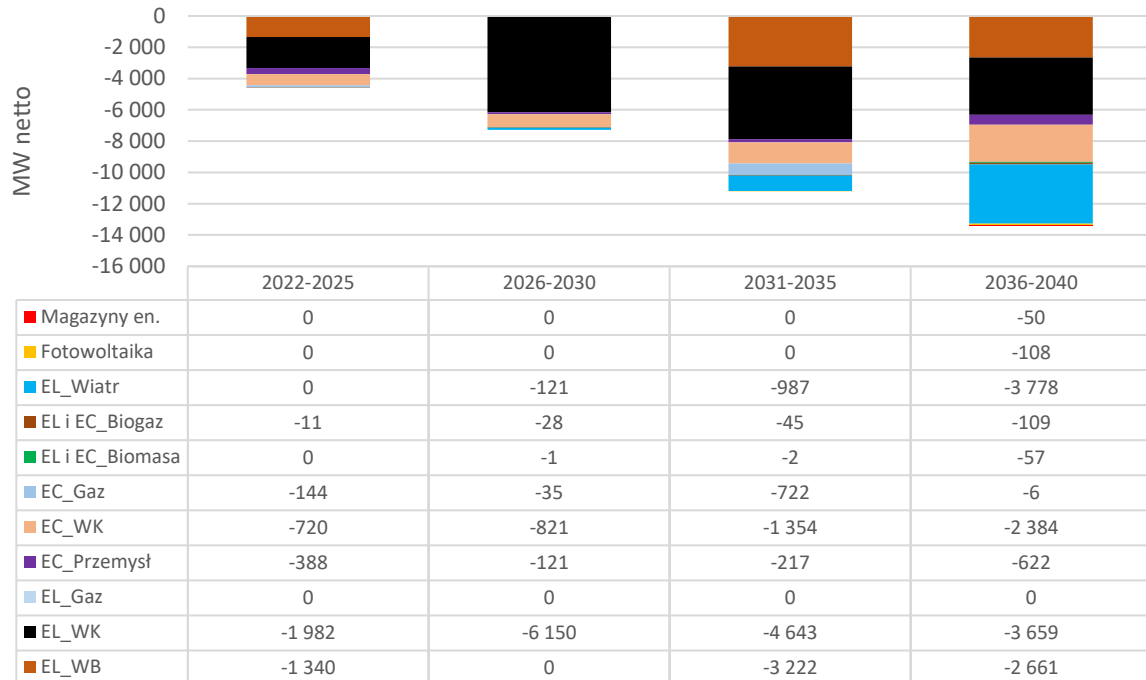
2.13. Pozostałe kluczowe parametry mające wpływ na rozwój sektora paliwowo-energetycznego

2.13.1.1. Harmonogram likwidacji wyeksploatowanych mocy wytwórczych energii elektrycznej

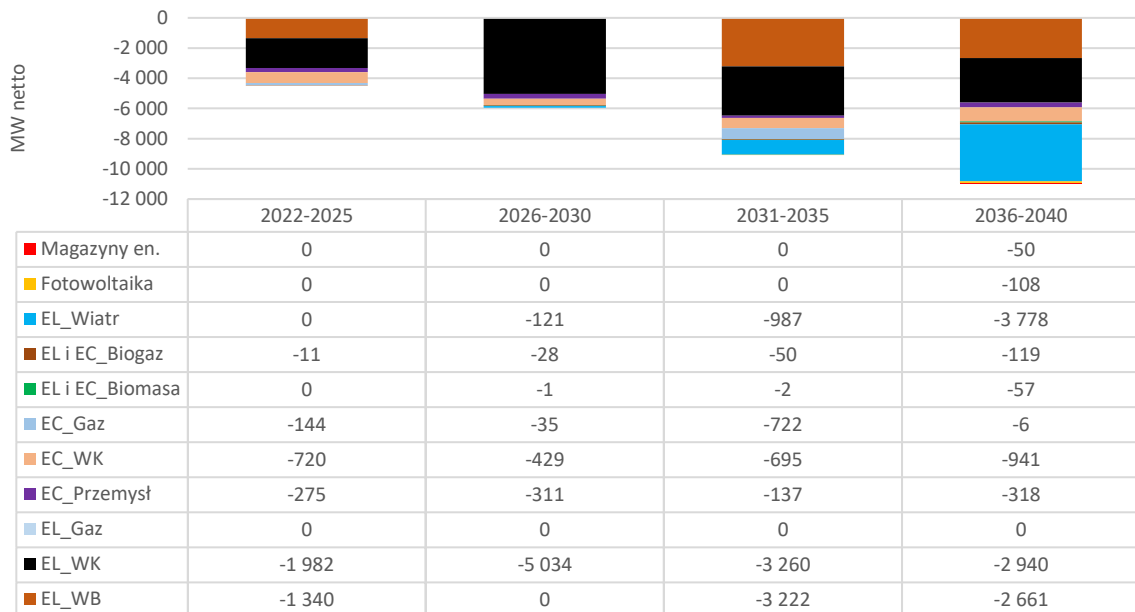
Harmonogram likwidacji istniejących jednostek wytwórczych, a także plany modernizacji zostały oparte na informacjach dysponowanych przez MKiŚ, badaniach ankietowych przeprowadzonych wśród przedsiębiorstw energetycznych, danych pochodzących z raportów rocznych spółek energetycznych i informacji prasowych. Wyniki analiz przedstawiono na poniższym wykresie (Rysunek 2.3) obrazującym wszystkie zdeterminowane oraz zakładane trwałe odstawienia jednostek wytwórczych¹⁶ w KSE w latach

¹⁶ Na rysunku 4.3 można zauważyć dużą ilość elektrowni wiatrowych i fotowoltaicznych ulegających likwidacji po 2035 r., ponieważ przyjęto, że istniejące jednostki po osiągnięciu zakładanego czasu życia będą zastępowane nowymi, chociaż przypuszczalnie pewna część poprzez głęboką modernizację przedłuży okres eksploatacji poza zakładany 25-letni czas życia

2022-2040¹⁷. Największa ilość trwałych odstawiń z eksploatacji dotyczy jednostek węglowych. Zgodnie z zaprezentowanym harmonogramem, w latach 2022-2030 wyłączonych zostanie ponad 8 GW elektrowni i elektrociepłowni węglowych. W latach 2031 -2040 z bilansu mocy wycofanych zostanie kolejne 7,8 GW. Skala tych wyłączeń jest istotna i stanowi duże wyzwanie dla KSE, szczególnie że dotyczy jednostek charakteryzujących się wysokim poziomem dyspozycyjności. Odstawienia wspomnianych jednostek wytwórczych muszą być w przyszłości pokryte w sposób gwarantujący ciągłość dostaw.



Rysunek 2.3. Harmonogram trwałych odstawiń jednostek wytwórczych w latach 2022-2040 w scenariuszu WAM
Źródło: Opracowanie własne ARE S.A. na zlecenie MKiŚ



Rysunek 2.4. Harmonogram trwałych odstawiń jednostek wytwórczych w latach 2022-2040 w scenariuszu WEM

¹⁷ Na potrzeby modelowania prognostycznego przyjęto uproszczone podejście, że moce wytwórcze odstawiane są na koniec roku kalendarzowego. Przykładowo, jeżeli blok jest odstawiany w 2030 r., model prognostyczny prognozuje jego pracę do 31.12.2030 r., a odstawienie następuje w modelu z dn. 1.01.2031 r., w którym generacja jest równa 0.

Źródło: Opracowanie własne ARE S.A. na zlecenie MKiŚ

W tabelach (Tabela 2.19, Tabela 2.20) zestawiono skumulowane wielkości wycofań istniejących jednostek zaimplementowane do obliczeń dla scenariusza.

Zgodnie z przedstawionymi danymi dla scenariusza WAM w okresie do 2040 r. zostanie trwale wycofanych z eksploatacji ok. 36,5 GW mocy wytwórczych, w tym w grupie istniejących JWCD ok. 23,7 GW. Spośród elektrociepłowni zawodowych zaliczanych do grupy jednostek nJWCD, do 2040 r. zostanie wycofanych z eksploatacji ponad 6,2 GW.

Tabela 2.19. Skumulowane wielkości wycofań mocy dla scenariusza WAM w latach 2022–2040 [MW_{netto}]

Rok	2022-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2022-2040
Skumulowane wycofania mocy wytwórczych	-4585	-7276	-11191	-13434	-36487
- w tym: JWCD ciepłe	-3322	-6150	-7865	-6320	-23657
- nJWCD z grupy EC zawodowe	-864	-856	-2076	-2447	-6243

Źródło: Opracowanie własne ARE S.A. na zlecenie MKiŚ

W przypadku scenariusza WEM w okresie do 2040 r. zostanie trwale wycofanych z eksploatacji ok. 30,5 GW mocy wytwórczych, w tym w grupie istniejących JWCD ok. 20,4 GW. Spośród elektrociepłowni zawodowych zaliczanych do grupy jednostek nJWCD, do 2040 r. zostanie wycofanych z eksploatacji ponad 3,7 GW.

Tabela 2.20. Skumulowane wielkości wycofań mocy dla scenariusza WEM w latach 2022–2040 [MW_{netto}]

Rok	2022-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2022-2040
Skumulowane wycofania mocy wytwórczych	-4472	-5959	-9074	-10977	-30482
- w tym: JWCD ciepłe	-3322	-5034	-6482	-5601	-20439
- nJWCD z grupy EC zawodowe	-864	-464	-1417	-1004	-3749

Źródło: Opracowanie własne ARE S.A. na zlecenie MKiŚ

2.13.1.2. Główne założenia dotyczące mocy i technologii uwzględnionych w prognozach

Jednym z kluczowych założeń przyjętych w analizie rozwoju systemu elektroenergetycznego jest dostępność mocy i nowych technologii. W obliczeniach modelowych wzięto pod uwagę:

- aktualne zasoby mocy w krajowym systemie elektroenergetycznym (KSE),
- rozbudowę zasobów w technologiach już istniejących w KSE,
- budowę mocy w technologiach, które nie występują w polskim systemie, ale są stosowane na świecie,
- potencjał technologii i rozwiązań, których rozwój na arenie międzynarodowej nie osiągnął dojrzałości technicznej, ale wysoki poziom zaangażowania w prace nad tymi obszarami pozwala na pozytywną ocenę możliwości ich zastosowania w Polsce w najbliższej dekadzie.

Prognozy przeprowadzono dla tzw. normalnych warunków klimatycznych i pogodowych oraz zakładając przedstawiony w niniejszym dokumencie rozwój technologii wytwarzania energii. Poniżej przedstawiono szczegółowe założenia w odniesieniu do poszczególnych technologii i rozwiązań.

Moce na węgiel kamienny

W 2022 r. w KSE zainstalowanych było ok. 16,6 GW mocy w elektrowniach na węgiel kamienny oraz ok. 5,9 GW w elektrociepłowniach¹⁸. Biorąc pod uwagę wyeksploatowanie jednostek wytwórczych, potrzebę

¹⁸ Informacja statystyczna o energii elektrycznej, tabl. 3 i 4. ARE S.A. grudzień 2022 r.

redukcji emisyjności sektora, a także obciążenia fiskalne (zakup uprawnień do emisji GHG, koszty paliwa) i regulacyjne (limity emisji zanieczyszczeń) przyjęto, że nie powstaną nowe konwencjonalne elektrownie na węgiel kamienny, co nie wyklucza inwestycji w czyste technologie węglowe, takie jak np. budowa bloku gazowo-parowego ze zintegrowanym zgazowaniem paliwa węglowego (ang. IGCC) lub budowa instalacji wychwytu i składowania/utylicacji CO₂ (ang. CCS/CCUS).

Moce na węgiel brunatny

W 2022 r. moc zainstalowana w elektrowniach na węgiel brunatny wynosiła 8,9 GW¹⁹. Podobnie jak w przypadku jednostek na węgiel kamienny nie przewiduje się budowy nowych mocy na węgiel brunatny ani uruchamiania nowych odkrywek, choć zasoby strategiczne powinny zostać zabezpieczone. Koszty wytwarzania energii elektrycznej w tego typu elektrowniach są stosunkowo niskie, biorąc pod uwagę sam koszt paliwa, niemniej jednak w obliczu rosnących kosztów zakupu uprawnień do emisji GHG, następować będzie stopniowe wycofywanie tych mocy z systemu. Dodatkowymi czynnikami wpływającymi na konieczność ograniczania produkcji energii elektrycznej z węgla brunatnego są m.in.: ograniczanie negatywnego wpływu sektora na środowisko, wiek istan techniczny jednostek wytwórczych, wyczerpywanie się zasobów węgla brunatnego w obecnie eksploatowanych odkrywkach. Z tego względu spadek udziału energii z węgla brunatnego w wytwarzaniu energii elektrycznej i w bilansie mocy jest nieunikniony.

W kontekście Kompleksu Energetycznego Bełchatów (KEB) w założeniach prognostycznych uwzględniono dane z Terytorialnego planu sprawiedliwej transformacji Województwa Łódzkiego²⁰ dot. odstawienia jednego z bloków wytwórczych do końca 2030 r. (brak produkcji począwszy od 1.01.2031 r.), jak również produkcji energii elektrycznej w KEB - ok. 6,9 TWh i wydobywania węgla brunatnego - ok. 8,4 mln t w 2030 r.

Moce na gaz ziemny

W 2022 r. moc zainstalowana w elektrowniach i elektrociepłowniach wynosiła ok. 4 GW. Główną rolę mocy gazowych jest podnoszenie stabilności pracy KSE w sytuacji intensywnego wzrostu mocy zainstalowanych w źródłach zeroemisyjnych, ale zależnych od warunków atmosferycznych. Moce gazowe traktuje się jako źródła przejściowe w procesie transformacji. Tym samym przyrost mocy zainstalowanej może być na poziomie nie wyższym niż niezbędny i mieć charakter przejściowy, do czasu, w którym możliwe będzie zapewnianie stabilności pracy systemu przy wykorzystaniu zeroemisyjnych technologii i rozwiązań. Prognozowana znacząca rola gazu ziemnego w bilansowaniu KSE wynika przede wszystkim z uwzględnienia jednostek będących obecnie w budowie oraz tych, które charakteryzują się wysokim stopniem zaawansowania procesu inwestycyjnego. Lista jednostek przyjętych w obliczeniach modelowych jako zdeterminowane zestawiono w punkcie 2.13.1.3.

Moce jądrowe

Aktualnie w Polsce nie pracują żadne elektrownie jądrowe, ale wdrożenie ww. technologii planowane jest w obu scenariuszach prognostycznych. W scenariuszu WAM uruchomienie pierwszej wielkoskalowej jednostki planowane jest na 2035 rok, zaś w scenariuszu WEM w 2033 r. (zgodnie z harmonogramem PPEJ). W obu scenariuszach perspektywie post-2040 r. uwzględniono budowę 6 wielkoskalowych bloków, jednak ich tempo uruchamiania do 2040 r. różni się pomiędzy scenariuszami. Wzięto również pod uwagę możliwość budowy w ramach inicjatywy biznesowej (PGE, PAK we współpracy z KHNP) dwóch bloków jądrowych w technologii koreańskiej APR1400 o łącznej mocy ok. 2800 MWe. Projekt ten jako inicjatywa prywatna realizowany będzie równolegle do działań przewidzianych w ramach PPEJ. W obliczeniach modelowych uwzględniono jednocześnie budowę małych reaktorów jądrowych (SMR, ang. small modular reactor) – różnicując założenia pomiędzy scenariuszami co do skumulowanych mocy zainstalowanych i tempa uruchamiania jednostek wytwórczych. Choć jednostki SMR nie są obecnie powszechnie wykorzystywane w sektorze energetycznym na świecie, są przedmiotem zainteresowania rynkowego.

¹⁹ Ibidem

²⁰ <https://strategia.lodzkie.pl/wp-content/uploads/2023/04/1-Terytorialny-Plan-Sprawiedliwej-Transformacji-Wojewodztwa-Lodzkiego.pdf>

Dodatkowo technologia SMR może uczestniczyć w pokryciu zapotrzebowania na ciepło z ciepłownictwa systemowego oraz zapewniać energię dla produkcji paliw alternatywnych (w tym wodoru), podobnie jak duże reaktory. Należy jednak podkreślić dużą niepewność i realne możliwości wdrożenia tej technologii w Polsce w perspektywie 2040 r. Do tej pory praktycznie nie zakończono jeszcze procesu licencjonowania SMR w krajach dostawców tej technologii oraz brak jest wiarygodnych informacji dotyczących kosztów tych inwestycji. Mimo istniejącej niepewności - uwzględniono tę technologię w analizach, ale przyjęto ostrożnościowe podejście, a prognozy mogą ulec aktualizacji wraz z przyrostem wiedzy o poszczególnych projektach. Wartości mocy zainstalowanej i produkcji z SMR nie należy traktować jako wartości granicznych, zwłaszcza, że moce tej technologii być może będą wykorzystywane również przez duże przedsiębiorstwa energochłonne na pokrycie ich własnych potrzeb.

W analizach uwzględniono tzw. wiek dziecięcy nowo powstałych jednostek jądrowych, dlatego w pierwszych latach pracy stopień wykorzystania mocy odbiega od pełnych możliwości obciążenia tych jednostek.

Elektrownie wiatrowe na morzu (offshore wind)

W przeprowadzonych analizach rozwoju sektora elektroenergetycznego założono, że pierwsze wolumeny produkcji z elektrowni wiatrowych na morzu (offshore) pojawią się w 2027 r. Ze względu na zalety tej technologii OZE, zwłaszcza stosunkowo wysoki stopień wykorzystania mocy oraz wysokie zainteresowanie rynkowe, przewidziano szereg inwestycji w morskie elektrownie wiatrowe. W prognozach wykorzystano informacje rynkowe dotyczące projektów, których dokumentacja jest na wysokim poziomie zaawansowania. W prognozach założono maksymalny poziom mocy zainstalowanej w elektrowniach wiatrowych na morzu na poziomie 5,9 GW w 2030 r. i 18 GW w 2040 r.

Elektrownie wiatrowe na lądzie (onshore wind)

Na koniec 2022 r. moc zainstalowana elektrowni wiatrowych na lądzie wynosiła blisko 8,3 GW. W analizach rozwoju systemu elektroenergetycznego uwzględniono wyniki przeprowadzonych dotychczas aukcji OZE oraz dalszy przyrost mocy wiatrowych w kolejnych latach. Przewiduje się także budowę mocy poza systemami wsparcia, także tych związanych z elastycznieniem tzw. reguły odległościowej 10 H, co może spowodować przyspieszenie rozwoju energetyki wiatrowej na lądzie. Założono w scenariuszu WAM, że całkowita moc zainstalowana może wzrosnąć do poziomu blisko 20 GW w 2030 r. W scenariuszu WEM moce zainstalowane w tej technologii osiągają niższą wartość.

Energetyka słoneczna (PV)

Na koniec 2022 r. moc zainstalowana elektrowni słonecznych wynosiła ok. 12,2 GW. Większość stanowiły instalacje prosumenckie, które w ostatnim czasie przyrastają bardzo dynamicznie. W prognozach uwzględniono dalszy rozwój energetyki słonecznej zarówno ze względu na realizację projektów wynikających z aukcji OZE, jak i dalszy rozwój energetyki prosumenckiej, również w świetle wdrażania REPowerUE. Czynnikiem częściowo hamującym przyrost instalacji fotowoltaicznych są ograniczenia sieciowe. Z tego powodu znaczna część środków przewidzianych w KPO na transformację energetyczną zostanie przeznaczona na modernizację i rozbudowę sieci pod kątem jej dostosowania do rosnącego udziału niestabilnych źródeł OZE. Rozwiązaniem, które poprawiło nieco sytuację w przypadku dużych projektów jest nowelizacja Ustawy OZE²¹, regulująca włączenie do sieci kilku odnawialnych źródeł energii na jednym przyłączy tzw. cable pooling. Nowo wprowadzone przepisy prawdopodobnie odblokują w skali kraju potencjał kilku dodatkowych gigawatów zielonych mocy - głównie fotowoltaicznych, umiejscowionych przy istniejących farmach wiatrowych.

Moce na biomasę i biogaz

Moce biomasowe i biogazowe to stabilne źródła energii, lecz obecnie m.in. ze względu na wysokie koszty funkcjonowania i dostępność surowców nie stanowią wysokiego udziału w strukturze mocy w KSE - w 2022 r. moc zainstalowana wynosiła ok. 1,25 GW. Obowiązek stosowania biomasy spełniającej kryteria

²¹ Ustawa z dnia 17 sierpnia 2023 r. o zmianie ustawy o odnawialnych źródłach energii oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. z 2023 r. poz. 1762)

zrównoważonego rozwoju w jednostkach powyżej 20 MW dla paliw stałych oraz 2 MW dla paliw gazowych, jak również jej ograniczona dostępność, jak również niewystarczająco rozwinięty rynek biogazu w najbliższych latach mogą mieć wpływ na ograniczone tempo rozwoju mocy biomasowych i biogazowych.

W prognozach uwzględniono przewidywane inwestycje w związku z obowiązującymi systemami wsparcia OZE. Środkami stymulującymi rozwój inwestycji będą również programy finansowane z funduszy unijnych i krajowych, np. program „Energia dla wsi”, co może spowodować, że rzeczywisty przyrost tych mocy okaże się wyższy, także ze względu na coraz wyżej oceniany potencjał biometanu, którego rozwój wykorzystania może spowodować zmniejszenie importu gazu ziemnego do Polski. Założono, że rozwój energetyki biomasowej powinien odbywać się w sposób zrównoważony, niezagrożący bezpieczeństwu żywnościowemu Polski. Wykorzystanie potencjału w zakresie biogazowni rolniczych pozwalać będzie na niwelację oddziaływania na środowisko i zmniejszenie uciążliwości produkcji rolnej, w tym produkcji zwierzęcej, dla mieszkańców obszarów wiejskich.

Biometan

Biometan to odnawialny i bezemisyjny substytut gazu ziemnego. Stanowi nośnik energii chemicznej łatwy w magazynowaniu w istniejącej infrastrukturze gazu ziemnego. W sytuacjach szczytowego zapotrzebowania bądź niewystarczającej generacji energii z wiatru i słońca (zimowe dni bezwietrzne), biometan może być użyty w szczytowych elektrowniach gazowych. Jego potencjał techniczny szacowany jest na poziomie 8 mld m³ rocznie, niemniej jego potencjał ekonomiczny jest znacznie mniejszy.

Energetyka wodna

W 2022 r. moc zainstalowana przepływowych elektrowni wodnych wyniosła blisko 1 GW. Polska cechuje się stosunkowo niskim potencjałem wodnym, co determinuje niski udział hydroenergetyki w miksie energetycznym. Przewiduje się rozwój tej technologii w kraju, choć intensywność powstawania nowych mocy ograniczona jest obiektywnymi możliwościami naturalnymi. Elektrownie szczytowo-pompowe stanowią oddzielną kategorię – opisane zostały poniżej. Tego typu elektrownie wodne nie są zaliczane do odnawialnych źródeł energii.

Magazyny energii, elektrownie szczytowo-pompowe i zarządzanie popytem (DSR)

W ostatnich latach technologie magazynowania energii stały się przedmiotem rosnącego zainteresowania inwestorów ze względu na ich rolę w efektywnym zagospodarowaniu produkcji z OZE i bilansowaniu tych źródeł, jak również we wzmacnianiu bezpieczeństwa dostaw. Uwzględniając fakt, że badania nad magazynowaniem i rozwój tych technologii są trendem globalnym, można wnioskować, że w najbliższych dekadach technologia rozwinie się do tego stopnia, by mogła zapewnić lepsze wykorzystanie mocy OZE i zarządzanie systemem oraz wpłynąć na pewność dostaw energii oraz budowanie niezależności energetycznej zarówno gospodarstw domowych, jak i podmiotów gospodarczych. Oczekuje się rozwoju zarówno magazynów bateryjnych, jak również innych rozwiązań pozwalających efektywnie magazynować energię. Za National Renewable Energy Laboratory (NREL) przyjęto, że sprawność tych urządzeń wynosi średnio 88%. W przypadku wielkoskalowych bateryjnych magazynów energii przyjęto czas pracy 4 godziny na dobę, a w przypadku instalacji prosumenckich 2 godziny na dobę.

Ważną rolę jako magazyny energii pełnią elektrownie szczytowo-pompowe. W scenariuszu WAM w następstwie realizacji planowanych projektów moc tego typu technologii może wzrosnąć z aktualnych 1,7 GW do 5,5 GW w 2040 r., w tym m.in. w następstwie realizacji elektrowni Młoty, Tolkmicko, Rożnów. Dodatkowo pod uwagę brana jest realizacja innych projektów, których łączna moc sięga 3,8 GW. Natomiast w założeniach do scenariusza WEM przyjęto wzrost mocy do ok. 4,8 GW w 2040 r.

W prognozach uwzględniono możliwość funkcjonowania mechanizmów zarządzania popytem (DSR, *ang. demand side response*), ale z założenia dążono do możliwości pokrycia zapotrzebowania fizycznymi mocami. W dostępnych analizach DSR pozytywnie wpływa na wyniki analizy wystarczalności mocy. Rozwiązania tzw. zarządzania popytem mogą wpływać m.in. na zwiększenie elastyczności pracy KSE oraz ograniczenie szczytowego zapotrzebowania na energię elektryczną w okresach krytycznego obciążenia systemu elektroenergetycznego, a zatem pozytywnie oddziaływać na wzmacnianie bezpieczeństwa

energetycznego. Krajowy potencjał DSR (zarówno scentralizowanego, jak i rozproszonego) jest obiecujący, niemniej w najbliższych latach ograniczeniem jego wykorzystania pozostają możliwości techniczne i koszty.

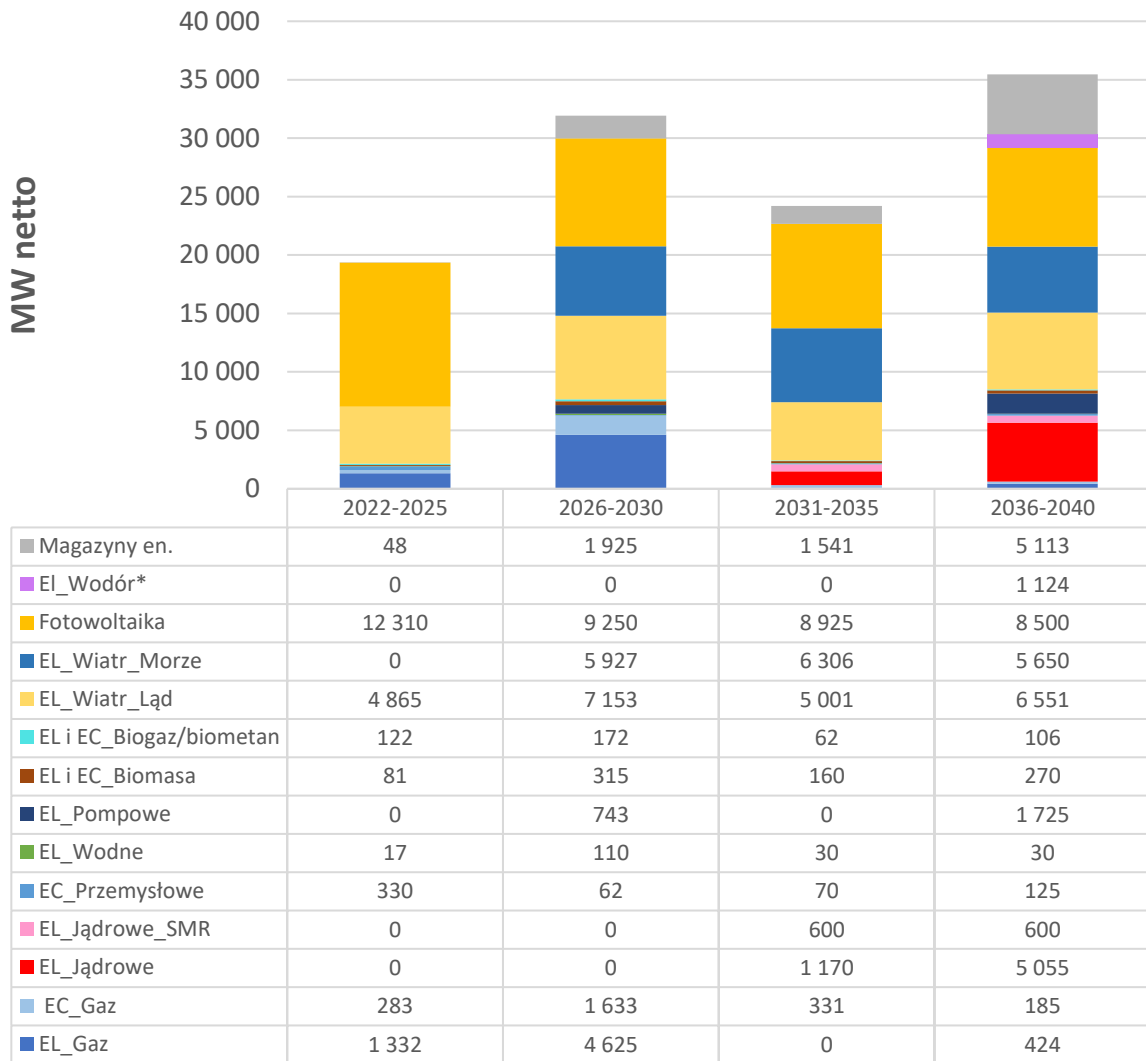
Wodór

Zgodnie z Polską Strategią Wodorową do roku 2030 z perspektywą do 2040 r. przyjęto, że w 2030 r. moc zainstalowana elektrolizerów może wynieść 2 GW, a ich wykorzystanie może być na poziomie ok. 5 300 h/rok, tj. 61% godzin w roku. Oceniono, że w 2040 r. moc zainstalowana może ulec podwojeniu. Przy tych założeniach możliwa jest produkcja ok. 420 tys. t wodoru w 2040 r. Dalsze działania mające na celu rozwój rynku wodoru, potrzeba realizacji celów wynikających z regulacji unijnych w zakresie wykorzystania wodoru w poszczególnych sektorach gospodarki oraz potencjał wykorzystania wodoru w celach magazynowania energii będą prowadziły do rozbudowy sieci przesyłowych i wzrostu efektywności wykorzystania tych mocy, w szczególności przez współpracę elektrolizerów ze źródłami OZE.

2.13.1.3. Nowe moce wytwórcze zdeterminowane

Na rysunku (Rysunek 2.5) zilustrowano harmonogram uruchomienia nowych mocy w okresie 2022-2040. Przy określeniu przyszłego miksu energetycznego jako jednostki zdeterminowane w analizie przyjęto:

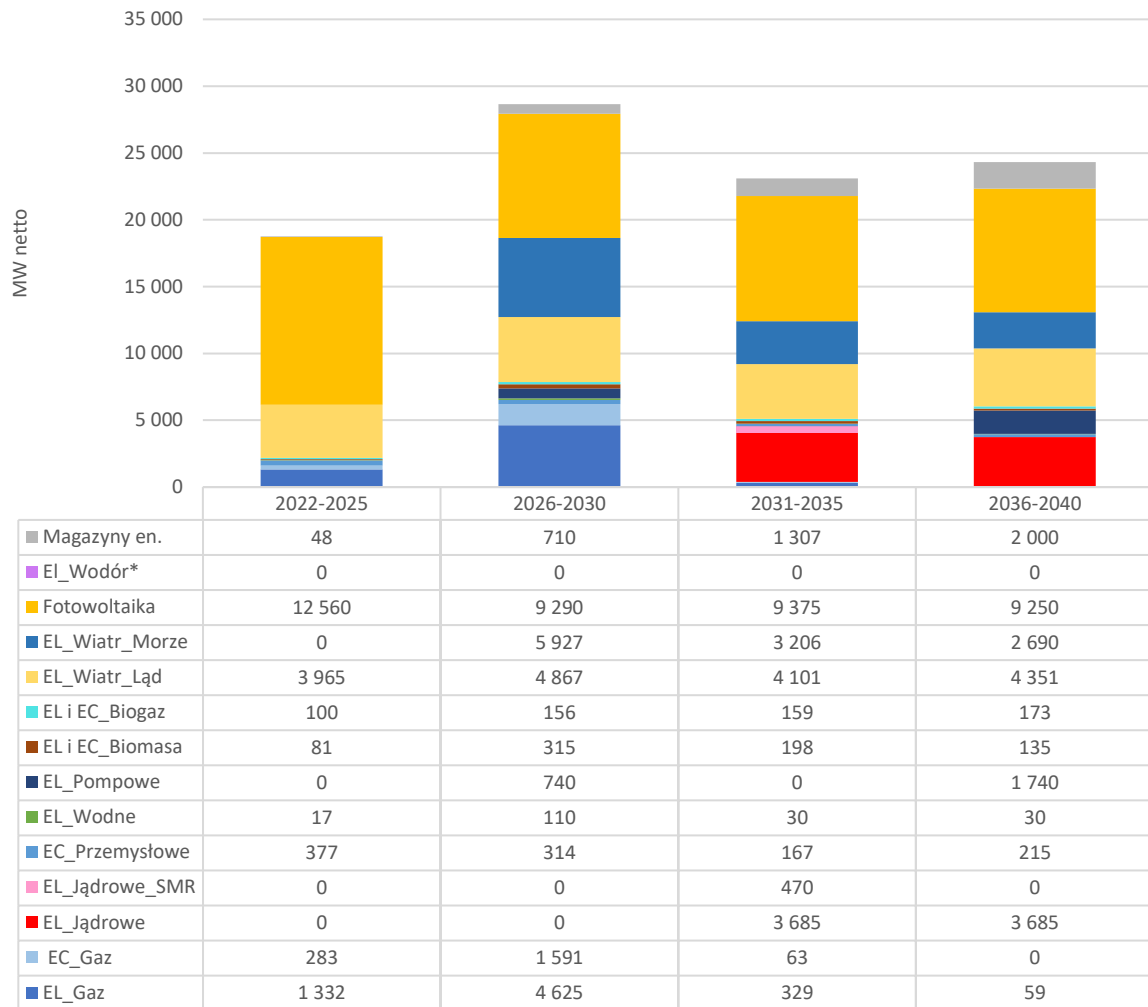
- bloki gazowe będące w budowie, jak również wynikające z zakontraktowanych aukcji rynku mocy i wskazywane w planach inwestycyjnych podmiotów wytwórczych: elektrownie - Dolna Odra 2x670 MW (2024 r.), Ostrołęka 745 MW (2026 r.), Grudziądz 610 MW (2026 r.), Adamów 585 MW (2027 r.), Rybnik 860 MW (2027 r.), Połaniec 180 MW (2027 r.), Kozienice 3 X 624 MW (2027, 2030, 2030) oraz elektrociepłownie - Oświęcim 113 MW (2024 r.), Czechnica 180 MW (2024 r.), Zgierz 13 MW (2025 r.), Gdynia 170 MW (2026 r.), Bydgoszcz 52 MW (2026 r.), Poznań 200 MW (2026 r.), Łódź 240 MW (2027 r.), Siekierki 535 MW (2029 r.);
- W scenariuszu WAM bloki jądrowe, 3 x 1170 MW netto w 2035, 2036 i 2037 r., 3 x 1370 MW netto w latach 2039, 2041 i 2043 r. oraz 2 bloki koreańskie APR-1400 r. (1345 MW netto) w latach 2039 i 2041 r. Ponadto przyjęto, że w tym okresie powstaną również małe reaktory modułowe o mocy 600 MW w latach 2030-2035, 1200 MW w latach 2036-2040 – pozostałe są wynikiem optymalizacji kosztowej w modelu MESSAGE;
- dobór pozostałych nowych bloków energetycznych został określony w wyniku procesu optymalizacji przeprowadzonej w modelu MESSAGE;
- dla OZE brano pod uwagę dotychczasowe oraz zapowiadane aukcje na zakup energii elektrycznej z OZE, złagodzenie reguły odległościowej dla elektrowni wiatrowych na lądzie oraz realizację założeń ustawy z dnia 17 grudnia 2020 r. o promowaniu wytwarzania energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych. W prognozie uwzględniono 5,9 GW mocy elektrowni wiatrowych na morzu w 2030 r., przy czym pełna produkcja pierwszych jednostek nastąpi w 2027 r.;
- w scenariuszu WAM w zakresie jednostek DSR przyjęto, że dostępny wolumen mocy będzie wynosił do 2000 MW w 2025 r., do 3000 MW w 2030 r. oraz do 4000 MW w 2040 r. Natomiast w scenariuszu WEM w zakresie jednostek DSR przyjęto, że dostępny wolumen mocy będzie wynosił 1000 MW w 2025 r., 1650 MW w 2030 r. oraz 2500 MW w 2040 r. Dla obu scenariuszy przyjęto, że zastosowanie mechanizmów zarządzania popytem występuje tylko w okresach krytycznego obciążenia systemu elektroenergetycznego.



Rysunek 2.5. Harmonogram uruchomień jednostek wytwórczych w scenariuszu WAM w latach 2022-2040

* Turbiny szczytowe oraz jednostki gazowo-parowe spalające tylko wodór

Źródło: Opracowanie własne ARE S.A. na zlecenie MKiŚ



Rysunek 2.6. Harmonogram uruchomień jednostek wytwórczych w scenariuszu WEM w latach 2022-2040

* Turbiny szczytowe oraz jednostki gazowo-parowe spalające tylko wodór

Źródło: Opracowanie własne ARE S.A. na zlecenie MKiŚ

W tabelach (Tabela 2.21, Tabela 2.22) zestawiono prognozowane skumulowane wielkości uruchomień nowych jednostek wytwórczych. Zgodnie z przedstawionymi danymi, w okresie 2022-2040 zostanie uruchomionych ponad 111 GW nowych mocy wytwórczych w scenariuszu WAM, a w scenariuszu WEM ok. 95 GW - głównie OZE (el. wiatrowe na lądzie i morzu oraz instalacje fotowoltaiczne), jednostki gazowe, głównie dla zapewnienia wystarczalności mocy i biorąc pod uwagę możliwość spalania wodoru w tych jednostkach), bloki jądrowe oraz akumulatory/magazyny en. elektrycznej.

Tabela 2.21. Skumulowane uruchomienia mocy dla scenariusza WAM w latach 2022-2040 [MW_{netto}]

Rok	2022-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2022-2040
Skumulowane uruchomienia mocy wytwórczych	19 475	31 915	24 196	35 458	111 044

Źródło: Opracowanie własne ARE S.A. na zlecenie MKiŚ

Tabela 2.22. Skumulowane uruchomienia mocy dla scenariusza WEM w latach 2022-2040 [MW_{netto}]

Rok	2022-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2022-2040
Skumulowane uruchomienia mocy wytwórczych	18 762	28 644	23 089	24 327	94 823

Źródło: Opracowanie własne ARE S.A. na zlecenie MKiŚ

2.13.1.4. Założenia dotyczące wymaganej rezerwy mocy w systemie elektroenergetycznym

Standard adekwatności zasobów przyjęty przez operatora KSE w Polsce dla planowania rocznego określa w IRiESP²² stopień rezerwy mocy na poziomie 18% średniej miesięcznej zapotrzebowania szczytowego na moc z dni roboczych. Ponadto założono, że w momencie wystąpienia obciążenia szczytowego sumaryczna moc dyspozycyjna elektrowni wiatrowych na lądzie wynosić będzie 12,5% ich mocy osiągalnej, natomiast elektrowni wiatrowych na morzu 15%.

2.13.1.5. Wymiana transgraniczna

Przyjęto, że elektroenergetyczny bilans importowy (import–eksport) jest zerowy. Nie oznacza to wykluczenia wymiany międzysystemowej, lecz założenie to ma na celu wykazanie, że przedstawiony bilans pozwala na pokrycie zapotrzebowania na energię elektryczną z wykorzystaniem własnych źródeł wytwórczych. Polska nie odpowiada za dostępność energii z innych państw, dlatego analizy nie mogą opierać bezpieczeństwa dostaw energii na potencjalnym imporcie. Powyższe założenie adresuje również cele wskazane do Założeń do aktualizacji Polityki energetycznej Polski do 2040 r. (PEP2040) – Wzmocnienie bezpieczeństwa i niezależności energetycznej (przyjętych przez RM w 2022 r.) w odniesieniu do kwestii budowania niezależności energetycznej.

2.13.1.6. Elektroenergetyczne sieci przesyłowe i dystrybucyjne

Proces transformacji wymaga dostosowania sieci do funkcjonowania zdywersyfikowanego miksu energetycznego, zapewniając wysoką elastyczność pracy KSE, dwukierunkowy przesył energii, zdolność obsługi zarówno wielkoskalowych jak i rozproszonych źródeł wytwarzania oraz nowoczesne cyfrowe usługi dla odbiorców końcowych energii elektrycznej (w tym z wykorzystaniem inteligentnego opomiarowania). Ponadto sieci muszą utrzymywać odpowiedni poziom bezpieczeństwa w domenie operacyjnej, fizycznej oraz cyber, dostosowany do aktualnych zagrożeń. Sprostanie nowym wyzwaniom wymusza konieczność rozbudowy, unowocześnienia i modernizacji infrastruktury sieciowej, co wiąże się z koniecznością przeprowadzenia wieloletniego i wielokierunkowego procesu inwestycji o znacznej skali.

Planowany rozwój sieci oraz harmonogramy oddawania do użytkowania jej nowych elementów muszą uwzględniać główne czynniki, które będą wyznaczać tempo transformacji sieci przesyłowych i dystrybucyjnych:

1. Dynamiczny rozwój nowych mocy, w tym zeroemisyjnych w elektroenergetyce,
2. Elektryfikacja transportu,
3. Elektryfikacja ciepłownictwa oraz
4. Zmiana kierunków przepływów sieciowych – w sieci przesyłowej dominujący przepływ z północy na południe (w związku z budową nowych mocy na północy kraju), a w sieci dystrybucyjnej coraz większy przepływ energii elektrycznej od prosumenta do sieci.

²² Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej

2.13.1.7. Założenia dotyczące rozwoju elektromobilności i pomp ciepła

Do scenariusza WAM przyjęto rozwój elektromobilności w Polsce w wariacie, zgodnie z którym w 2030 r. przewidywane jest ok. 0,9 mln samochodów osobowych elektrycznych, natomiast w 2040 r. – 4,3 mln. Na podstawie szacunków Ministerstwa Klimatu i Środowiska (MKiŚ) liczba elektrycznych autobusów komunikacji miejskiej może wynieść ok. 4,7 tys. w 2030 r. i ok. 11,7 tys. w 2040 r. W scenariuszu WAM pojawiają się również samochody osobowe na wodór. W 2030 liczba pojazdów napędzana tym paliwem wynosi ok. 25 tys. szt., w tym 1,4 tys. autobusów (komunikacji miejskiej i pozamiejskiej) oraz 8,7 tys. ciężarówek i aut dostawczych. W 2040 r. całkowita liczba pojazdów na wodór może wynosić ok. 254 tys. szt., w tym: 20 tys. autobusów. Wartości przyjęte do analiz nie mają charakteru celów w obszarze elektromobilności, niemniej zakłada się, że rozwój pojazdów elektrycznych będzie „motorem” dekarbonizacji sektora transportu. Uwzględnienie bardzo ambitnego scenariusza ma m.in. na celu redukcję ryzyka niedoszacowania potrzeb związanych z elektryfikacją gospodarki.

Tabela 2.23. Przyjęta liczba pojazdów elektrycznych dal scenariusza WAM* [tys. szt.]

Rok	2025	2030	2035	2040
Samochody osobowe elektryczne	243	886	2 068	4 330
Samochody ciężarowe elektryczne	15,7	67,9	228,9	380,5
Autobusy elektryczne	1,7	4,7	8,2	11,7
Samochody osobowe wodorowe	5,1	14,6	28,0	52,0
Samochody ciężarowe wodorowe	0,8	8,7	43,0	182,3
Autobusy wodorowe	0,2	1,4	5,8	19,9

* Wartości przyjęte do analiz nie mają charakteru celów w obszarze elektromobilności.

Źródło: Szacunki MKiŚ i ARE S.A.; szacunki dla samochodów osobowych na podstawie: Polish EV Outlook 2020, Polskie Stowarzyszenie Paliw Alternatywnych (PSPA).

Tabela 2.24. Przyjęta liczba pojazdów elektrycznych dal scenariusza WEM* [tys. szt.]

Rok	2025	2030	2035	2040
Samochody osobowe elektryczne	243	870	1 726	3 013
Samochody osobowe wodorowe	3,9	14,6	28	52
Autobusy komunikacji miejskiej	1,87	3,37	6,87	10,37
Autobusy wodorowe komunikacji miejskiej	0,10	0,50	1,00	1,5

* Wartości przyjęte do analiz nie mają charakteru celów w obszarze elektromobilności.

W prognozach zapotrzebowania na energię uwzględniono rozwój różnych rodzajów pomp ciepła. Przyjęto, że w 2025 r. w budynkach mieszkalnych w Polsce będzie funkcjonować ok. 1 mln instalacji, a wartość ta ulegnie podwojeniu w 2030 r. Natomiast w 2040 r. łączna liczba może wynosić ponad 5,5 mln, w większości typu powietrze-woda. Wartości przyjęte do analiz nie mają charakteru celów w obszarze rozwoju pomp ciepła.

3. Wizualizacja infrastruktury wytwórczej, składowania wodoru oraz potencjału OZE

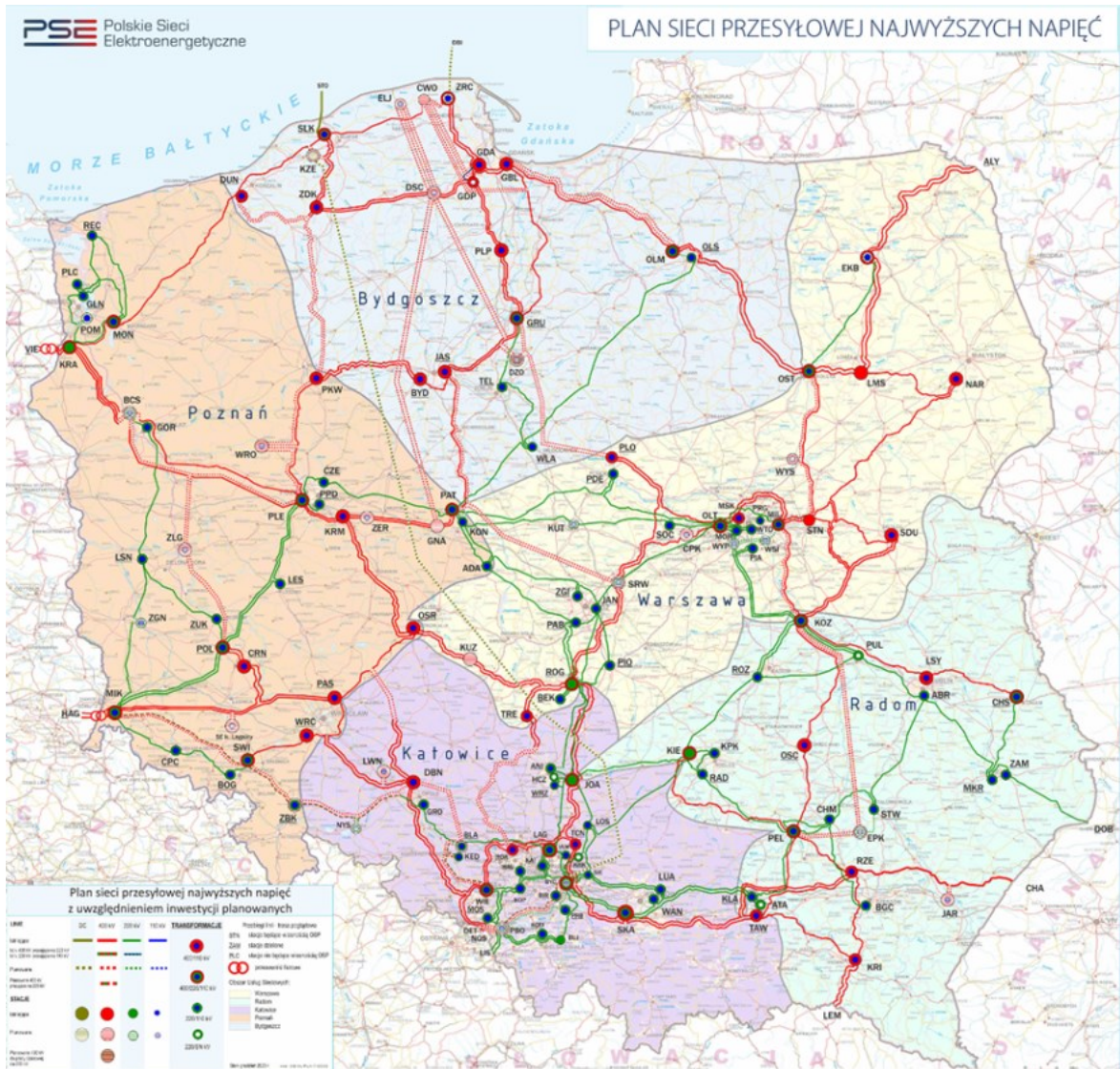
Rysunek 3.1. Mapa elektrowni i elektrociepłowni o statusie jednostek wytwórczych centralnie dysponowanych (JWCD) (wg stanu na 31.12.2022 r.)



Źródło: PSE SA.
Opracowanie: Agencja Rynku Energii S.A.

- 1 – Dolina Odra
- 2 – Dychów
- 3 – Żydów
- 4 – Karolin
- 5 – Zarnowiec
- 6 – Pątnów
- 7 – Opole
- 8 – Rybnik
- 9 – Łaziska 3
- 10 – Łagisza
- 11 – Włocławek
- 12 – Turów
- 13 – Jaworzno
- 14 – Bełchatów
- 15 – Siersza
- 16 – Płock
- 17 – Polaniec
- 18 – Zerań
- 19 – Kozienice
- 20 – Stalowa Wola
- 21 – Ostrołęka B
- 22 – Solina
- 23 – Porąbka Zar

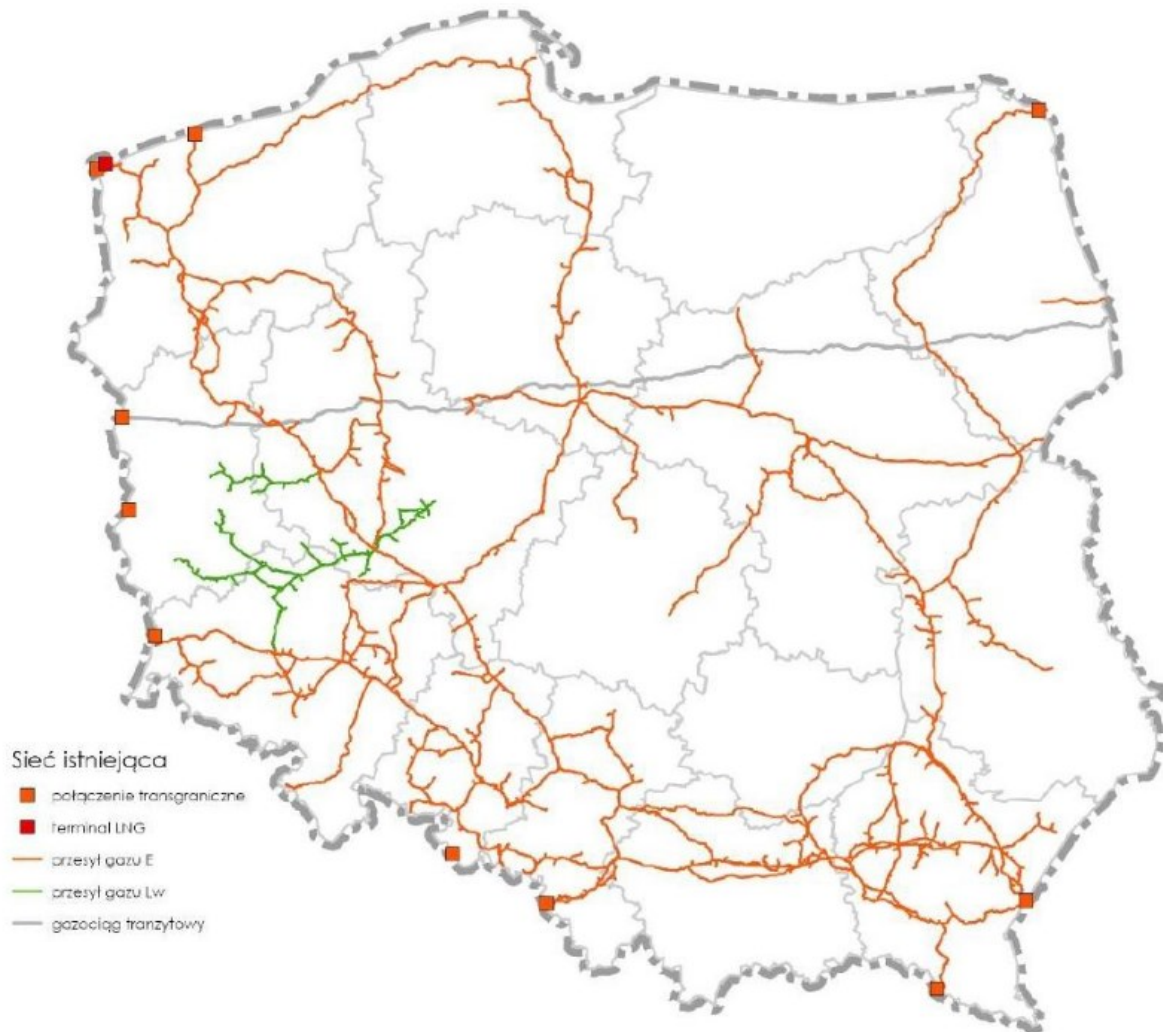
Rysunek 3.2. Schemat systemu przesyłowego z obszarami działania oddziałów operatora systemu przesyłowego energii elektrycznej (wg stanu na 31.12.2023 r.)



Źródło: PSE S.A.

Schemat może ulegać aktualizacji. Najbardziej aktualny schemat oraz w wyższej rozdzielczości znajduje się na stronie operatora systemu przesyłowego energii elektrycznej. – [link](#)

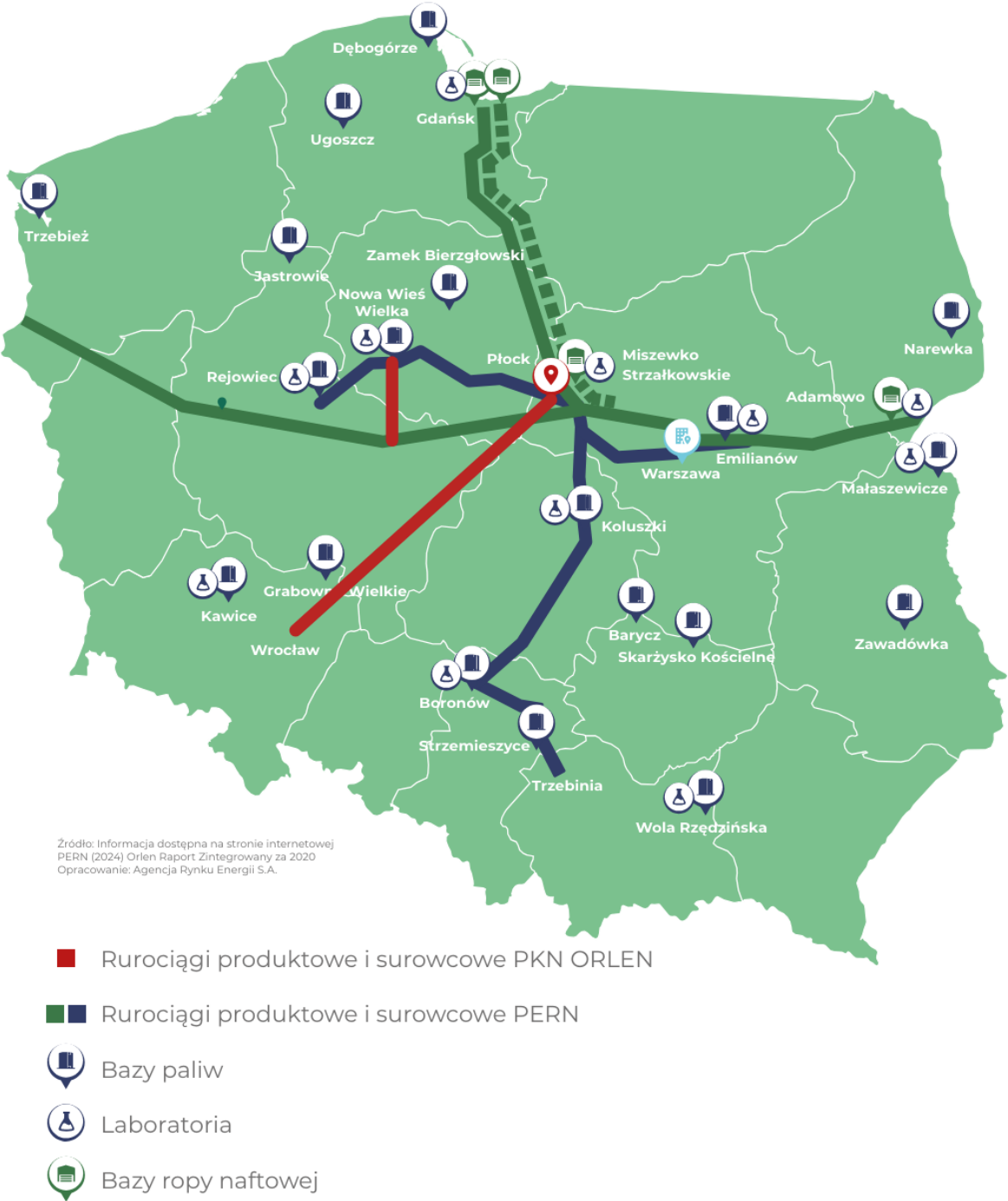
Rysunek 3.3. Schemat krajowego systemu przesyłowego gazu ziemnego



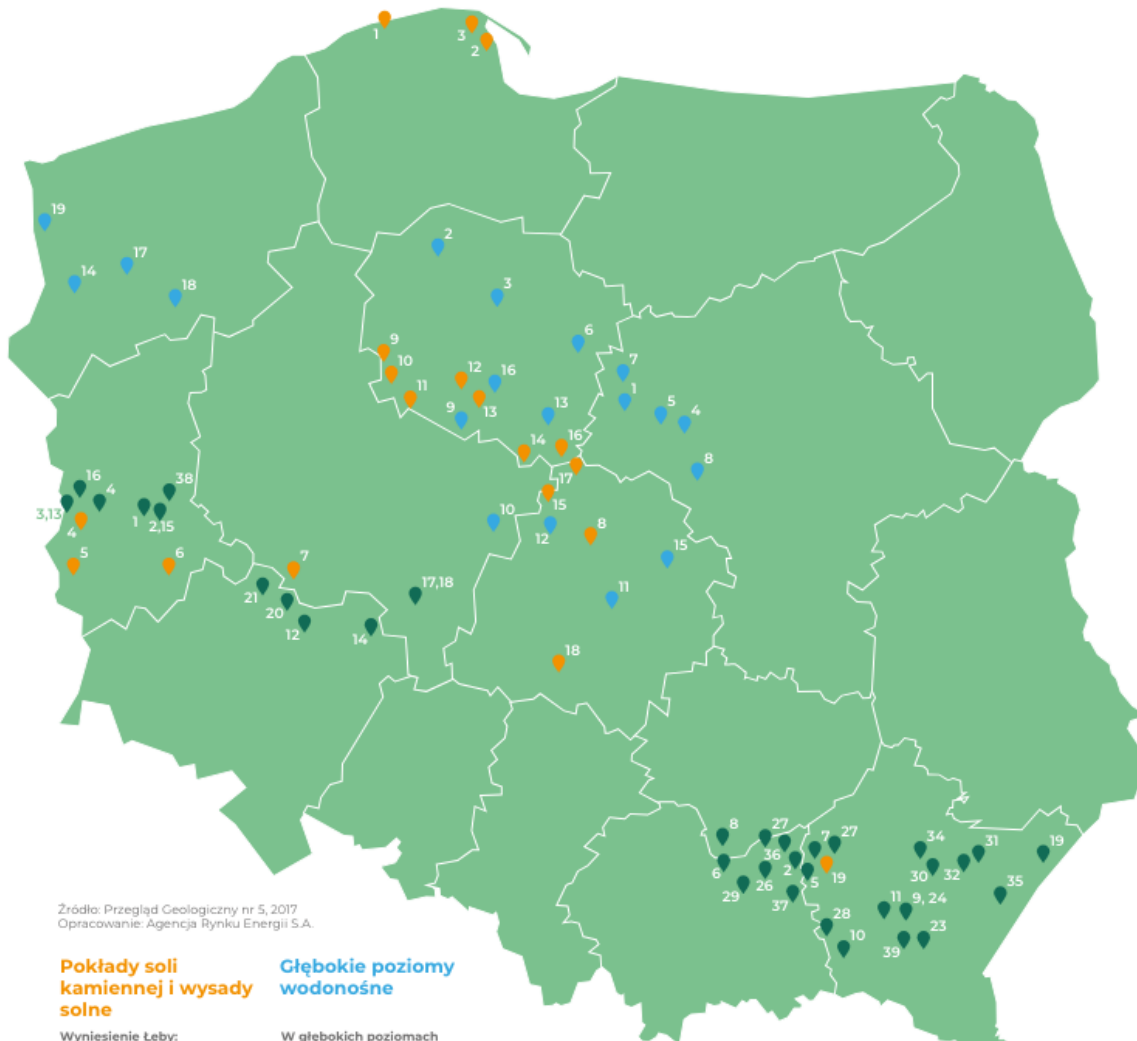
Źródło: GAZ SYSTEM S.A.

Schemat może ulegać aktualizacji. Najbardziej aktualny znajduje się w aktualnym krajowym planie rozwoju systemu gazowego na stronie operatora systemu przesyłowego gazu ziemnego – [link](#)

Rysunek 3.4.Schemat infrastruktury wytwórczej paliwowej



Rysunek 3.5. Mapa potencjalnych obszarów składowania wodoru



Źródło: Przegląd Geologiczny nr 5, 2017
Opracowanie: Agencja Rynku Energii S.A.

Pokłady soli kamiennej i wysady solne

Wyniesienie Leby:

- 1 – Leba
- 2 – Mechelinka
- 3 – złoża Zastoki Puckiej

Monoklina Przedsudecka:

- 4 – Gubin
- 5 – Nowa Rola
- 6 – Nowa sól
- 7 – Góra

Wysady solne:

- 8 – Rogoźno
- 9 – Wąpno
- 10 – Damasławek
- 11 – Mogilno
- 12 – Inowrocław
- 13 – Góra
- 14 – Izbica Kujawska
- 15 – Kłodawa
- 16 – Lubień
- 17 – Łanięta
- 18 – Dębina

Zapadlisko przedkarpackie:

- 19 – Wojnicz

Głębokie poziomy wodonośne

W głębokich poziomach wodonośnych Niżu

Polskiego:

- 1 – Bielsko-Bodzanów
- 2 – Bysław
- 3 – Chelmża
- 4 – Dzierżanów
- 5 – Kamionki
- 6 – Lipno
- 7 – Sierpc
- 8 – Sochaczew
- 9 – Strzelno
- 10 – Turek
- 11 – Tuszyn
- 12 – Wartkowice

Struktury w utworach

dolnej jury:

- 13 – Brześć Kujawski
- 14 – Chabowo
- 15 – Jeźów
- 16 – Konary
- 17 – Marianowo
- 18 – Suliszewo
- 19 – Trzebież

Szczerpane złoża węglowodorów

Złoża ropy naftowej:

- 1 – Kije
- 2 – Kije pfn-wsch
- 3 – Breslack-Kosarzyn
- 4 – Rybaki
- 5 – Brzeźówka
- 6 – Grobla
- 7 – Jastrzębka Stara
- 8 – Pławowice
- 9 – Wola Jasieniecka
- 10 – Mrukowa
- 11 – Węglówka

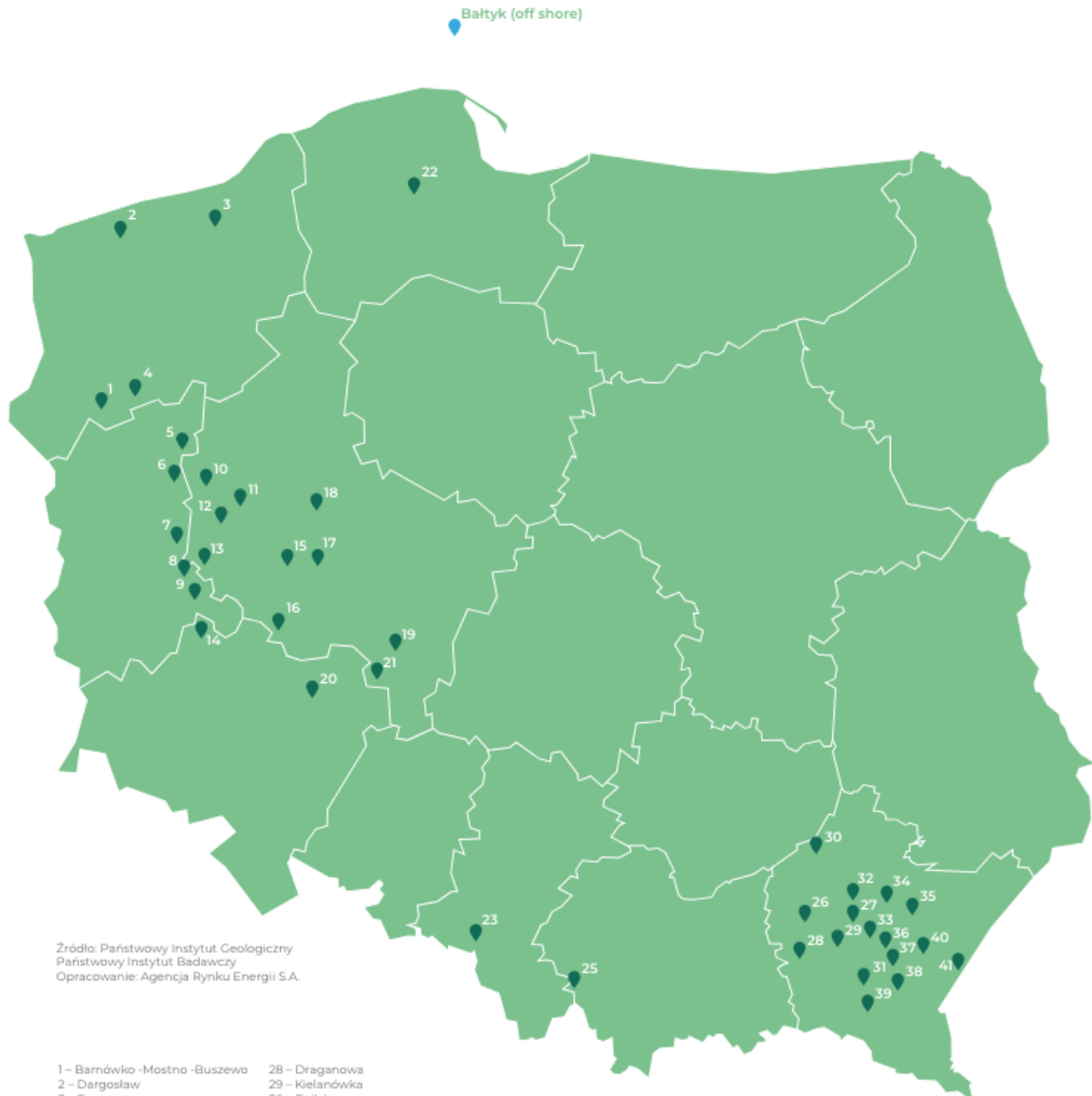
Złoża gazu ziemnego:

- 12 – Borzęcin
- 13 – Breslack-Kosarzyn
- 14 – Brzostowo
- 15 – Kije pfn-wsch
- 16 – Kosarzyn pfn

- 17 – Wiewierz zach
- 18 – Wiewierz wsch
- 19 – Wysocko
- 20 – Załęcze
- 21 – Zuchlów
- 22 – Gorlice-Glink
- 23 – Sanok-Zabłocie
- 24 – Wola Jasienicka
- 25 – Brzezowiec
- 26 – Brzeźnica
- 27 – Czarna Sędziszowska
- 28 – Dąbnowka
- 29 – Grądy Bocheńskie
- 30 – Husów-Albigowa-Krasne
- 31 – Jarosław
- 32 – Kańczuga
- 33 – Lubaczów
- 34 – Mirocin
- 35 – Przemyśl

- 36 – Swarzędz
- 37 – Tarnów
- 38 – Uszkowice
- 39 – Wygoda

Rysunek 3.6. Mapa największych udokumentowanych złóż gazu ziemnego (wg stanu na 31.12.2022 r.)



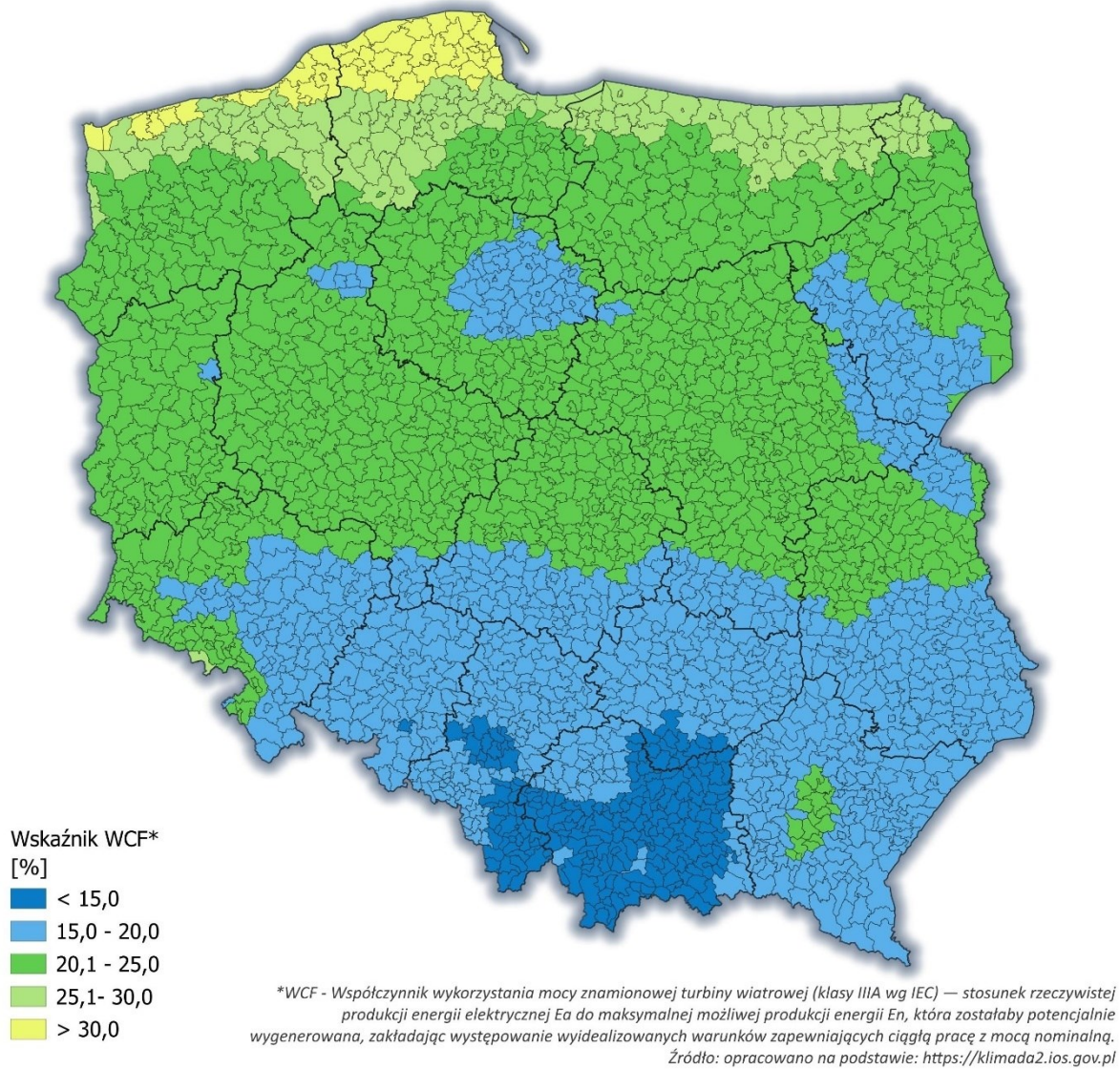
Źródło: Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy
Opracowanie: Agencja Rynku Energii S.A.

- | | |
|-------------------------------|---------------------|
| 1 – Barnówko -Mostno -Buszewo | 28 – Draganowa |
| 2 – Dargosław | 29 – Kielanówka |
| 3 – Daszewo | 30 – Dzików |
| 4 – Różańsko | 31 – Husów |
| 5 – Grotów | 32 – Jasionka |
| 6 – Krobielewko | 33 – Strachocina |
| 7 – Babimost | 34 – Cierpisz |
| 8 – Kargowa | 35 – Miocin |
| 9 – Lubiatów | 36 – Kramarzówka |
| 10 – Międzychód | 37 – Jarosław |
| 11 – Priewy | 38 – Pruchnik |
| 12 – Paproć | 39 – Sanok Zabłotce |
| 13 – Zbaszyń | 40 – Jodłówka |
| 14 – Grochowice | 41 – Przemyśl |
| 15 – Brońsko | |
| 16 – Zależce | |
| 17 – Kościan | |
| 18 – Rokietnica | |
| 19 – Tarchały | |
| 20 – Wierzchowice | |
| 21 – Bogdaj | |
| 22 – Zakowo | |
| 23 – Radlin | |
| 24 - Bałtyk (off shore) | |
| 25 - Łachowice-Stryszawa | |
| 26 – Jaszczew | |
| 27 – Zalesie | |

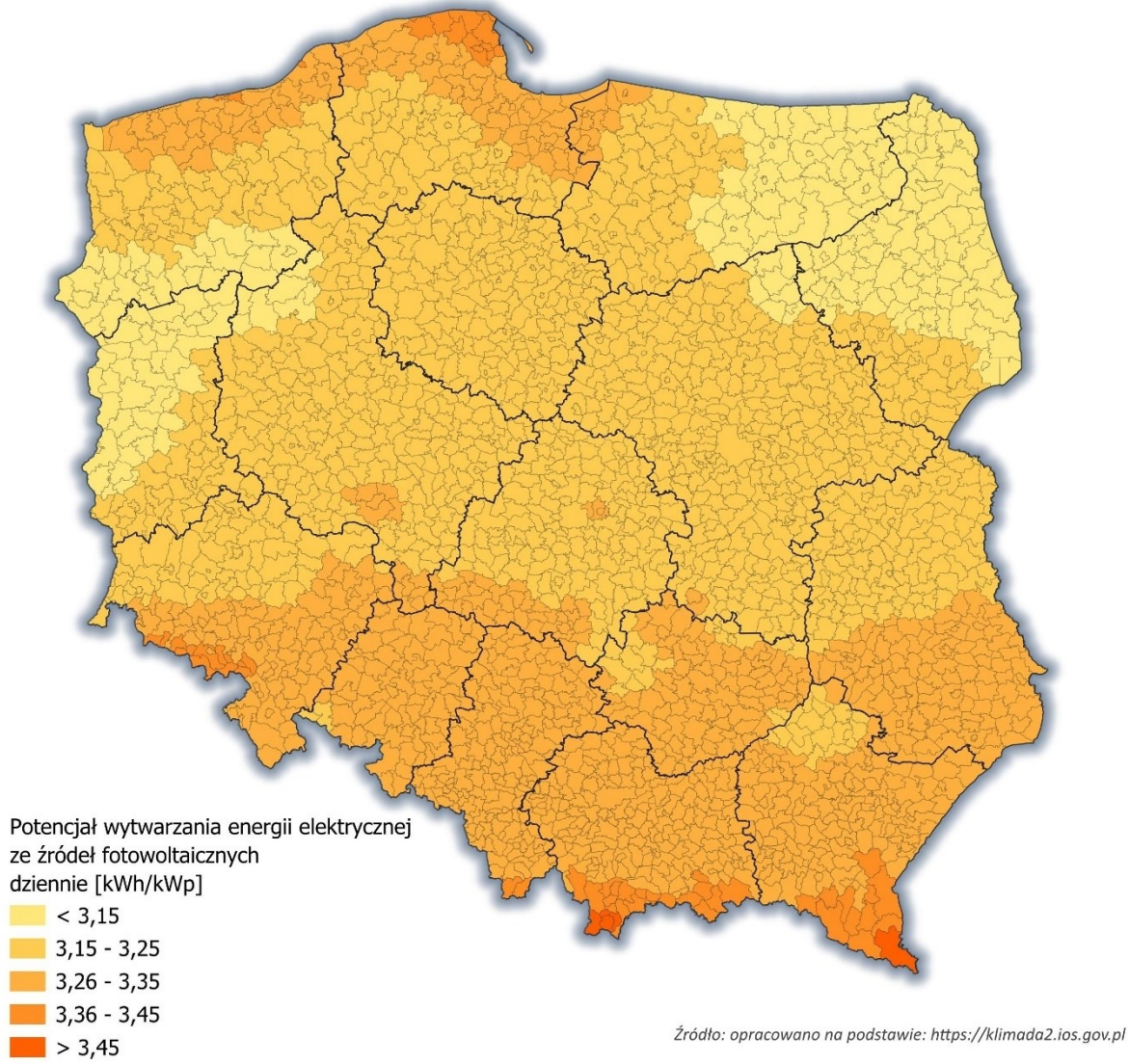
Rysunek 3.7. Mapa największych udokumentowanych złóż ropy naftowej (wg stanu na 31.12.2022 r.)



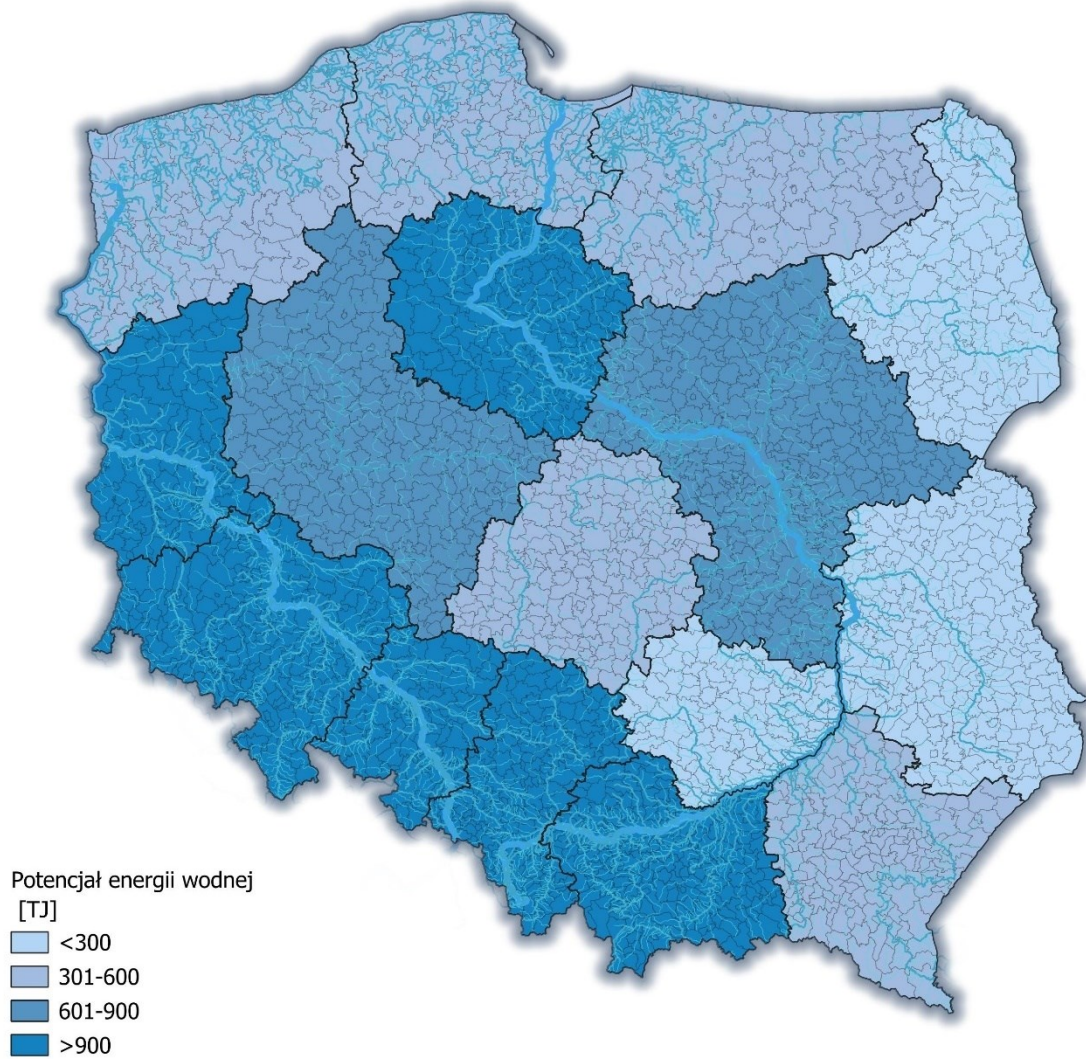
Rysunek 3.8. Mapa potencjału energii wiatrowej



Rysunek 3.9. Mapa potencjału wytwarzania energii elektrycznej ze źródeł fotowoltaicznych

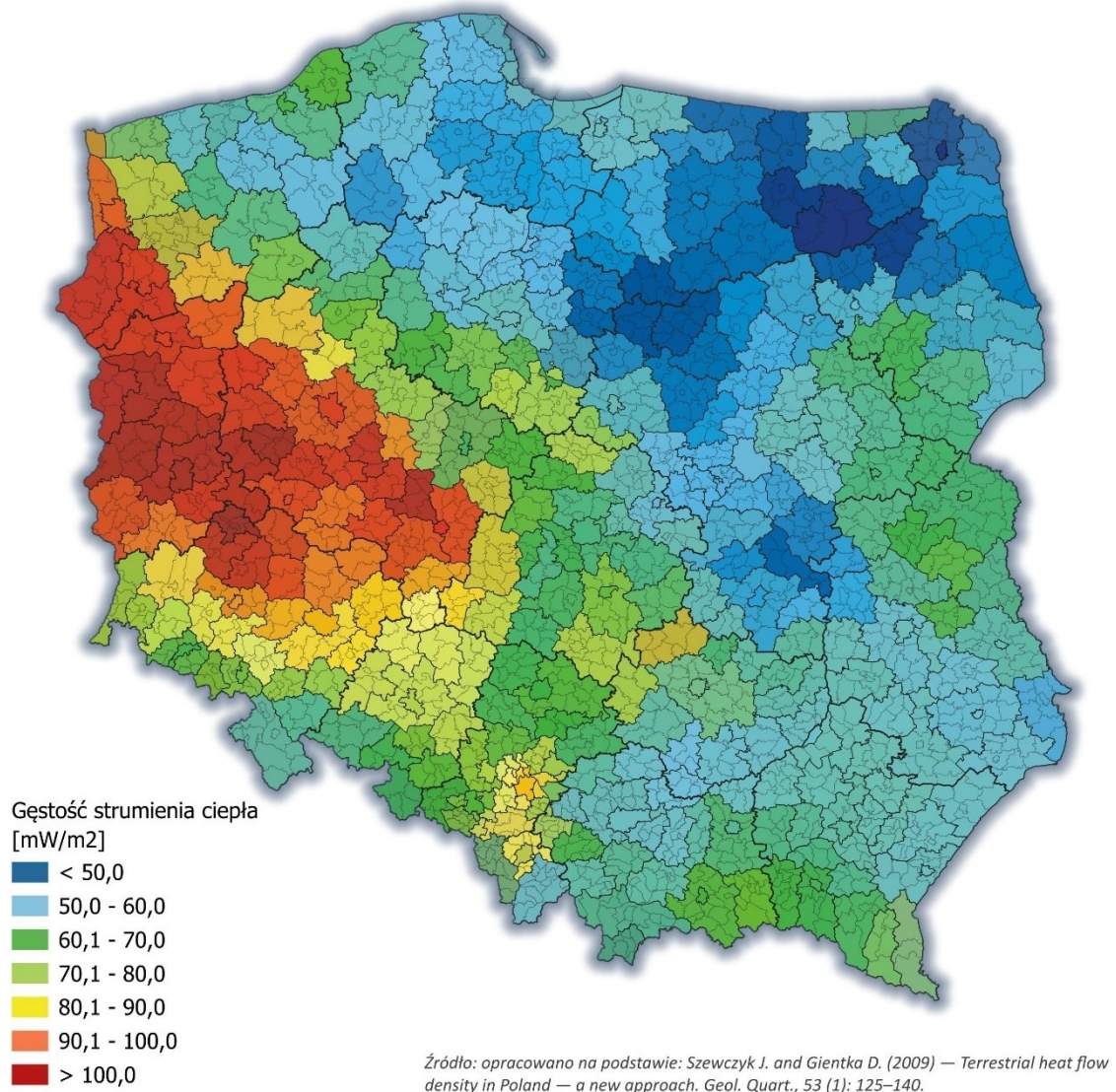


Rysunek 3.10. Mapa potencjału energii wodnej

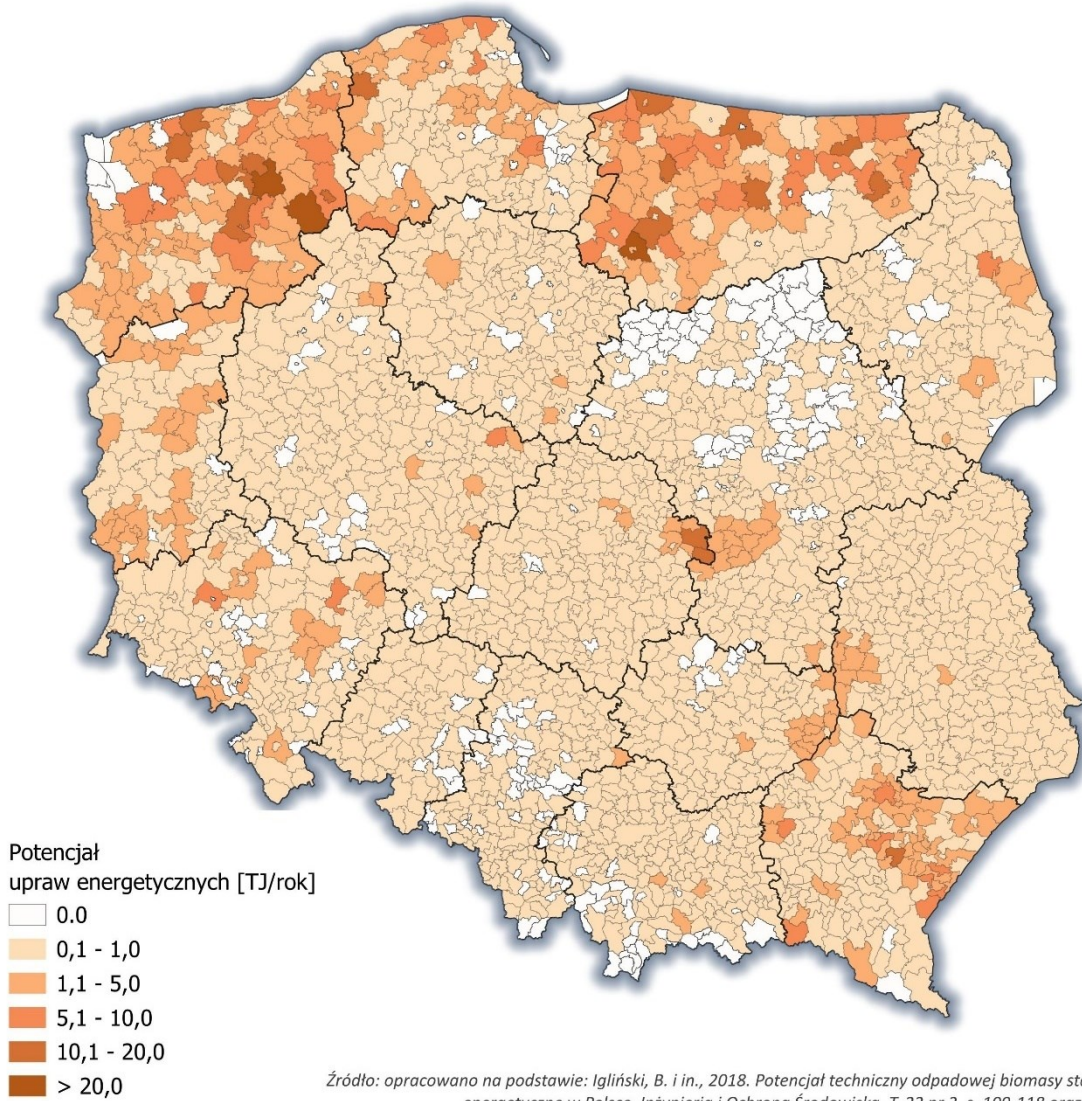


Źródło: opracowano na podstawie: Igliński B., *Hydro energy in Poland: the history, current state, potential, SWOT analysis, environmental aspects, 2019*

Rysunek 3.11. Mapa potencjału energii geotermalnej

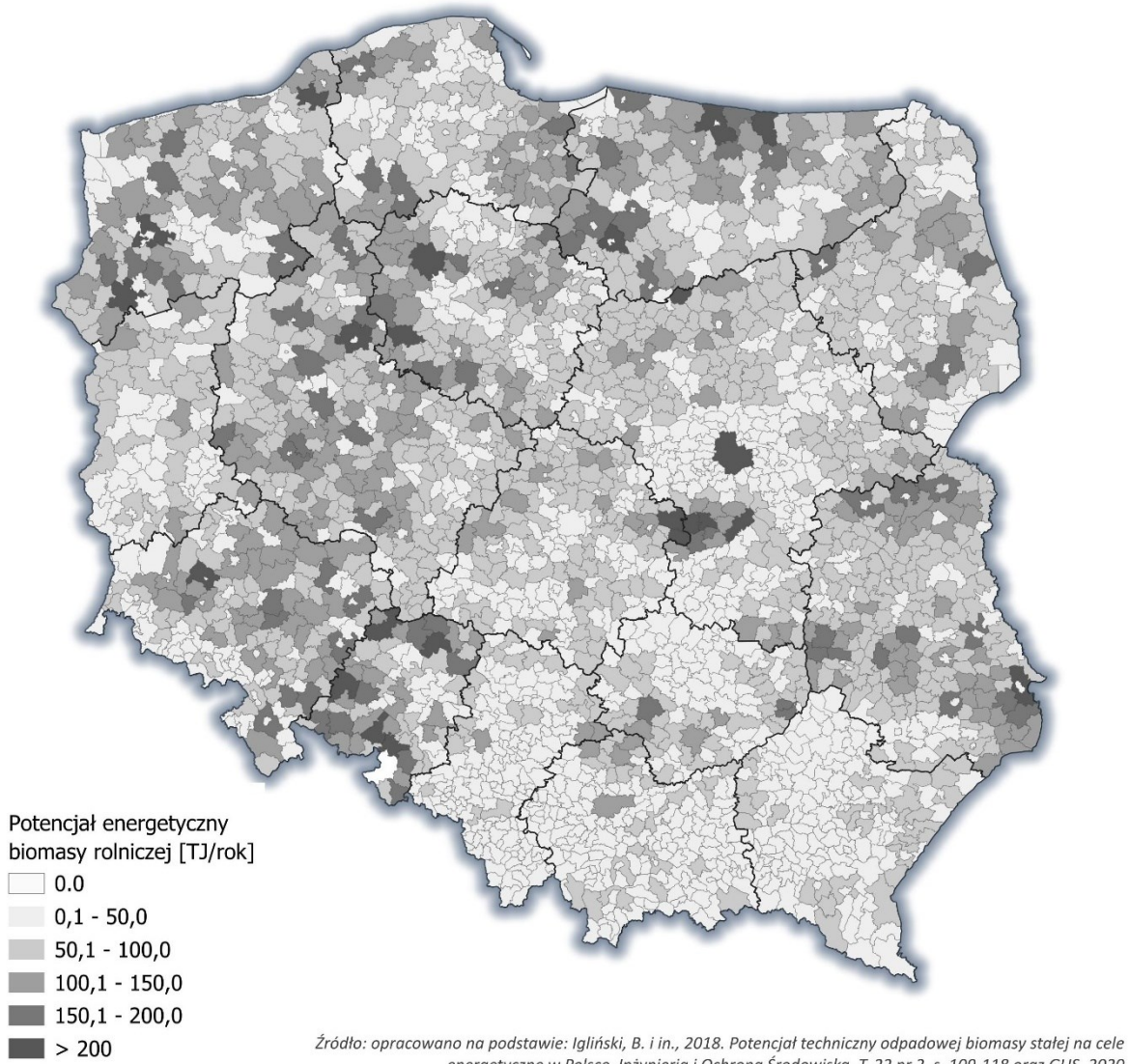


Rysunek 3.12. Mapa potencjału upraw energetycznych

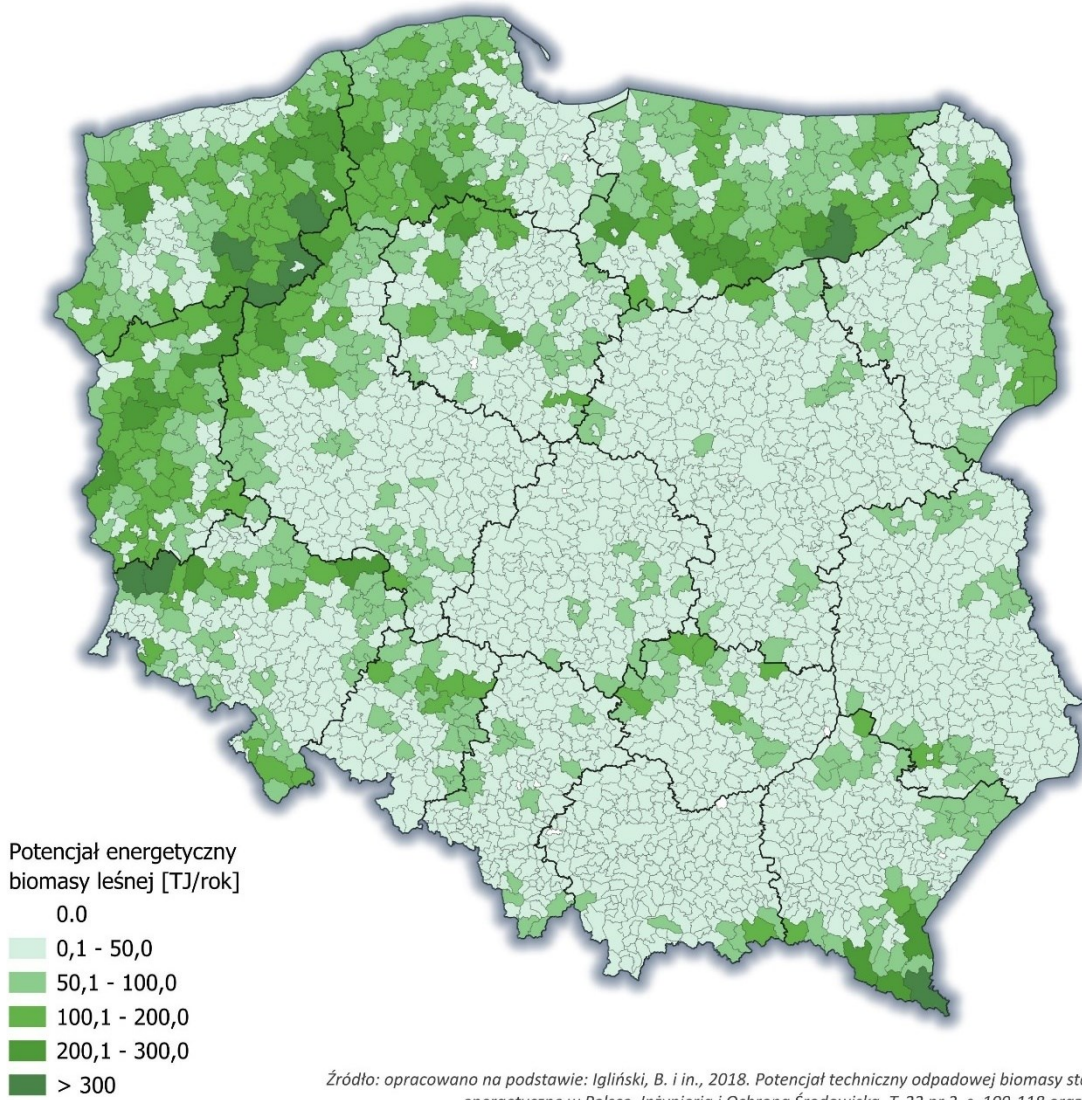


Źródło: opracowano na podstawie: Igliński, B. i in., 2018. Potencjał techniczny odpadowej biomasy stałej na cele energetyczne w Polsce. Inżynieria i Ochrona Środowiska, T. 22 nr 2, s. 109-118 oraz GUS, 2020

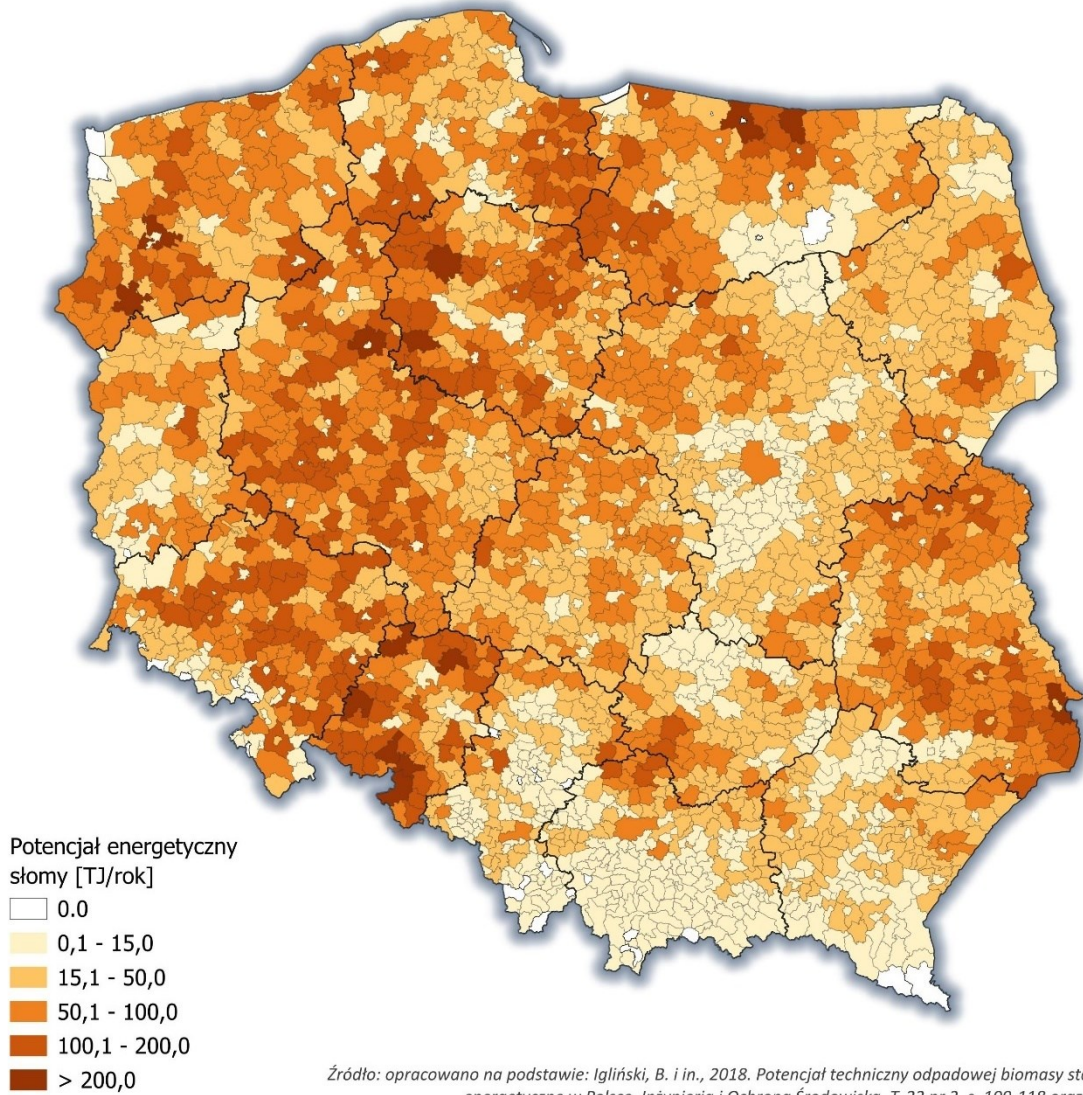
Rysunek 3.13. Mapa potencjału energetycznego biomasy rolniczej



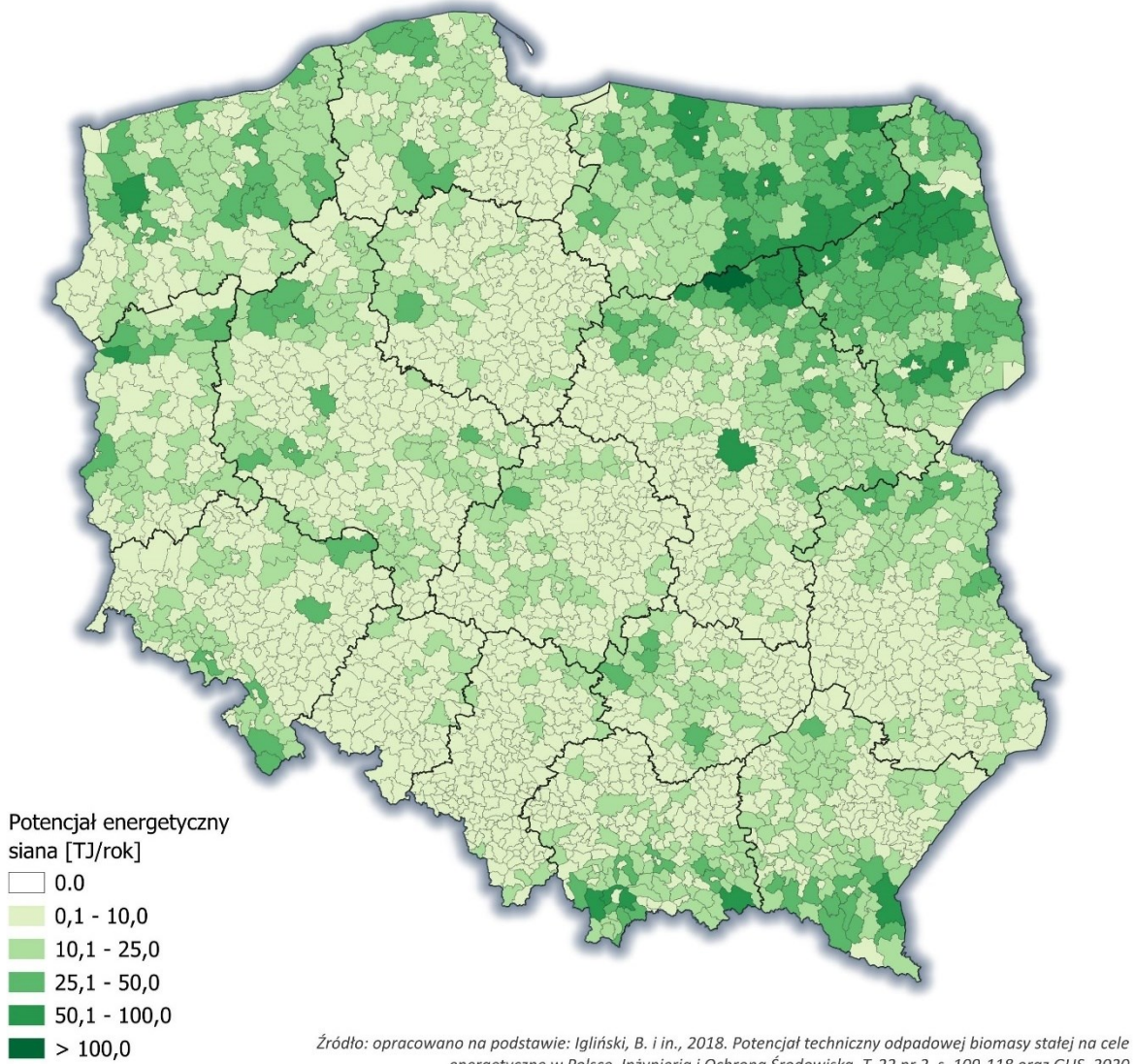
Rysunek 3.14. Mapa potencjału energetycznego biomasy leśnej



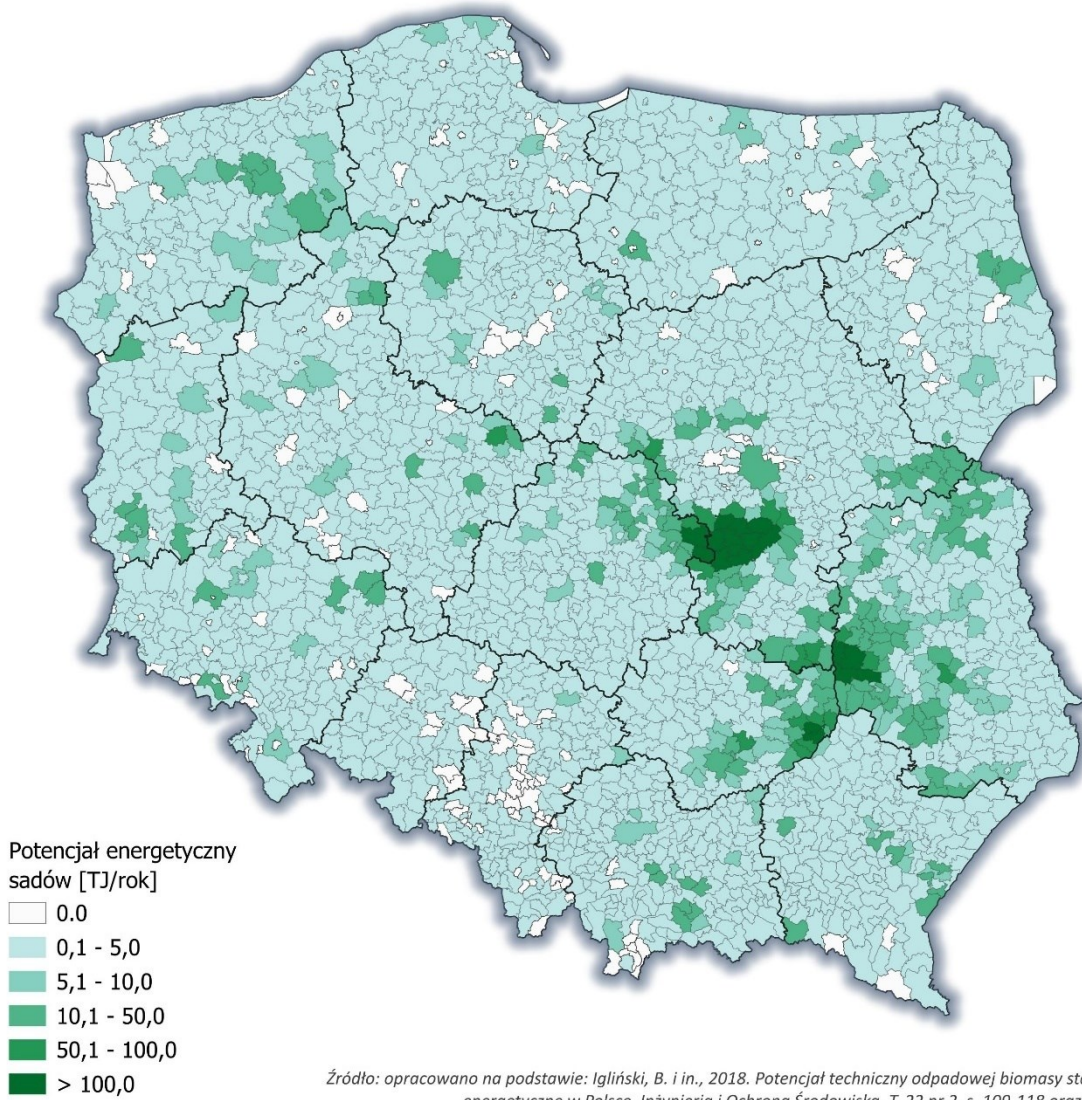
Rysunek 3.15. Mapa potencjału energetycznego słomy



Rysunek 3.16. Mapa potencjału energetycznego siana



Rysunek 3.17. Mapa potencjału energetycznego sadów



Źródło: opracowano na podstawie: Igliński, B. i in., 2018. Potencjał techniczny odpadowej biomasy stałej na cele energetyczne w Polsce. Inżynieria i Ochrona Środowiska, T. 22 nr 2, s. 109-118 oraz GUS, 2020

Definicje

Ciepło sieciowe	- energia cieplna w wodzie gorącej, parze lub innych nośnikach przeznaczona na sprzedaż i dostarczana do odbiorców za pomocą sieci ciepłowniczych.
DSR ang. <i>Demand Side Response</i>	- usługa polegająca na ograniczeniu poboru energii elektrycznej lub przesunięcia go w czasie przez odbiorcę końcowego, w odpowiedzi na zmiany cen energii elektrycznej lub na polecenie operatora systemu przesyłowego.
Efektywność energetyczna	- stosunek uzyskanych wyników, usług, towarów lub energii do wkładu energii.
Elektrociepłownie zawodowe	- przedsiębiorstwa lub wydzielone terytorialnie i organizacyjnie części przedsiębiorstw, których działalnością przeważającą jest wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła w kogeneracji.
Elektrociepłownie przemysłowe	- elektrociepłownie wytwarzające energię elektryczną oraz energię cieplną w postaci pary technologicznej i/lub gorącej wody dla potrzeb zakładów przemysłowych, do których należą.
Elektrochłonność PKB	- stosunek zużycia krajowej energii elektrycznej do Produktu Krajowego Brutto.
Energochłonność finalna PKB	- stosunek zużycia energii finalnej do Produktu Krajowego Brutto.
Energochłonność pierwotna PKB	- stosunek zużycia energii pierwotnej do Produktu Krajowego Brutto.
EUA ang. <i>European Union Allowance</i>	- podstawowa jednostka umożliwiająca rozliczenie emisji ekwiwalentu jednej tony CO ₂ do atmosfery.
Energochłonność PKB	- Relacja krajowego zużycia brutto energii do wartości produktu krajowego brutto w cenach stałych. Wskaźnik ten określa ilość energii zużytej do wytworzenia jednostki PKB.
Kogeneracja	- równoczesne wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej lub mechanicznej w trakcie tego samego procesu technologicznego.
Liczba stopniodni grzania	- iloczyn liczby dni ogrzewania i różnicy pomiędzy średnią temperaturą ogrzewanego pomieszczenia a średnią temperaturą zewnętrzną. Liczba stopniodni Sd w danym roku, obliczana jest wg metodologii Eurostatu.
Mała instalacja (OZE)	- instalacja odnawialnego źródła energii o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej większej niż 50 kW i nie większej niż 1 MW przyłączona do sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym niższym niż 110 kV albo o mocy osiągalnej cieplnej w skojarzeniu większej niż 150 kW i mniejszej niż 3 MW, w której łączna moc zainstalowana elektryczna jest większa niż 50 kW i nie większa niż 1 MW.
Mikroinstalacja (OZE)	- instalacja odnawialnego źródła energii o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej nie większej niż 50 kW, przyłączona do sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym niższym niż 110 kV lub o mocy osiągalnej cieplnej w skojarzeniu nie większej niż 150 kW.

Moc osiągalna elektryczna	- maksymalna trwała moc, z jaką elektrownia (elektrociepłownia) może pracować w sposób ciągły w czasie co najmniej 15 godzin, przy dobrym stanie urządzeń i w normalnych warunkach.
Moc osiągalna elektryczna elektrowni/elektrociepłowni	- maksymalna trwała moc, z jaką elektrownia/elektrociepłownia może pracować w sposób ciągły w czasie co najmniej 15 godzin, przy dobrym stanie urządzeń i w normalnych warunkach. Używa się dwóch pojęć mocy osiągalnej: moc osiągalna brutto i moc osiągalna netto.
MSR ang. <i>Market Stability Reserve</i>	- długoterminowy mechanizm mający na celu stabilizację rynku uprawnień do emisji gazów cieplarnianych.
Produkcja energii elektrycznej brutto	- ilość energii elektrycznej wyprodukowanej we wszystkich elektrowniach i elektrociepłowniach w ciągu rozpatrywanego czasu, obejmująca zużycie potrzeb własnych i straty w transformatorach elektrowni.
Produkcja energii elektrycznej netto	- ilość energii elektrycznej wyprodukowanej we wszystkich elektrowniach i elektrociepłowniach w ciągu rozpatrywanego czasu, nieuwzględniająca zużycia na potrzeby własne i strat energii w transformatorach wiążących z siecią (bez energii zużytej na pompowanie).
Prosument	- odbiorca końcowy wytwarzający energię elektryczną wyłącznie z odnawialnych źródeł energii na własne potrzeby w mikroinstalacji, pod warunkiem, że w przypadku odbiorcy końcowego niebędącego odbiorcą energii elektrycznej w gospodarstwie domowym, nie stanowi to przedmiotu przeważającej działalności gospodarczej
Rynek mocy	- mechanizm, który zakłada wynagradzanie za utrzymywanie w systemie pewnego poziomu dostępnej mocy za określoną w systemie aukcyjnym opłatą.
Świadectwo pochodzenia	- przysługuje wytwórcy energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii, którego instalacja rozpoczęła pracę przed 1 lipca 2016 r. Dokument potwierdza pochodzenie tej energii z OZE i jest wymienialny na tzw. certyfikat, który jako prawo majątkowe podlega obrotowi na Towarowej Giełdzie Energii.
Gwarancje pochodzenia	- dokument poświadczający odbiorcy końcowemu, że określona w tym dokumencie ilość energii została wytworzona z odnawialnych źródeł energii. Dotyczy energii elektrycznej, biometanu, ciepła lub chłodu, wodoru odnawialnego, biogazu i biogazu rolniczego.
Wymiana transgraniczna	- przesył mocy i energii za pomocą linii międzysystemowej, łączącej dwa lub więcej kraje, mierzony zazwyczaj po stronie eksportera i rozliczany według uzgodnionych porozumień i kontraktów międzynarodowych.
Wysokosprawna kogeneracja	- wytwarzanie energii elektrycznej lub mechanicznej i ciepła użytkowego w kogeneracji, które zapewnia oszczędność energii pierwotnej zużywanej w: <ul style="list-style-type: none"> a) jednostce kogeneracji w wysokości nie mniejszej niż 10% w porównaniu z wytwarzaniem energii elektrycznej i ciepła w układach rozdzielonych o referencyjnych wartościach sprawności dla wytwarzania rozdzielonego lub

b) jednostce kogeneracji o mocy zainstalowanej elektrycznej poniżej 1 MW w porównaniu z wytwarzaniem energii elektrycznej i ciepła w układach rozdzielonych o referencyjnych wartościach sprawności dla wytwarzania rozdzielonego.

Zapotrzebowanie finalne na energię elektryczną

- całkowite zapotrzebowanie systemu elektroenergetycznego, nieuwzględniające zużycia potrzeb własnych elektrowni i elektrociepłowni oraz strat przesyłu i dystrybucji.

Zapotrzebowanie brutto na energię elektryczną

- całkowite zapotrzebowanie systemu elektroenergetycznego, obejmujące zużycie potrzeb własnych elektrowni i elektrociepłowni oraz straty przesyłu i dystrybucji.

Zapotrzebowanie na energię elektryczną

- ilość energii elektrycznej, jaką odbiorca (odbiorcy) powinien otrzymać dla zaspokojenia swoich potrzeb.

Zapotrzebowanie na moc

- całkowite obciążenie systemu w rozpatrywanym przedziale czasu, np. w ciągu doby, tygodnia lub roku.

Zużycie nieenergetyczne

- zużycie energii jako surowiec technologiczny, w procesie produkcji niektórych wyrobów.

Wykaz skrótów

aKPEiK	- aktualizacja Krajowego planu na rzecz energii i klimatu na lata 2021–2030
BAT	- ang. <i>Best Available Technology</i> – najlepsza dostępna technologia
BREF	- ang. <i>Best Available Techniques Reference</i> – dokumenty referencyjne BAT
BŚ	- Bank Światowy
CCS	- ang. <i>Carbon Capture and Storage</i> – technologia wychwytu i składowania dwutlenku węgla
CO	- centralne ogrzewanie
COP	- ang. <i>Coefficient of Performance</i> – współczynnik efektywności pompy ciepła
CWU	- ciepła woda użytkowa
DSR	- ang. <i>Demand Side Response</i> – reakcja strony popytowej
EED	- ang. <i>Energy Efficiency Directive</i> – dyrektywa o efektywności energetycznej
ENPEP	- ang. <i>Energy and Power Evaluation Program</i> – pakiet programów do analiz rozwoju sektora energii
EUA	- ang. <i>European Union Allowance</i> – uprawnienia do emisji służące do rozliczania emisji w europejskim systemie handlu uprawnieniami do emisji. 1 EUA = 1 t. ekw. CO ₂
EU ETS	- ang. <i>European Union Emissions Trading System</i> – Europejski System Handlu Uprawnieniami do Emisji
EUROSTAT	- Europejski Urząd Statystyczny
FBC	- ang. <i>fluidized bed combustion</i> – jednostki z kotłami fluidalnymi
GCV	- ang. <i>gross calorific value</i> – ciepło spalania paliwa
GHG	- ang. <i>greenhouse gases</i> – gazy cieplarniane
GTCC	- ang. <i>gas turbine combined cycle</i> – kombinowane układy gazowo-parowe
GUS	- Główny Urząd Statystyczny
HVO	- ang. <i>hydrated vegetable oils</i> – uwodornione oleje roślinne
IED	- ang. <i>Industrial Emissions Directive</i> – dyrektywa w sprawie emisji przemysłowych
IGCC	- ang. <i>Integrated Gasification Combined Cycle</i> – zintegrowany układ zgazowania węgla
JWCD	- jednostka wytwórcza centralnie dysponowana
KE	- Komisja Europejska
KPEiK	- Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030
KSE	- Krajowy System Elektroenergetyczny
LCP	- ang. <i>Large Combustion Plants</i> – dyrektywa 2001/80/WE w sprawie ograniczenia emisji niektórych zanieczyszczeń do powietrza z dużych źródeł spalania paliw
LNG	- ang. <i>Liquefied Natural Gas</i> – skroplony gaz ziemny
LPG	- ang. <i>Liquefied Petroleum Gas</i> – skroplony gaz petrochemiczny
LULUCF	- ang. <i>Land Use, Land Use Change and Forestry</i> , użytkowanie gruntów, zmiana użytkowania gruntów i leśnictwo
MAE	- Międzynarodowa Agencja Energetyczna
MAED	- ang. <i>Model for Analysis of Energy Demand</i> – model do analizy zapotrzebowania na energię
ME	- minister właściwy ds. energii
MESSAGE	- ang. <i>Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impacts</i> – model alternatywnych strategii zaopatrzenia w energię i ich ogólne oddziaływanie na środowisko
MEW	- małe elektrownie wodne o mocy do 5 MW
MF	- minister właściwy ds. finansów publicznych
MSR	- ang. <i>Market Stability Reserve</i> - Mechanizm Rezerwy Stabilizacyjnej
nJWCD	- jednostki wytwórcze niebędące jednostkami wytwórczymi centralnie dysponowanymi

NBP	-	Narodowy Bank Polski
NCV	-	<i>ang. net calorific value</i> - wartość opałowa paliwa
NEC	-	<i>ang. National Emission Ceilings</i> – dyrektywa 2016/2284 w sprawie redukcji krajowych emisji niektórych rodzajów zanieczyszczeń atmosferycznych, zmiany dyrektywy 2003/35/WE oraz uchylecia dyrektywy 2001/81/WE
NFR	-	<i>ang. Nomenclature for Reporting</i> – format podziału źródeł emisji na kategorie stosowany w ramach konwencji CLRTAP
NMLZO	-	niemetanowe lotne związki organiczne
OOL	-	olej opałowy lekki
OSP	-	operator systemu przesyłowego
OZE	-	odnawialne źródła energii
PE	-	Parlament Europejski
PEP	-	Polityka energetyczna Polski
PIG	-	Państwowy Instytut Górniczy – Państwowy Instytut Badawczy
PKB	-	Produkt Krajowy Brutto
PKB/Ma	-	wskaźnik PKB na mieszkańca
pkm	-	pasażerokilometry
PPEJ	-	Program polskiej energetyki jądrowej, przyjęty przez RM w 2020 r.
PPP	-	<i>ang. Purchasing Power Parities</i> – parytet siły nabywczej
RE	-	Rada Europejska
RES	-	<i>ang. Renewable Energy Sources</i> – energia ze źródeł odnawialnych
RES-OS	-	udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto (denominator wskaźnika w skali kraju – Overall Share)
RES-E	-	udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w obszarze elektroenergetycznym (denominator wskaźnika sektorowego)
RES-H&C	-	udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w obszarze ciepłowniczo-chłodniczym (denominator wskaźnika sektorowego)
RES-T	-	udział energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w obszarze transportowym (denominator wskaźnika sektorowego)
RFNBO	-	wodór będący paliwem odnawialnym pochodzenia niebiologicznego w rozumieniu dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/2001 z dnia 11 grudnia 2018 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych (Dz.U. L 328 z 21.12.2018, s. 82, ze zm.) oraz rozporządzenia delegowanego Komisji (UE) 2023/1184 z dnia 10 lutego 2023 r. uzupełniającego dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/2001 przez ustanowienie unijnej metodyki określającej szczegółowe zasady produkcji odnawialnych ciekłych i gazowych paliw transportowych pochodzenia niebiologicznego (Dz.U. L 157 z 20.6.2023, str. 11)
SOR	-	Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do 2030 roku
STEAM-PL	-	<i>ang. Set of Tools for Energy Demand Analysis and Modelling</i> – model zapotrzebowania na paliwa i energię dla Polski
TG	-	turbiny gazowe
tkm	-	tonokilometry
WAM	-	<i>ang. with additional measures</i> – scenariusz z dodatkowymi politykami i środkami
WEM	-	<i>ang. with existing measures</i> – scenariusz wdrożonych polityk i środków

Spis tabel

Tabela 1.1. Struktura sektorowa modelu STEAM-PL	6
Tabela 1.2. Zastosowany w modelu STEAM-PL podział na kierunki użytkowania.....	7
Tabela 1.3. Siły sprawcze zmian zapotrzebowania w poszczególnych sektorach.....	7
Tabela 2.1. Liczba ludności [mln]	16
Tabela 2.2. Produkt Krajowy Brutto [mln EUR'2020]	16
Tabela 2.3. Dynamika wzrostu PKB w latach 2021–2040 (średniorocznie).....	16
Tabela 2.4. Sektorowa wartość dodana brutto [mln EUR'2020]	17
Tabela 2.5. Liczba gospodarstw domowych	18
Tabela 2.6. Liczba osób przypadających na jedno gospodarstwo domowe	18
Tabela 2.7. Projekcja dochodu rozporządzalnego gospodarstw domowych [EUR'2020].....	18
Tabela 2.8. Praca przewozowa transportu pasażerskiego [mld pskm].....	19
Tabela 2.9. Praca przewozowa transportu towarowego [mld tkm].....	20
Tabela 2.10. Ceny paliw w imporcie do UE [EUR'2020/GJ (NCV)].....	20
Tabela 2.11. Ceny uprawnień do emisji GHG w systemie EU ETS [EUR'2020/tCO ₂ eq].....	21
Tabela 2.12. Kursy wymiany walut	22
Tabela 2.13. Liczba stopniodni grzania HDD	22
Tabela 2.14. Liczba stopniodni chłodzenia CDD	22
Tabela 2.15. Parametry techniczno-ekonomiczne technologii wytwarzania i przesyłowych.....	22
Tabela 2.16. Parametry techniczno-ekonomiczne technologii CO i CWU	24
Tabela 2.17. Parametry techniczno-ekonomiczne technologii przemysłowych	25
Tabela 2.18. Parametry techniczno-ekonomiczne technologii stosowanych w transporcie.....	26
Tabela 2.19. Skumulowane wielkości wycofań mocy dla scenariusza WAM w latach 2022–2040 [MW _{netto}]	28
Tabela 2.20. Skumulowane wielkości wycofań mocy dla scenariusza WEM w latach 2022–2040 [MW _{netto}]	28
Tabela 2.21. Skumulowane uruchomienia mocy dla scenariusza WAM w latach 2022–2040 [MW _{netto}] ..	34
Tabela 2.22. Skumulowane uruchomienia mocy dla scenariusza WEM w latach 2022–2040 [MW _{netto}]...	34
Tabela 2.23. Przyjęta liczba pojazdów elektrycznych dal scenariusza WAM* [tys. szt.]	36
Tabela 2.24. Przyjęta liczba pojazdów elektrycznych dal scenariusza WEM* [tys. szt.].....	36

Spis rysunków

Rysunek 1.1. Schemat procedury obliczeniowej zastosowanej do celów pracy	4
Rysunek 1.2. Podział struktury modelu STEAM-PL na moduły	6
Rysunek 1.3. Ogólny schemat modelu STEAM-PL.....	9
Rysunek 1.4. Struktura zastosowana w module STEAM_T	11
Rysunek 1.5. Struktura zastosowana w module STEAM_T – Transport pasażerski indywidualny.....	11
Rysunek 1.6. Struktura zastosowana w module STEAM_T – Transport pasażerski zbiorowy.....	12
Rysunek 1.7. Struktura zastosowana w module STEAM_T – Transport towarowy	13
Rysunek 1.8. Uproszczony schemat systemu elektroenergetycznego i ciepłowniczego w modelu MESSAGE.....	14
Rysunek 1.9. Ekwiwalentna krzywa obciążenia zastosowana w modelu MESSAGE	15
Rysunek 2.1. PKB i struktura tworzenia wartości dodanej brutto w Polsce	17
Rysunek 2.2. Ceny paliw w imporcie do UE.....	21
Rysunek 2.3. Harmonogram trwałych odstawień jednostek wytwórczych w latach 2022-2040 w scenariuszu WAM.....	27
Rysunek 2.4. Harmonogram trwałych odstawień jednostek wytwórczych w latach 2022-2040 w scenariuszu WEM	27
Rysunek 2.5. Harmonogram uruchomień jednostek wytwórczych w scenariuszu WAM w latach 2022-2040.....	33
Rysunek 2.6. Harmonogram uruchomień jednostek wytwórczych w scenariuszu WEM w latach 2022-2040.....	34
Rysunek 3.1. Mapa elektrowni i elektrociepłowni o statusie jednostek wytwórczych centralnie dysponowanych (JWCD) (wg stanu na 31.12.2022 r.)	37
Rysunek 3.2. Schemat systemu przesyłowego z obszarami działania oddziałów operatora systemu przesyłowego energii elektrycznej (wg stanu na 31.12.2023 r.)	38
Rysunek 3.3. Schemat krajowego systemu przesyłowego gazu ziemnego.....	39
Rysunek 3.4. Schemat infrastruktury wytwórczej paliwowej	40
Rysunek 3.5. Mapa potencjalnych obszarów składowania wodoru	41
Rysunek 3.6. Mapa największych udokumentowanych złóż gazu ziemnego (wg stanu na 31.12.2022 r.) ..	42
Rysunek 3.7. Mapa największych udokumentowanych złóż ropy naftowej (wg stanu na 31.12.2022 r.)..	43
Rysunek 3.8. Mapa potencjału energii wiatrowej	44
Rysunek 3.9. Mapa potencjału wytwarzania energii elektrycznej ze źródeł fotowoltaicznych	45
Rysunek 3.10. Mapa potencjału energii wodnej.....	46
Rysunek 3.11. Mapa potencjału energii geotermalnej.....	47
Rysunek 3.12. Mapa potencjału upraw energetycznych.....	48
Rysunek 3.13. Mapa potencjału energetycznego biomasy rolniczej	49
Rysunek 3.14. Mapa potencjału energetycznego biomasy leśnej.....	50
Rysunek 3.15. Mapa potencjału energetycznego słomy	51
Rysunek 3.16. Mapa potencjału energetycznego siana	52
Rysunek 3.17. Mapa potencjału energetycznego sadów	53