

# Transformacja energetyczna a miejsca pracy.

Scenariusze dla Wielkopolski i Województwa Łódzkiego.





# Transformacja energetyczna a miejsca pracy.

Scenariusze dla  
Wielkopolski i Województwa  
Wschodniej.



**InStrat Working Paper 02/2021**

Paweł Czyżak

Damian Iwanowski

Warszawa, 2021

Instrat Working Paper 02/2021:  
Transformacja energetyczna a miejsca pracy.  
Scenariusze dla Wielkopolski Wschodniej.

Dziękujemy za cenne komentarze i sugestie  
Marcie Anczewskiej, Kalinie Kowalskiej, Konstantemu  
Ramotowskiemu, Oskarowi Kulikowi i Monice Sadkowskiej  
(WWF Polska).

Wszelkie błędy są nasze. Stosuje się zwyczajowe  
ostrzeżenia.

Propozycja cytowania:

Czyżak P., Iwanowski D. (2021). Transformacja  
energetyczna a miejsca pracy – scenariusze dla  
Wielkopolski Wschodniej. Instrat Working Paper 02/2020.  
Opracowanie Fundacji Instrat dla Fundacji WWF Polska.

Raport został opracowany dla Fundacji WWF Polska  
i stanowi jej własność. Utwór (z wyłączeniem zdjęć)  
jest dostępny na wolnej licencji zezwalającej na  
rozpowszechnianie, przedstawianie i wykonywanie utworu  
jedynie w celach niekomercyjnych. W każdym przypadku  
prosimy o podanie źródła i wydawcy.

Raport został opracowany w ramach projektu „Regiony  
i gminy na rzecz sprawiedliwej transformacji” jako  
jedna z trzech części publikacji w ramach Europejskiej  
Inicjatywy Klimatycznej (EUKI) Niemieckiego

Supported by:



Autorzy: Paweł Czyżak, Damian Iwanowski

Ilustracja na okładce: Anna Olczak

Skład: Anna Olczak

Licencja: Creative Commons CC BY NC – CC BY-NC

Uznanie autorstwa-Użycie niekomercyjne



Federalnego Ministerstwa Środowiska, Ochrony Przyrody  
i Bezpieczeństwa Reaktorów Atomowych (BMU).

Nadrzędnym celem Europejskiej Inicjatywy Klimatycznej  
jest wspieranie współpracy w ramach Unii Europejskiej  
(UE) na rzecz ochrony klimatu i ograniczenia emisji gazów  
cieplarnianych. Opinie przedstawione w tym raporcie  
są wyłączną odpowiedzialnością autorów i niekoniecznie  
odzwierciedlają poglądy Federalnego Ministerstwa  
Środowiska, Ochrony Przyrody i Bezpieczeństwa  
Reaktorów Atomowych (BMU).



based on a decision of the German Bundestag

Publikacje komplementarne do tego raportu:

- Fundacja WWF Polska (2021). M. Hetmański, D. Kiewra, D. Iwanowski, P. Czyżak. Sprawiedliwa transformacja w Wielkopolsce Wschodniej – diagnoza i wytyczne
- Instrat Working Paper 01/2021: Scenariusze redukcji zatrudnienia i wsparcia pracowników w sektorze węgla brunatnego – przypadek GK ZE PAK



**instrat**



Instrat – Fundacja Inicjatyw Strategicznych  
ul. Oleandrów 7/16  
00-629 Warszawa  
www.instrat.pl

# Spis treści

Wprowadzenie	5
1. Opis scenariuszy odejścia od węgla	6
1.1. Scenariusz bazowy	6
1.2. Scenariusz optymistyczny	7
2. Analiza potencjału zastąpienia elektrowni węglowych odnawialnymi źródłami energii – modelowanie energetyczne	13
3. Wpływ transformacji energetycznej na gospodarkę regionu – modelowanie ekonomiczne	19
3.1. Wpływ na zatrudnienie	19
3.2. Wartość dodana	22
4. Podsumowanie różnic w rozwoju gospodarczym Wielkopolski Wschodniej pomiędzy scenariuszami	25
Załącznik: Założenia dot. modelowania systemów energetycznych	26

---

## Skróty i objaśnienia

<b>CAPEX</b>	Capital expenditures – Koszty inwestycyjne
<b>CIT</b>	Podatek dochodowy od osób prawnych
<b>FST</b>	Fundusz Sprawiedliwej Transformacji
<b>GUS</b>	Główny Urząd Statystyczny
<b>GHG</b>	Greenhouse Gas Emissions, gazy cieplarniane
<b>JTF</b>	Just Transition Fund
<b>JTM</b>	Just Transition Mechanism
<b>JST</b>	Jednostka Samorządu Terytorialnego
<b>KE</b>	Komisja Europejska
<b>KSE</b>	Krajowy System Elektroenergetyczny
<b>MST</b>	Mechanizm Sprawiedliwej Transformacji
<b>OZE</b>	Odnawialne Źródła Energii
<b>PEP2040</b>	Polityka energetyczna Polski do 2040 r.
<b>TPST</b>	Terytorialny Plan Sprawiedliwej Transformacji
<b>WW</b>	Wielkopolska Wschodnia
<b>ZE PAK</b>	Grupa Kapitałowa Zespołu Elektrowni Pątnów – Adamów – Konin S.A.

# Wprowadzenie

Niniejsza publikacja jest rozwinięciem treści rozdziału 3 raportu *Sprawiedliwa transformacja w Wielkopolsce Wschodniej – diagnoza i wytyczne* (dalej: **raport główny**) opracowanego przez Fundację InStrat na rzecz WWF Polska. Przedstawione w nim wyniki modelowania energetycznego i ekonomicznego zostały szczegółowo opisane poniżej.

W opracowaniu przedstawione zostały dwa scenariusze transformacji energetycznej Wielkopolski Wschodniej wraz z konsekwencjami każdego z nich dla sektora energetycznego (modyfikacja miksu energetycznego, wysokość niezbędnych do poniesienia nakładów inwestycyjnych i poziom emisji gazów cieplarnianych) oraz sytuacji gospodarczej regionu (zmiany wartości dodanej i zatrudnienia).

W procesie modelowania pierwszy krok związany był z zaplanowaniem zmian – w regionalnym miksie energetycznym, które będą technicznie możliwe do przeprowadzenia i zgodne z ewolucją systemu elektroenergetycznego na poziomie krajowym. Drugi krok obejmował natomiast oszacowanie wpływu powyższych zmian na strukturę zatrudnienia oraz wartości dodanej na poziomie podregionu. Bazowano na modelu przepływów międzygałęziowych oddającym powiązania pomiędzy sektorem węgla brunatnego a innymi sektorami gospodarki oraz wynikach badań dot. potencjału ekonomicznego odnawialnych źródeł energii.

W wyniku modelowania uzyskaliśmy wiedzę o potencjale redukcji emisji CO<sub>2</sub> w regionie związanym z zastosowaniem szybszego tempa odejścia od węgla, a także wpływie badanych scenariuszy na aspekty ekonomiczne i społeczne – ceny energii, zatrudnienie czy kreację wartości dodanej.

# 1. Opis scenariuszy odejścia od węgla

Scenariusz odchodzenia od spalania węgla w elektroenergetyce bazuje na strategii ZE PAK opisanej szerzej w rozdziale 1.4. raportu głównego. Do 2025 r. wyłączane są wszystkie bloki Elektrowni Pątnów oprócz bloku nr 9 w Elektrowni Pątnów II, który pracuje do końca 2029 r. Moce wytwórcze w regionie zastępowane są miksem odnawialnych źródeł energii.

## 1.1. Scenariusz bazowy

W scenariuszu bazowym, rozwój alternatywnych technologii wytwórczych wynika ze strategii ZE PAK – przewidywana jest instalacja farm wiatrowych o mocy 438 MW, elektrowni słonecznych o mocy 630 MW, zwiększenie mocy w blokach biomasowych do 200 MW. W scenariuszu bazowym założono także rozwój magazynów energii w technologii litowo-jonowej o pojemności 100 MWh.

Tabela 1. Moce zainstalowane dla poszczególnych technologii wytwórczych w scenariuszu bazowym (MW).

Moc zainstalowana [MW]	Węgiel brunatny	Wiatr	Słońce	Biomasa	Biogaz	Energia geotermalna	Magazyny energii Li-Ion [MWh]
2025	474	219	315	100	7	0	0
2030	0	438	630	200	14	0	100

Źródło: opracowanie własne Instrat na podstawie danych ZE PAK.



## 1.2. Scenariusz optymistyczny

Scenariusz optymistyczny zakłada **całkowite wyłączenie Elektrowni Pątnów I oraz Elektrowni Pątnów II do roku 2025**. Zastąpienie węglowych mocy wytwórczych nowymi wiąże się ze zwiększonym tempem rozwoju OZE w regionie. Konstrukcja scenariusza optymistycznego przebiegała według następującej metodologii:

- **Oszacowanie potencjałów społeczno-technicznych (def. poniżej) poszczególnych rodzajów OZE – Tabela 2**
- **Kalibracja względem kosztów CAPEX – Tabela 3**
- **Kalibracja względem produkcji energii elektrycznej – Tabela 4**

Potencjały społeczno-techniczne bazują na szacunkach Komisji Europejskiej<sup>1,2</sup> oraz, w przypadku energii wiatrowej, obliczeniach własnych, uwzględniających szereg kryteriów takich jak: odległość od zabudowań mieszkalnych, lasów, akwenów wodnych, obszarów chronionych, dróg, lotnisk, z uwzględnieniem planowanych zmian w zasadzie 10H<sup>3,4</sup>. Wielkości w cytowanych pracach Komisji Europejskiej dotyczą całego województwa Wielkopolskiego, dlatego zostały przeliczone na potencjał w Wielkopolsce Wschodniej bazując na powierzchni (dla instalacji komercyjnych) i zaludnieniu (dla instalacji domowych). Dla fotowoltaiki wybrano wartości bardziej konserwatywne, dla energii wiatrowej użyto wartości obliczonej przez Instrat za pomocą narzędzia GLAES<sup>5,6</sup> uwzględniając konkretne uwarunkowania Wielkopolski Wschodniej. Łącznie, dostępność terenów pod inwestycje wiatrowe szacuje się na 16% powierzchni regionu (Rysunek 1), co pozwala na rozmieszczenie 611 nowoczesnych turbin Vestas V150 o łącznej mocy 2,56 GW (Rysunek 2). Warto zaznaczyć, że zakłada się liberalizację zasady 10H w kształcie obecnie dyskutowanym – dopuszczenie możliwości umieszczenia elektrowni wiatrowych w odległości min. 500 m od terenów zabudowanych w zależności od decyzji władz lokalnych. Cytowany

---

1 Kapetaki, Z., Ruiz, P., Clean energy technologies in coal regions: Opportunities for jobs and growth, Publications Office of the European Union, 2020.

2 Ruiz Castello, P. et. al., ENSPRESO – an open, EU-28 wide, transparent and coherent database of wind, solar and biomass energy potentials, ENERGY STRATEGY REVIEWS 26, p. 100379, JRC112858, 2019.

3 Zasada 10H, wprowadzona Ustawą z dnia 20 maja 2016 r. o inwestycjach w zakresie elektrowni wiatrowych, zabrania budowy elektrowni wiatrowych w odległości mniejszej niż dziesięciokrotność ich całkowitej wysokości od zabudowań mieszkalnych.









4 Metodologia obliczenia potencjału społeczno technicznego energii wiatrowej z zachowaniem różnych wersji zasady 10H opisana została w: Czyżak, P., The impact of policy changes on onshore wind land availability, 2020.

5 Ryberg, D.S., Robinius, M., Stolten, D., Evaluating Land Eligibility Constraints of Renewable Energy Sources in Europe, Energies 11, 1246, 2018.

6 Wybrano scenariusz oznaczony jako "Progressive scenario – new fleet" w: Czyżak, 2020, op.cit.

raport Komisji Europejskiej<sup>7</sup> dostrzega także potencjał wytwarzania energii elektrycznej ze źródeł geotermalnych, szacując go na 150 MWe w całym woj. wielkopolskim. Warto zauważyć, że Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej (MPEC) – Konin już realizuje projekt ciepłowni geotermalnej o mocy 8,1 MWt, która ma zostać uruchomiona w 2021 r.<sup>8</sup>, a okolice Konina są jednymi z najbardziej atrakcyjnych w Polsce pod względem wykorzystania energii geotermalnej<sup>9</sup>. Dlatego w scenariuszu optymistycznym założono realizację pilotażowego projektu dotyczącego wytwarzania ze źródeł geotermalnych także energii elektrycznej, początkowo z małą mocą zainstalowaną 8 MW, co potencjalnie mogłoby zostać zrealizowane nawet z wykorzystaniem obecnego odwiertu wykonanego już przez MPEC Konin.

**Tabela 2. Potencjały społeczno-techniczne OZE w Wielkopolsce Wschodniej**

Technologia	Potencjał [GW]	Źródło
 Wiatr	2,56	Obliczenia własne
 Wiatr	1,55	Komisja Europejska**
 Wiatr	1,55	Komisja Europejska*
 Słońce – instalacje gruntowe	4,65	Komisja Europejska*
 Słońce – instalacje dachowe	0,34	Komisja Europejska**
 Słońce – instalacje gruntowe	12,63	Komisja Europejska**
 Słońce – instalacje dachowe	1,04	Komisja Europejska*
 Energia geotermalna	0,02	Komisja Europejska*

Źródło: opracowanie własne Instrat.

\* Kapetaki, Z., Ruiz, P., Clean energy technologies in coal regions: Opportunities for jobs and growth, Publications Office of the European Union, 2020.

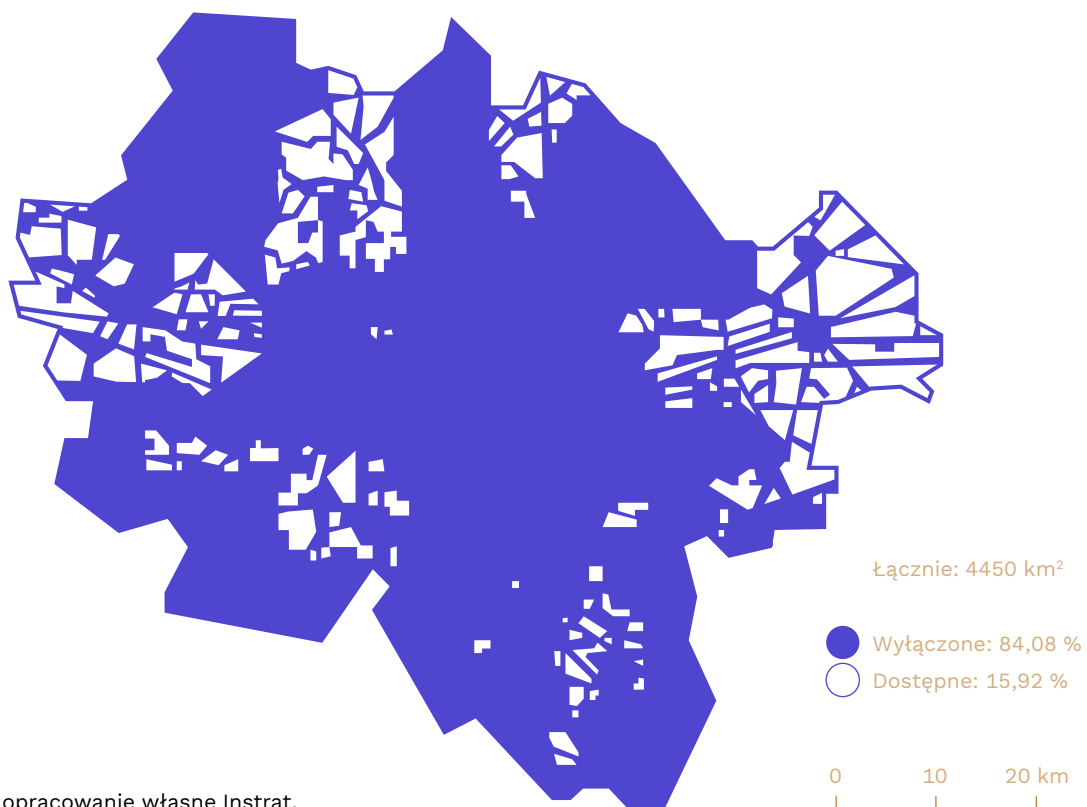
\*\* Ruiz Castillo, P. et. al., ENSPRESO – an open, EU-28 wide, transparent and coherent database of wind, solar and biomass energy potentials, ENERGY STRATEGY REVIEWS 26, p. 100379, JRC112858, 2019

<sup>7</sup> Kapetaki, 2020, op.cit.

<sup>8</sup> MPEC Konin, Budowa ciepłowni geotermalnej, 2020, <https://www.mpec.konin.pl/index.php/o-projekcie-111.html>

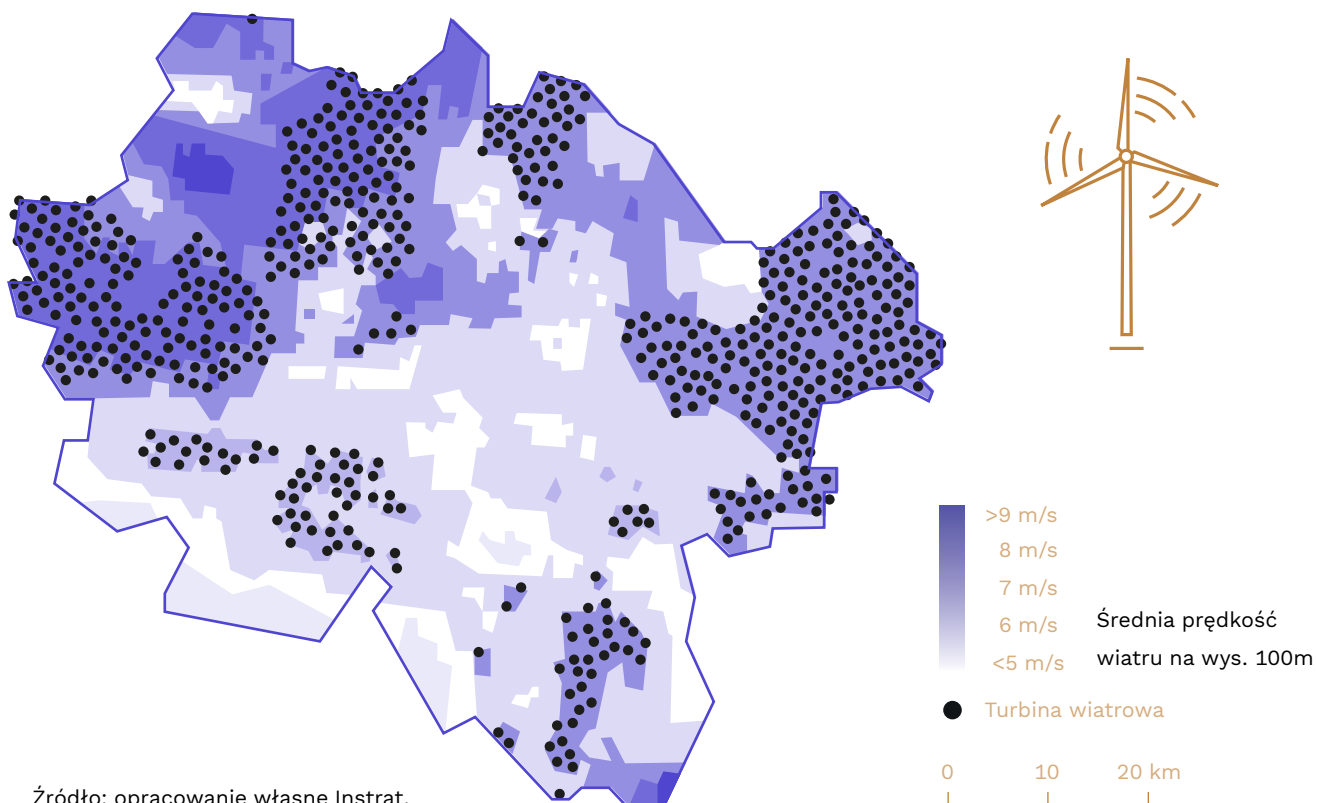
<sup>9</sup> Sowizdzal, A., Geothermal energy resources in Poland – Overview of the current state of knowledge, Renewable and Sustainable Energy Reviews 82, 4020–4027, 2018.

Rysunek 1. Dostępność terenów pod inwestycje wiatrowe w Wielkopolsce Wschodniej.



Źródło: opracowanie własne Instrat.

Rysunek 2. Proponowane rozmieszczenie turbin wiatrowych w Wielkopolsce Wschodniej.









Źródło: opracowanie własne Instrat.

Potencjały społeczno-techniczne pozwoliłyby na ogromną skalę inwestycji w OZE w regionie co wiązałoby się jednak z niezwykle wysokimi kosztami. W związku z tym, scenariusz przygotowano tak, aby łączne koszty inwestycyjne odpowiadały szacowanej alokacji środków dla Wielkopolski Wschodniej z trzech filarów Mechanizmu Sprawiedliwej Transformacji (czyli wraz z inwestycjami prywatnymi) – łącznie jest to 18 mld PLN<sup>10</sup>. Autorzy raportu proponują przeznaczenie 2/3 tej kwoty na inwestycje w energetykę.

Koszty inwestycyjne (CAPEX) dla obu scenariuszy przedstawiono w Tab. 3. Oczywiście, część inwestycji w OZE może być finansowana poza MST, z drugiej strony udział inwestycji energetycznych w puli środków MST może być mniejszy niż zakładany – należy więc te założenia traktować jako pewne uproszczenie, dające jednak pojęcie o realistycznie możliwej skali inwestycji w Wielkopolsce Wschodniej.

**Tabela 3. Koszty inwestycji w budowę nowych mocy wytwórczych w Wielkopolsce Wschodniej (mln PLN).**

		Scenariusz bazowy	Scenariusz optymistyczny
Wiatr*		2 120	4 538
Słońce**		1 289	3 740
Biomasa		3 081	3 081
Biogaz		186	186
Energia geotermalna		0	181
Magazyny energii Li-Ion [MWh]		84	421
<b>Suma</b>		<b>6 759</b>	<b>12 147</b>

\* Kapetaki, 2020, op.cit.

\*\* Instytut Energetyki Odnawialnej, Mapa drogowa rozwoju przemysłu fotowoltaicznego w Polsce do 2030 roku, 2020.

Źródło: opracowanie własne Instrat na podstawie danych Komisji Europejskiej, NREL, Instytutu Energetyki Odnawialnej.

10 Czyżak et al., Zielone miejsca pracy. Przypadek regionu betchatowskiego, Instrat Policy Paper 04/2020, 2020.

Koszty inwestycyjne w scenariuszu optymistycznym są niemal dwukrotnie wyższe niż w scenariuszu bazowym, co wynika z większej mocy planowanych źródeł wytwórczych. Inwestycje te, jak przedstawiono poniżej, są jednak konieczne dla zastąpienia możliwości wytwórczych obecnych źródeł węglowych, a także przyczyniają się do obniżenia cen energii w Polsce (rozdział 2). Wśród kosztów inwestycyjnych dominują farmy wiatrowe, słoneczne oraz instalacje spalania biomasy. Obecność tych ostatnich wynika jednak z już zapowiedzianych planów inwestycyjnych koncernu ZE PAK, w scenariuszu optymistycznym nie proponuje się dodatkowego zwiększania ich mocy. Główny nacisk kładziony jest na energię wiatrową i słoneczną, które jednocześnie dobrze wpisują się w cel Mechanizmu Sprawiedliwej Transformacji – wiążą się z wytworzeniem dużej liczby miejsc pracy na jednostkę zainwestowanego kapitału.<sup>11</sup>

Drugi poziom kalibracji w scenariuszu optymistycznym dotyczył możliwości zastąpienia mocy wytwórczych Elektrowni Pątnów I oraz Pątnów II odnawialnymi źródłami energii. Bazując na współczynniku wykorzystania mocy zainstalowanej dla bloków 1, 2, 5 Elektrowni Pątnów I i Elektrowni Pątnów II w 2019 r. – ok. 53%<sup>12</sup>) oraz poszczególnych rodzajów OZE<sup>13</sup>, dobrano moce zainstalowane tak, aby roczna produkcja energii odpowiadała produkcji w Elektrowni Pątnów. • **zobacz: Tabela 4.**

Pominięto na tym etapie same profile produkcji energii z różnych źródeł i ich wpływ na bilansowanie krajowego systemu elektroenergetycznego – zostało to uwzględnione w wynikach modelowania (rozdział 2).

Finalne moce zainstalowane otrzymane w wyniku obliczeń opisanych wyżej przedstawiono w Tabeli 5. Są one znacząco wyższe niż w scenariuszu bazowym, pozostając jednak realistycznymi pod kątem akceptacji społecznej, możliwości technicznych oraz dostępności środków finansowych.

**KOMENTARZ FUNDACJI WWF POLSKA:** Fundacja WWF Polska zauważa, że wykorzystanie biomasy na cele energetyczne dalekie jest od koncepcji zrównoważonego rozwoju. Dotyczy to szczególnie upraw dedykowanych do celów energetycznych, czy też wykorzystanie drewna, również niepełnowartościowego (jeśli istnieją inne możliwości jego wykorzystania, zgodnie z ideą kaskadyzacji). Ograniczeniem bezpiecznego dla środowiska potencjału biogazu jest z kolei dostęp do (zrównoważonego) surowca: dedykowanych upraw bądź odchodów zwierzęcych i odpadów przemysłu rolno-spożywczego. Biorąc pod uwagę ograniczony potencjał (zwłaszcza zrównoważonej) biomasy i biogazu, nie można przyjąć założenia zakładającego znaczącą rolę bioenergii w transformacji energetycznej – ilość tego paliwa powinna być możliwie ograniczona i wykorzystywana w sektorach, w których zastąpienie go będzie szczególnie trudne<sup>14</sup>.

11 Czyżak et. Al., 2020, op.cit.

12 Energy.instrat.pl – produkcja per jednostka, 2020, [http://energy.instrat.pl/generation\\_by\\_unit](http://energy.instrat.pl/generation_by_unit)

13 Mitraszewski, K., Produkcja energii z farm wiatrowych, wysokienapiecie.pl, 2020, <https://wysokienapiecie.pl/10935-produkcja-energii-z-farm-wiatrowych-dane-godzinowe>

energy.instrat.pl – produkcja per technologia, 2020, [http://energy.instrat.pl/generation\\_by\\_fuel](http://energy.instrat.pl/generation_by_fuel)

14 Zob. m.in. stanowisko WWF ws. bioenergii: EU Bionenergy Policy, WWF, [https://wwf.eu.awsassets.panda.org/downloads/eu\\_bionenergy\\_policy\\_\\_\\_wwf\\_briefing\\_paper\\_\\_\\_final\\_4.pdf](https://wwf.eu.awsassets.panda.org/downloads/eu_bionenergy_policy___wwf_briefing_paper___final_4.pdf), 2017. Doniesienia wskazujące na wysoki (często wyższy od paliw kopalnych) ślad węglowy biomasy: List NGO: Ending EU support for burning trees and crops for energy, [https://wwf.eu.awsassets.panda.org/downloads/december\\_2020\\_ngo\\_letter\\_to\\_timmermans\\_on\\_bionenergy.pdf](https://wwf.eu.awsassets.panda.org/downloads/december_2020_ngo_letter_to_timmermans_on_bionenergy.pdf), grudzień 2020.

**Tabela 4. Produkcja energii elektrycznej z poszczególnych źródeł.**

		Współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej		Produkcja z OZE (GWh)	Produkcja ZEPAK (GWh)
Węgiel brunatny		53%		-	5176
Wiatr		28%		2 333	-
Słońce		10%		1 601	-
Biomasa		59%		1 037	-
Biogaz		59%		73	-
Energia geotermalna		74%		53	-
<b>Suma</b>				<b>5 097</b>	<b>5 176</b>

Źródło: opracowanie własne Instrat na podstawie obliczeń własnych, danych WysokieNapiecie.pl i energy.instrat.pl.

**Tabela 5. Moce zainstalowane dla poszczególnych technologii wytwórczych w scenariuszu optymistycznym (MW).**

	Węgiel brunatny	Wiatr	Słońce	Biomasa	Biogaz	Energia geotermalna	Magazyny energii Li-Ion [MWh]	suma
Moc zainstalowana [MW]								
2025	0	469	914	200	14	4	250	<b>1 601</b>
2030	0	938	1 828	200	14	8	500	<b>2 988</b>

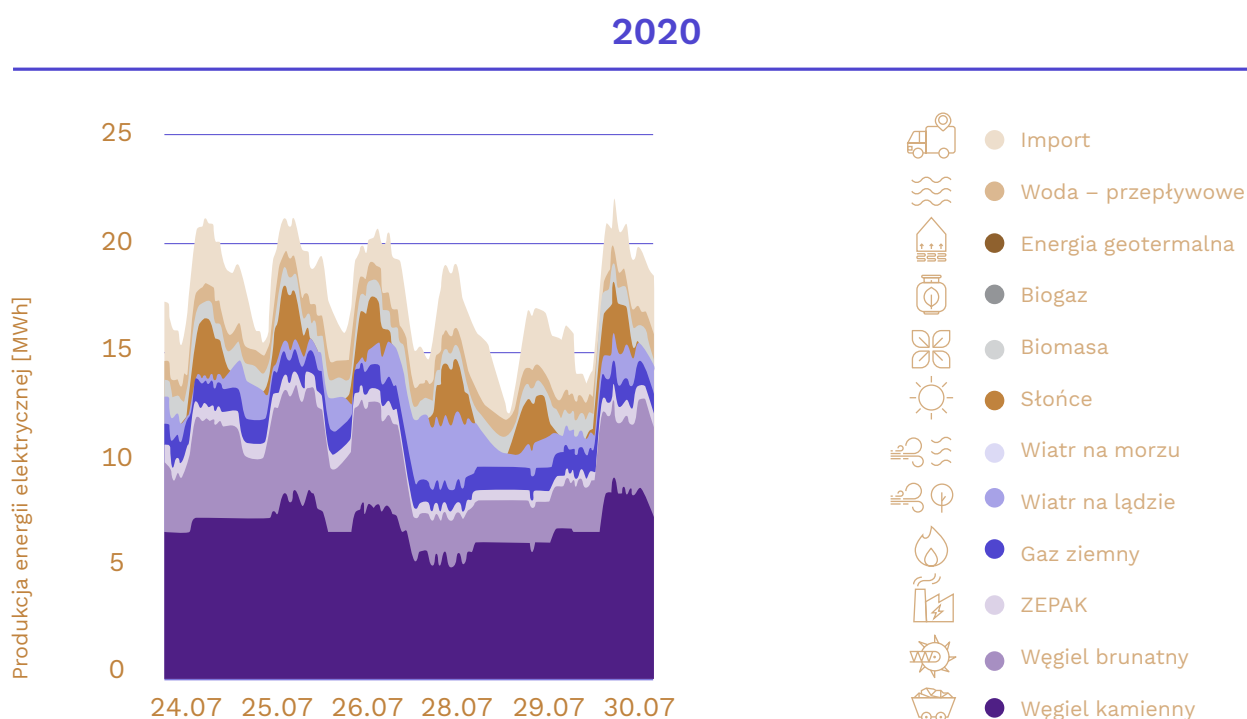
Źródło: opracowanie własne Instrat.

## 2. Analiza potencjału zastąpienia elektrowni węglowych odnawialnymi źródłami energii – modelowanie energetyczne

Bazując na powyższych scenariuszach oraz założeniach opisanych w załączniku, oszacowano wpływ zmian w miksie energetycznym Wielkopolski Wschodniej na bilansowanie Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE), a także na średni koszt krańcowy energii elektrycznej i emisje CO<sub>2</sub> w Polsce. Warto zaznaczyć, że nie jest możliwe analizowanie struktury produkcji energii w danym regionie czy województwie w oderwaniu od reszty systemu energetycznego. Energia wytworzona w jednym miejscu nie musi być konsumowana lokalnie – wprowadzana jest do KSE, kształtując ceny energii elektrycznej na poziomie krajowym.

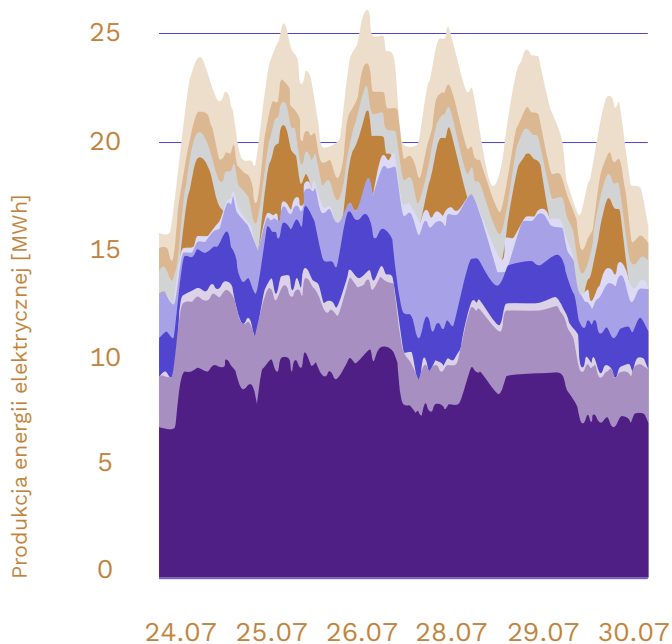
Rokiem referencyjnym przyjętym w analizie był rok 2020. Profile wytwarzania energii elektrycznej w szczycie letnim w latach 2020-2030 przedstawiono na Wykresie 1.

Wykres 1. Produkcja energii elektrycznej [MWh] w Polsce w szczycie letnim w latach 2020-2030.

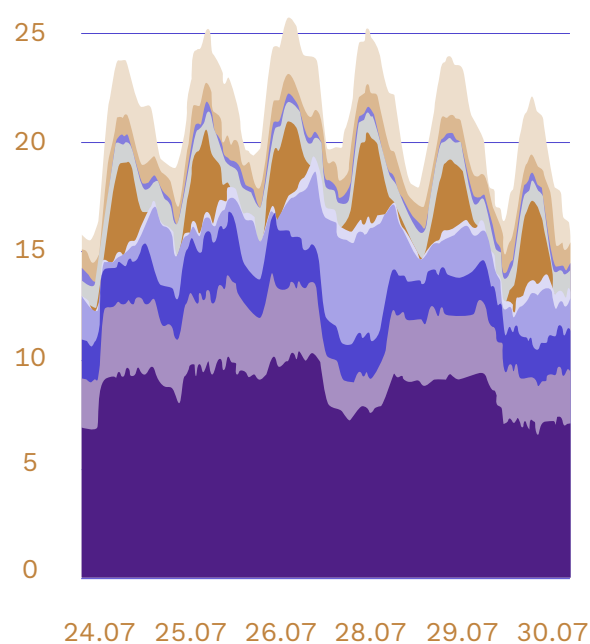


## 2025

Scenariusz bazowy

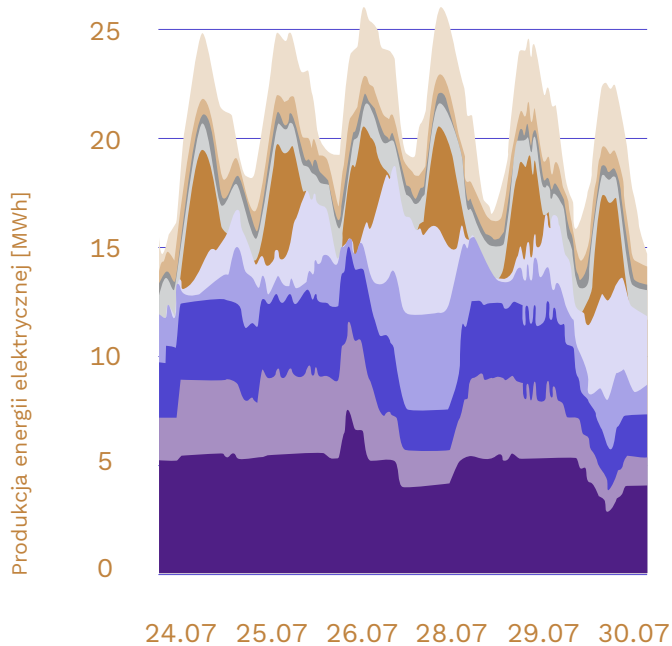


Scenariusz optymistyczny

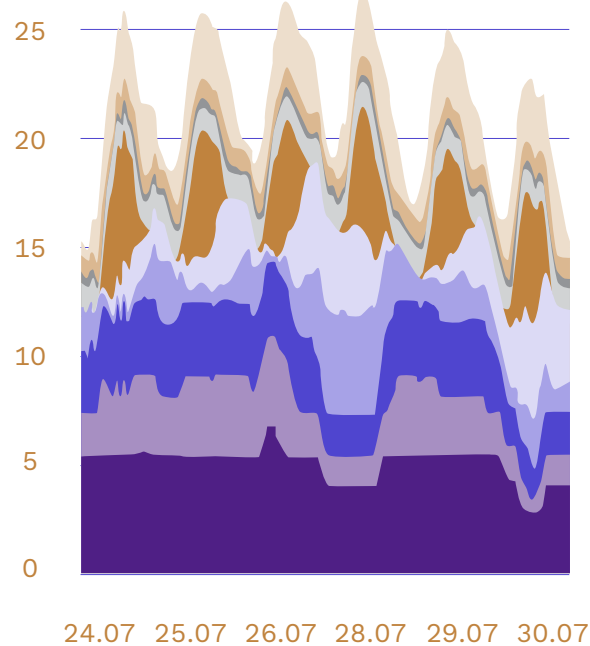


## 2030

Scenariusz bazowy



Scenariusz optymistyczny



Źródło: opracowanie własne In strat.



W roku 2020 dominujący udział w wytwarzaniu energii miał węgiel kamienny i brunatny. Istotny jest też udział importu – aż 13 TWh w skali roku. Na wykresie 3 wyróżniono też udział ZEPAK, w 2020 r. szacowana produkcja to 5,36 TWh dla wszystkich bloków Elektrowni Pątnów I i II. W scenariuszu bazowym, w roku 2025 znacząco zwiększa się udział energetyki wiatrowej i słonecznej w miksie energetycznym. W strukturze wytwarzania wciąż funkcjonuje Elektrownia Pątnów II, nieobecna w scenariuszu optymistycznym. W scenariuszu optymistycznym zwiększa się produkcja energii z wiatru i słońca, zauważalnie ograniczając udział paliw kopalnych (węgiel i gazu) w szczytach dobowych zapotrzebowania. Rok 2030 przynosi znaczący wzrost mocy OZE w Polsce, co powoduje, że przy sprzyjających warunkach atmosferycznych, OZE pokrywają ponad 50% zapotrzebowania na energię elektryczną niemal zupełnie wypychając węgiel brunatny. W roku 2030 w obu przypadkach Elektrownia Pątnów II jest całkowicie wyłączona, a profil produkcji energii wygląda podobnie. W scenariuszu optymistycznym zauważyć można nieco wyższą generację dla energii wiatrowej na lądzie oraz dla energii słonecznej.

Udział węgla spada z 67% w 2020 r. do poniżej 40% w 2030 roku, z kolei udział OZE sięga 44-45%. Takie, mało ambitne pod względem klimatycznym, tempo dekarbonizacji wynika jednak z założeń opisanych w Zał. 1 – zastosowania ścieżek rozwoju OZE z projektu Polityki Energetycznej Polski (w wersji z 2019 i 2020 r.) oraz ścieżek odchodzenia od węgla z *Koncepcji transformacji polskiego podsektora elektroenergetycznego*<sup>15</sup>. Przedmiotem badania nie jest jednak ocena tych założeń, a raczej analiza tego jak optymistyczny scenariusz dla Wielkopolski Wschodniej wpływa na cały Krajowy System Elektroenergetyczny, co zostało przedstawione na Wykresie 2.

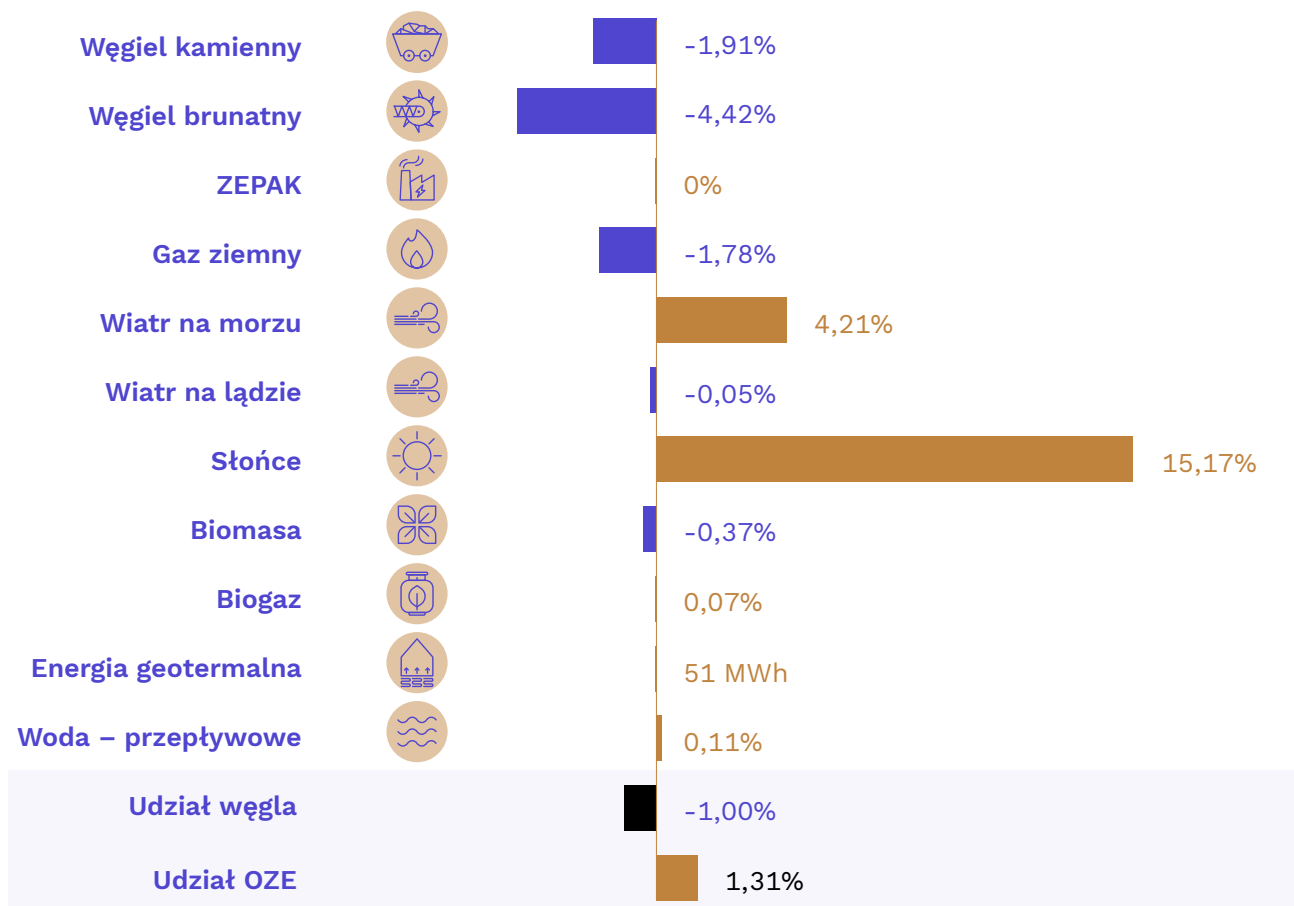
**KOMENTARZ FUNDACJI WWF POLSKA:** Fundacja WWF Polska stoi na stanowisku, że w celu zminimalizowania skutków katastrofy klimatycznej konieczne jest zaprzestanie spalania węgla w celach energetycznych w Polsce do 2030 roku. Konieczność ta wynika z konkluzji Międzyrządowego Panelu ds. Zmiany Klimatu (IPCC) opublikowanych w specjalnym raporcie „1.5, stopnia” w październiku 2018 roku.

Scenariusz optymistyczny prowadzi do szeregu pozytywnych zmian w strukturze generacji energii elektrycznej w Polsce (Wykres 2). W 2030 r., generacja energii z węgla kamiennego i brunatnego spada odpowiednio o 1,9% i 4,4%, z gazu ziemnego i biomasy o 1,8% i 0,4% względem scenariusza bazowego. Dzięki wyższej mocy zainstalowanej OZE w Wielkopolsce Wschodniej, w scenariuszu optymistycznym znacząco zwiększa się generacja z farm wiatrowych na lądzie i elektrowni słonecznych – o 4,2% i 15,2%, w KSE pojawia się też pilotażowa elektrownia geotermalna. Opisane zmiany prowadzą do istotnych korzyści – dzięki zastosowaniu scenariusza optymistycznego, w 2030 r. udział węgla w krajowym miksie energetycznym

---

15 Czyżak, P., Kukuła, W., Monopol węglowy z problemami. Analiza restrukturyzacji polskiego sektora energetycznego, ClientEarth & Instrat 2020..

**Wykres 2. Różnica w generacji energii elektrycznej z poszczególnych źródeł w scenariuszu optymistycznym względem bazowego w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym w 2030 roku.**



Źródło: opracowanie własne Instrat.

spada o 1%, z kolei udział OZE rośnie o 1,3%. Jak wskazano w dalszej części opracowania, przekłada się to na istotną redukcję emisji CO<sub>2</sub> oraz spadek średnich kosztów wytwarzania energii w całej Polsce.

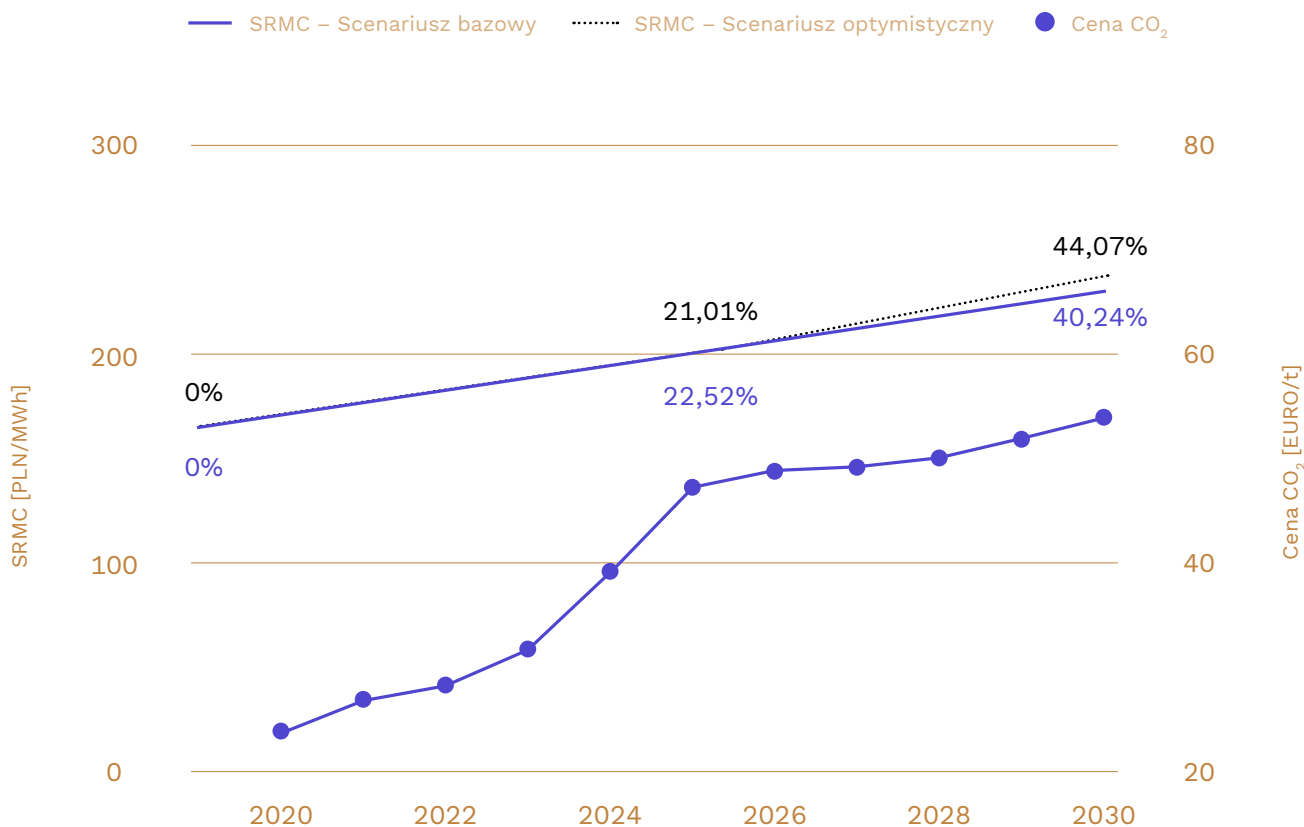
Wybór scenariusza ma również istotny wpływ na kształtowanie średnich kosztów wytwarzania energii w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym, a przez to także pośrednio na ceny dla odbiorców końcowych energii. Koszty rosną silnie w obu scenariuszach (Wykres 3), co wynika bezpośrednio ze wzrostu cen uprawnień do emisji CO<sub>2</sub> – zakładany jest wzrost aż o 125% między rokiem 2020 a 2030. Jest wysoce prawdopodobne, że po zwiększeniu unijnych celów redukcji emisji gazów cieplarnianych na rok 2030 do – 55% względem roku 1990, ceny te będą jeszcze wyższe – przekroczą 80 EUR/tCO<sub>2</sub><sup>16</sup>. Do roku 2025, średnia cena krótkoterminowa

16 CAKE, Zmiana celów redukcyjnych oraz cen uprawnień do emisji wynikająca z komunikatu „Europejski Zielony Ład”, [http://climatecake.pl/wp-content/uploads/2020/03/CAKE\\_Zmiana-cel%C3%B3w-redukcyjnych-i-cen-uprawnie%C5%84-do-emisji-wynikaj%C4%85ca-z-komunikatu-Europejski-Zielony-%C5%81ad-1.pdf](http://climatecake.pl/wp-content/uploads/2020/03/CAKE_Zmiana-cel%C3%B3w-redukcyjnych-i-cen-uprawnie%C5%84-do-emisji-wynikaj%C4%85ca-z-komunikatu-Europejski-Zielony-%C5%81ad-1.pdf), maj 2020.

(SRMC) rośnie o 21% w scenariuszu bazowym i 22,5% w scenariuszu optymistycznym – w tym drugim koszty są nieco wyższe w wyniku szybszego wyłączenia Elektrowni Pątnów II cechującej się niskim SRMC i niepełnego zastąpienia jej mocy nowymi źródłami odnawialnymi. W 2030 roku różnica między scenariuszami staje się znacząco większa na korzyść scenariusza optymistycznego – generuje on SRMC aż o 4% niższe z powodu większej mocy zainstalowanej OZE i pełnego zastąpienia możliwości wytwórczych Elektrowni Pątnów I i II. Warto podkreślić, że w 2030 roku nadwyżka mocy w KSE jest niska, co powoduje konieczność częstego włączania kosztownych elektrowni gazowych i dalszy wzrost SRMC mimo względnej stabilizacji cen CO<sub>2</sub>. Taka struktura mocy zainstalowanych w 2030 r. na poziomie krajowym wynika jednak z Projektu Polityki Energetycznej Polski do 2040 r. (w wersji z 2019 r.).

Za pomocą modelu energetycznego PyPSA-PL oszacowano łączne emisje CO<sub>2</sub> z analizowanych jednostek wytwórczych na poziomie krajowym, a także w samym woj. wielkopolskim. Różnice w emisjach CO<sub>2</sub> pomiędzy scenariuszami widoczne są nawet na poziomie krajowym – scenariusz optymistyczny pozwala na redukcję emisji o dodatkowe 0,74 mln ton w 2025 r. i 1,8 mln ton w samym 2030 r. w porównaniu do bazowego (Tab. 6.). Kumu-

**Wykres 3. Średni koszt wytwarzania energii elektrycznej (lewa oś) dla poszczególnych scenariuszy oraz założenie dot. ścieżki wzrostu cen uprawnień do emisji CO<sub>2</sub> (prawa oś).**



Źródło: opracowanie własne Instrat.

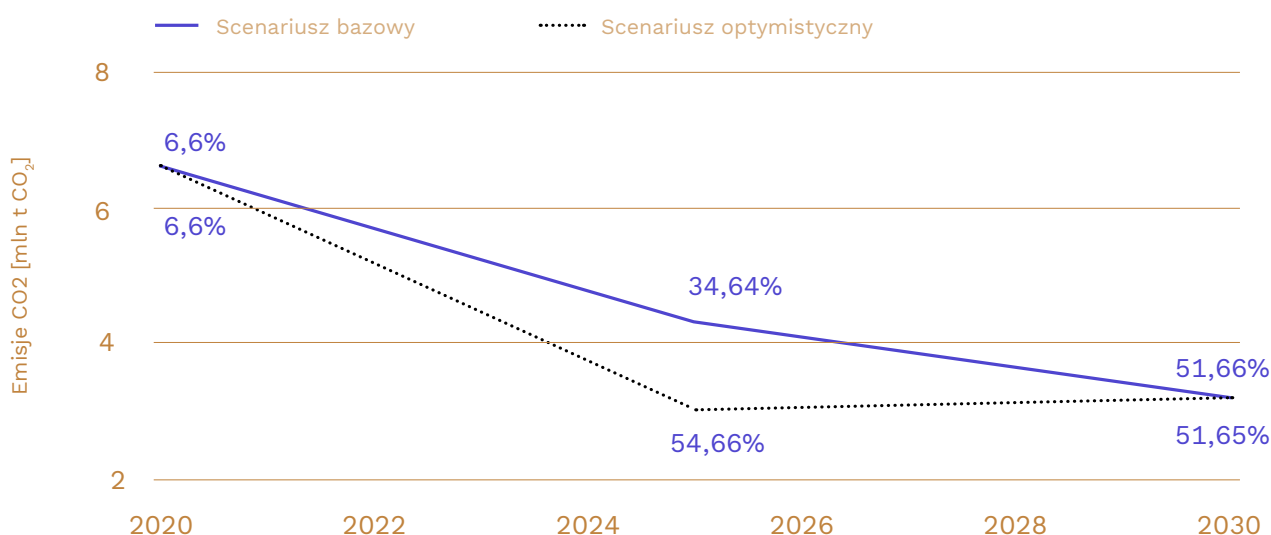
latywnie jest to redukcja nawet o 9,2 mln t w latach 2025–2030. Benefit scenariusza optymistycznego widać szczególnie dobrze w wynikach dla samego woj. wielkopolskiego – pozwala on na redukcję emisji aż o 54,66% w roku 2025 w stosunku do wartości z 2020 (Wykres 4). Dla scenariusza bazowego jest to 34,64%. W 2030 roku następuje minimalny wzrost emisji dla obu scenariuszy z powodu większej generacji energii z gazu, biomasy i biogazu, w szczególności z Elektrowni Konin, Elektrociepłowni Poznań Karolin, a także z elektrowni przemysłowych<sup>17</sup>.

**Tabela 6. Emisje CO<sub>2</sub> z sektora elektroenergetyki dla obu scenariuszy na poziomie krajowym i woj. wielkopolskim (mln ton CO<sub>2</sub>).**

[mln ton CO <sub>2</sub> ]	Polska			Wielkopolska		
	2020	2025	2030	2020	2025	2030
Scenariusz bazowy	114,34	112,48	90,06	6,60	4,31	3,19
Scenariusz optymistyczny	114,34	111,74	88,22	6,60	2,99	3,19

Źródło: opracowanie własne In strat.

**Wykres 4. Emisje CO<sub>2</sub> z sektora elektroenergetyki w woj. wielkopolskim dla obu scenariuszy (mln ton CO<sub>2</sub>).**



Źródło: opracowanie własne In strat.

<sup>17</sup> Emisje z biomasy i biogazu w cyklu życia uznawane są za minimalne, w badaniu przyjęto jednak emisyjność samego spalania na podstawie danych Agencji Ochrony Środowiska USA: U.S. Environmental Protection Agency, Emission Factors for Greenhouse Gas Inventories, 2014, [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/emission-factors\\_2014.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/emission-factors_2014.pdf)

# 3. Wpływ transformacji energetycznej na gospodarkę regionu – modelowanie ekonomiczne

Przyjmując wyniki modelowania energetycznego jako informacje określające techniczne możliwe do przeprowadzenia zmiany w systemie elektroenergetycznym, w poniższym rozdziale oszacowano wpływ obu scenariuszy odejścia od węgla w Wielkopolsce Wschodniej na gospodarkę regionu. Modelowanie ekonomiczne pozwoliło na stworzenie prognozy zmian zatrudnienia oraz wartości dodanej w podregionie. W dalszym kroku obliczono również wpływ na finanse samorządowe działań realizowanych w scenariuszu optymistycznym, ponad scenariusz referencyjny.

## 3.1. Wpływ na zatrudnienie

W obu scenariuszach przewidywany jest wzrost zatrudnienia w sektorze elektroenergetycznym w Wielkopolsce Wschodniej, który będzie wystarczający do skompensowania spadku liczby pracowników branży węgla brunatnego oraz powiązanych z nim sektorów. Wynika to z faktu rozbudowywania mocy zainstalowanych odnawialnych źródeł energii, które w porównaniu z energetyką konwencjonalną posiadają znacznie większy potencjał na kreowanie nowych miejsc pracy, które utrzymują się w długim terminie<sup>18</sup>.

Spośród wszystkich technologii wytwarzania energii elektrycznej, małoskalowe instalacje PV oraz biomasa są najbardziej pracochłonne<sup>19</sup>. W przeliczeniu milion złotych inwestycji w tego typu instalacje wiąże się z powstaniem blisko 6x większej liczby miejsc pracy w długim terminie. Mając na uwadze, iż model energetyczny przewiduje dynamiczny wzrost udziału energii słonecznej i energia generowanej z biomasy w przyszłym miksie, możliwe będzie pokrycie utraconych miejsc pracy z dużą nadwyżką w obu scenariuszach.

Zmiany zatrudnienia zostały oszacowane na podstawie danych zarządczych kompleksu ZEPAK (informacja o bezpośrednich miejscach pracy w sektorze

---

<sup>18</sup> Czyżak et. Al., 2020, op.cit.

<sup>19</sup> International Energy Agency, Sustainable Recovery, 2020, <https://www.iea.org/reports/sustainable-recovery>. Kapetaki, 2020, op.cit.

węgla brunatnego), wyników modelu przepływów międzygałęziowych (szacunki dot. pośrednich miejsc pracy powiązanych z zagłębieniem górniczym) oraz wynikach badań naukowych dot. łańcuchów wartości wytwarzania energii w oparciu o poszczególne technologie<sup>20,21,22,23</sup>.

Scenariusz bazowy charakteryzuje się stabilnym wzrostem zatrudnienia w kolejnych latach prognozy. Negatywne skutki odejść pracowników kompleksu ZE PAK, oraz pracowników w sektorach powiązanych, są z nadwyżką pokrywane nowymi miejscami pracy związanymi z inwestycjami w odnawialne źródła energii. Istotne wyzwanie stanowi jednak dostosowanie umiejętności odchodzących pracowników związanych z sektorem węgla brunatnego tak, aby to oni mogli znaleźć zatrudnienie w nowo powstającej branży OZE. W przeciwnym wypadku wakaty będą wypełniane przez pracowników napływowych z innych części województwa wielkopolskiego co będzie skutkowało sytuacją, w której mimo wzrostu liczby osób zatrudnionych przez lokalne firmy jednocześnie dojdzie do wzrostu bezrobocia.

W przypadku realizacji scenariusza optymistycznego, przewidywany jest dynamiczny wzrost zatrudnienia w pierwszej połowie dekady, po czym nastąpi spadek w roku 2026 będący skutkiem wczesnego zakończenia działalności kompleksu ZEPAK. Mimo to, w każdym roku prognozy przewidywany w scenariuszu optymistycznym poziom zatrudnienia jest większy niż w scenariuszu referencyjnym. Oba scenariusze przewidują, iż zdecydowana większość nowych miejsc pracy będzie powstawać w sektorze fotowoltaiki oraz biomasy. Różnica polega jednak na tym, iż w scenariuszu bazowym większość nowych miejsc pracy powstanie w sektorze biogazowym, podczas gdy w scenariuszu optymistycznym w fotowoltaice.

**Łączny potencjał nowych miejsc pracy w sektorze elektroenergetycznym i powiązanych w scenariuszu optymistycznym szacujemy na ponad 22 tys. nowych miejsc pracy.**

Od drugiej połowy dekady przewidywana różnica w poziomie zatrudnienia pomiędzy scenariuszami będzie kształtować się na poziomie ok. 10 tysięcy pracowników. Nawet w momencie przyspieszonego zakończenia działalności kompleksu węgla brunatnego ZE PAK S.A., tj. w roku 2026, ta różnica nie ulegnie zmniejszeniu w porównaniu z wydłużoną w czasie ścieżką redukcji zatrudnienia w kompleksie energetycznym.

---

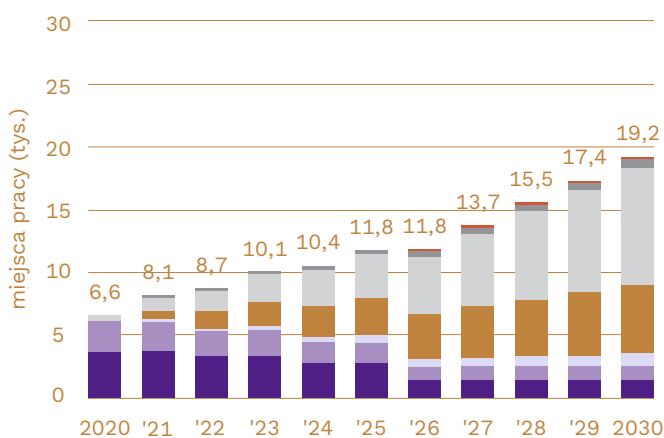
20 Kabashi R., Macroeconomic effects of fiscal policy in the European Union, with particular reference to transition countries, *Public Sector Economics*, 41 (1) 39-69, 2017, <http://www.pse-journal.hr/upload/files/pse/2017/1/kabashi.pdf>

21 International Monetary Fund, Is the Public Investment Multiplier Higher in Developing Countries? An Empirical Exploration, Working Paper No. 19/289, 2019, <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2019/12/20/Is-the-Public-Investment-Multiplier-Higher-in-Developing-Countries-An-Empirical-Exploration-48836>

22 Kapetaki, 2020, op.cit.

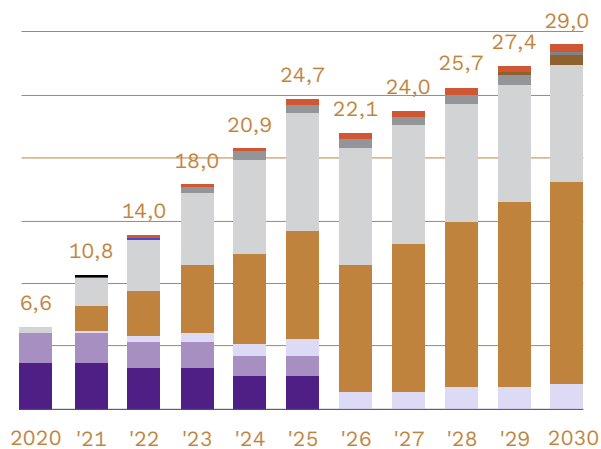
23 IRENA, Renewable Energy and Jobs, Annual Review 2019, 2019, [www.irena.org/publications/2019/Jun/Renewable-Energy-and-Jobs-Annual-Review-2019](http://www.irena.org/publications/2019/Jun/Renewable-Energy-and-Jobs-Annual-Review-2019)

**Wykres 5. Zatrudnienie w sektorze elektroenergetycznym oraz w sektorach powiązanych – scenariusz bazowy, 2020-2030.**



- Magazyn energii Li-lon
- Biogaz
- Słońce
- Węgiel – pośrednie miejsca pracy

**Wykres 6. Zatrudnienie w sektorze elektroenergetycznym oraz w sektorach powiązanych – scenariusz optymistyczny, 2020-2030.**

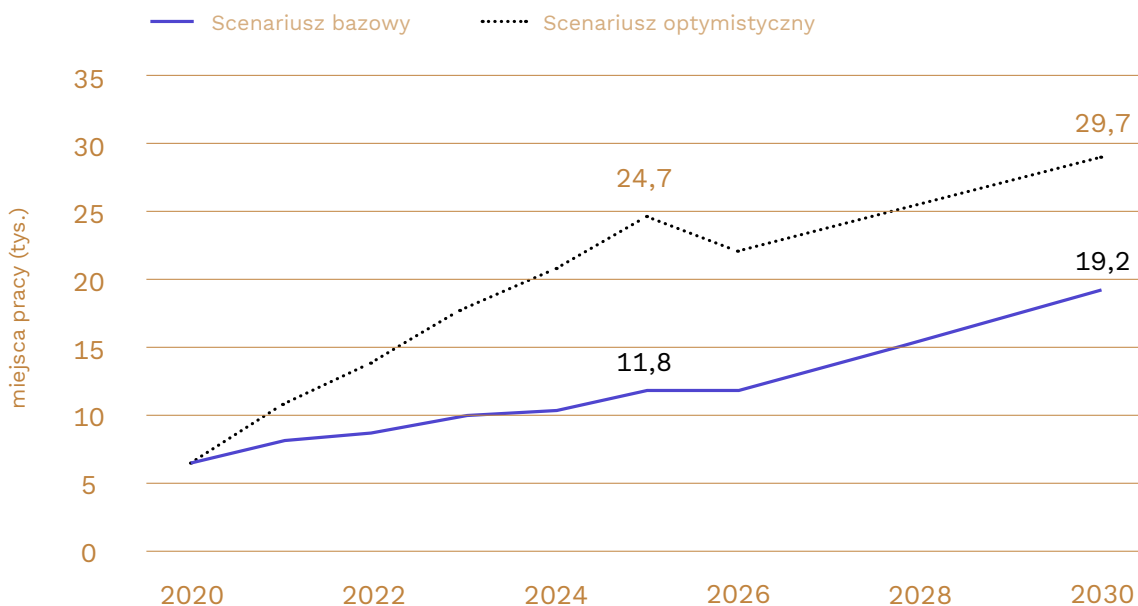


- Energia geotermalna
- Biomasa
- Wiatr
- Węgiel – bezpośrednie miejsca pracy

Źródło: opracowanie własne In strat.

Uwaga: W przypadku OZE, zmiana zatrudnienia obejmuje bezpośrednie i pośrednie miejsca pracy łącznie.

**Wykres 7. Różnica zatrudnienia pomiędzy scenariuszami w poszczególnych latach, 2020-2030.**



Źródło: opracowanie własne In strat. Uwaga: W przypadku OZE, zmiana zatrudnienia obejmuje bezpośrednie i pośrednie miejsca pracy łącznie.

Zakładając, iż osoby zatrudnione w nowo utworzonych miejscach pracy w scenariuszu optymistycznym będą otrzymywać wynagrodzenie na poziomie średniej krajowej, gminy i powiaty Wielkopolski Wschodniej mogą osiągnąć ponad pół miliarda złotych większych dochodów własnych do końca dekady<sup>24</sup>. Tego typu wzmocnienie finansowe będzie z pewnością przydatne dla samorządów, które borykają się z ryzykiem utraty dużej części dochodów w związku z zakończeniem działalności kompleksu ZE PAK.

## 3.2. Wartość dodana

Udział kopalni i elektrowni węglowych w strukturze wartości dodanej sektora elektroenergetycznego będzie stopniowo malał w obu scenariuszach, chociaż w szybszym tempie w scenariuszu optymistycznym. Będzie to związane nie tylko z faktem zamknięcia kompleksu węglowego w 2025 roku, lecz również w stopniowym zmniejszaniu ilości wygenerowanej energii elektrycznej w latach poprzedzających zamknięcie, za sprawą rosnącej mocy zainstalowanej technologii OZE, które ze względu na zerowe koszty krańcowe będą ograniczać użytkowanie bloków węglowych na podstawie klasyfikacji merit order<sup>25</sup>. Mimo zmiany miksu energetycznego Wielkopolski Wschodniej, poziom wartości dodanej lokalnego sektora elektroenergetycznego będzie się kształtował przez całą dekadę na zbliżonym poziomie, z najniższym punktem w 2025 roku.

Przedstawione w poniższym rozdziale prognozy wartości dodanej dotyczą jedynie procesu generowania energii elektrycznej (odnosząc się do sekcji B, C i D gospodarki zgodnie z PKD), bez udziału wartości dodanej pochodzącej z dodatkowych etapów łańcucha wartości poszczególnych technologii (np. produkcji wież, okablowania czy stacji transformatorowych).

W scenariuszu optymistycznym wartość dodana będzie rosła w każdym kolejnym roku, osiągając na koniec dekady dwukrotnie większą wartość niż obecnie. Będzie to możliwe na skutek generacji dużej ilości energii elektrycznej przy pomocy efektywnych kosztowo odnawialnych źródeł energii. W przeciwieństwie do zatrudnienia, gdzie energia wiatru nie generuje dużego wpływu na strukturę zatrudnienia z powodu jej niskiej bezpośredniej pracochłonności, wiatraki mają duży wpływ na wartość dodaną, pozwalając natomiast osiągnąć wysoką wartość dodaną na jednostkę wytworzonej energii<sup>26</sup>. Na koniec obecnej dekady przewidywany jest równy udział fotowoltaiki, biomasy oraz energii wiatru w wartości dodanej wypracowywanej przez sektor elektroenergetyczny Wielkopolski Wschodniej.

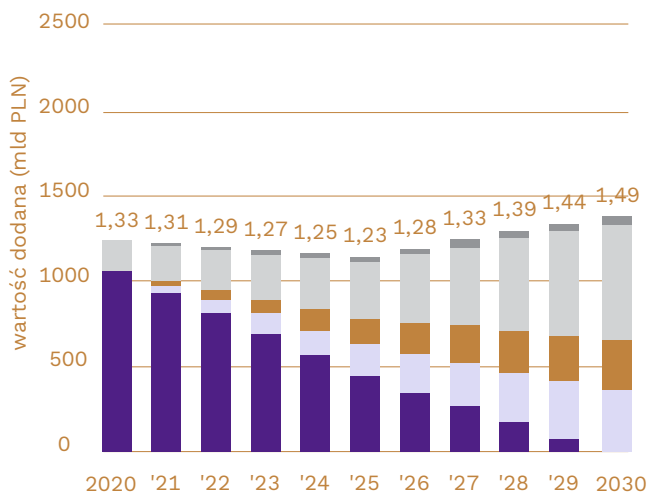
---

24 GUS, Gospodarka finansowa jednostek samorządu terytorialnego, 2018.

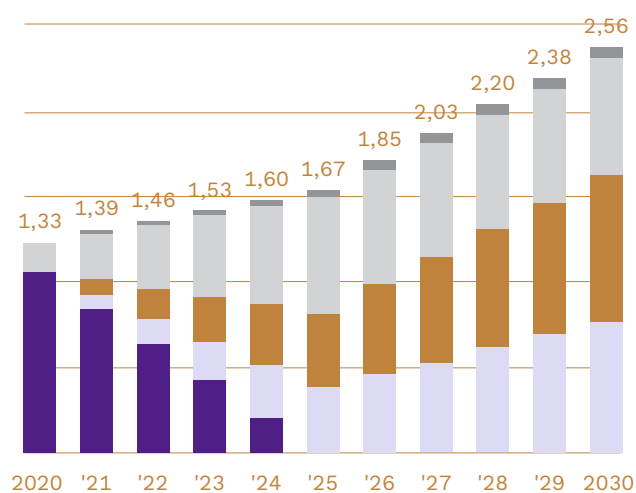
25 Polski Instytut Ekonomiczny & InStrat. Przyszły miks energetyczny Polski – determinanty, narzędzia i prognozy. PIE Working paper 6/2019, <https://pie.net.pl/dyweryfikacja-polskiego-miksu-energetycznego-juz-nie-tylko-konieczna-ale-i-mozliwa>, 2019.






**Wykres 8. Wartość dodana z energii wytworzonej w poszczególnych latach (mld PLN, w cenach stałych 2020) – scenariusz bazowy, 2020-2030.**



**Wykres 9. Wartość dodana z energii wytworzonej w poszczególnych latach (mln PLN, w cenach stałych 2020) – scenariusz optymistyczny, 2020-2030.**



-  Węgiel – pośrednie miejsca pracy
-  Biomasa
-  Magazyn energii Li-lon

-  Biogaz
-  Słońce
-  Energia geotermalna
-  Wiatr

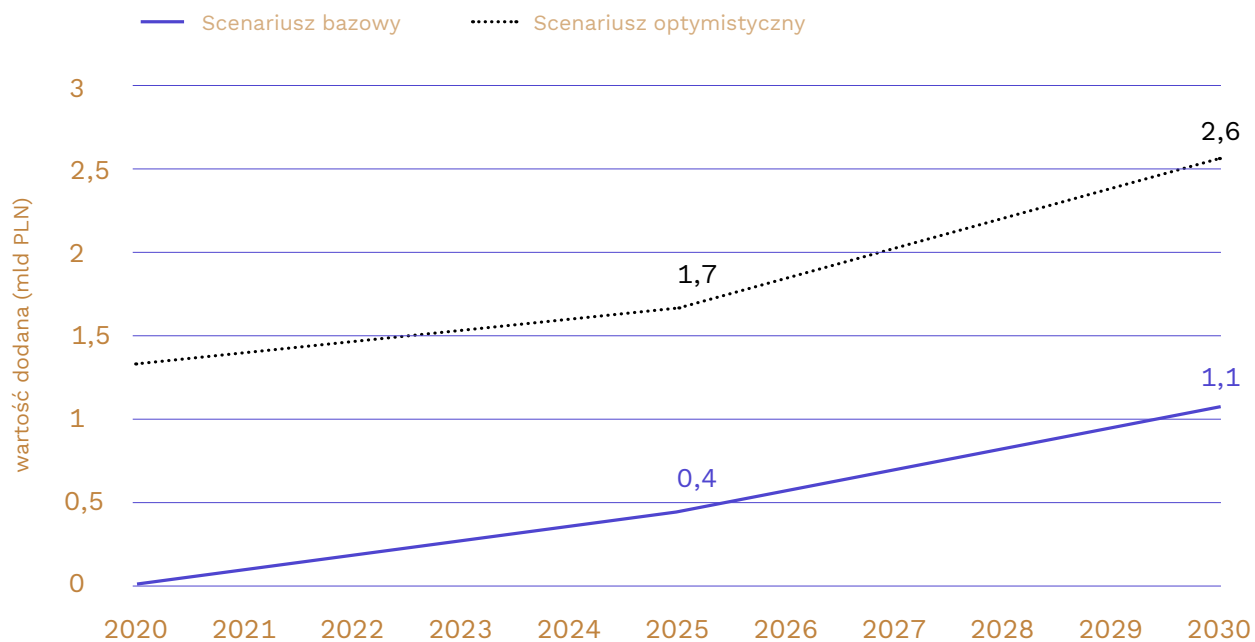
Źródło: opracowanie własne Instrat.

W każdym roku prognozowane jest systematyczne powiększanie się nadwyżki wartości dodanej w scenariuszu optymistycznym w odniesieniu do scenariusza bazowego, aż do osiągnięcia nieco ponad miliarda złotych w 2030 roku. Za cały okres 2020-2030, scenariusz optymistyczny pozwoli na wypracowanie 5,4 mld PLN dodatkowej wartości dodanej ponad scenariuszem bazowym (20 mld PLN w porównaniu z 14,6 mld PLN) w sektorze elektroenergetycznym Wielkopolski Wschodniej. Jest to o 41% więcej niż w przypadku scenariusza bazowego

Wzrost wartości dodanej osiągananej przez przedsiębiorstwa działające na terenie Wielkopolski Wschodniej wpłynie również na zwiększenie bazy podatku dochodowego od osób prawnych (CIT). Zgodnie z uchwalonymi

26 W przypadku energii wiatru niska pracochłonność dotyczy samego procesu instalacji wiatraków. Patrząc szerzej na potencjał wypracowywania wartości dodanej w sektorze energii wiatru, Polska znajduje się na odpowiedniej pozycji aby uzyskać istotny udział w całym łańcuchu dostaw – tj. produkcji wyposażenia takiego jak wieże, śmigła czy osprzęt elektryczny (Porębna, Śniegocki, 2019; Forum Energii, 2020a), co może przełożyć się na stworzenie kilkudziesięciu tysięcy nowych miejsc pracy do połowy XXI wieku (Forum Energii, 2020a; Porębna, Śniegocki, 2019 za: Instrat, 2020).

**Wykres 10. Różnica wartości dodanej pomiędzy scenariuszami w poszczególnych latach (mld PLN, w cenach stałych 2020), 2020-2030.**



Źródło: opracowanie własne Instrat.

przez Ministerstwo Finansów wskaźnikami, w 2019 roku 6,71% pobieranego podatku CIT trafia do budżetu gminy, w której jest zarejestrowane przedsiębiorstwo, zaś kolejne 1,40% zasila dochody własne budżetu powiatów. Dodatkowe 14,75% trafia natomiast do budżetu województw. Są to co prawda mniejsze wartości procentowe niż w przypadku podatku PIT, jednak w dalszym ciągu w scenariuszu optymistycznym można spodziewać się w latach 2020-2030 ponad 100 mln PLN dodatkowych dochodów własnych gmin i powiatów Wielkopolski Wschodniej w porównaniu z scenariuszem bazowym, zaś dochody własne budżetu województwa wielkopolskiego zwiększą się o ponad ćwierć miliarda złotych.

## 4. Podsumowanie różnic w rozwoju gospodarczym Wielkopolski Wschodniej pomiędzy scenariuszami

Zgodnie z najlepszą wiedzą autorów niniejszego opracowania, realizacja scenariusza optymistycznego przyczyni się na stałe do stworzenia ok. 10 tysięcy więcej nowych miejsc pracy w regionie w samym tylko sektorze elektroenergetycznym w porównaniu ze scenariuszem bazowym w perspektywie roku 2030. W celu realizacji scenariusza optymistycznego niezbędne będzie poniesienie dodatkowych wydatków inwestycyjnych w wysokości ok. 5,4 mld PLN, jednak te dodatkowe nakłady „zwrócą się” przyczyniając się do wypracowania wartości dodanej w regionalnej gospodarce, o równej wielkości.

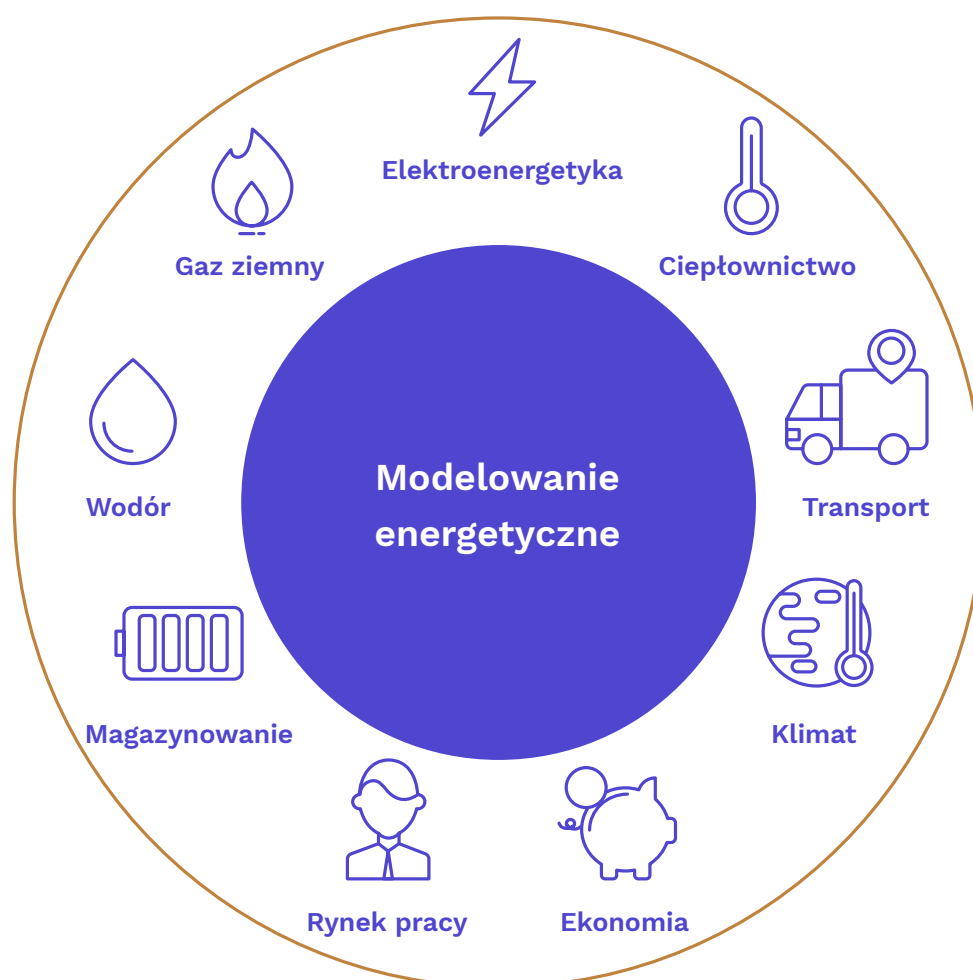
W scenariuszu optymistycznym dzięki zwiększeniu liczby pracujących mieszkańców Wielkopolski Wschodniej oraz poszerzeniu bazy podatkowej przedsiębiorstw, istotnej poprawie ulegnie sytuacja finansowa samorządów, spośród których wiele obawia się drastycznego spadku dochodów, oraz zmniejszona zostanie perspektywa pogorszenia się życia mieszkańców.

Zapewnienie perspektyw na lokalnym rynku pracy oraz utrzymanie dochodów niezbędnych do świadczenia usług publicznych przez samorzady stanowią kluczowe czynniki, które mogą spowolnić lub odwrócić niekorzystne procesy społeczno-gospodarcze w Wielkopolsce Wschodniej. Doświadczenia międzynarodowe pokazują, iż ambitne krajowe strategie odejścia od węgla w elektroenergetyce przyczyniły się do rozwoju gospodarczego regionów węglowych, w porównaniu do bardziej zachowawczych planów, uwzględniających oparcie elektroenergetyki na paliwach kopalnych przez dłuższy czas. Dlatego tak ważne jest kompleksowe i partycypacyjne podejście do sprawiedliwej transformacji.

# Załącznik: Założenia dot. modelowania systemów energetycznych

Model energetyczny używany przez Instrat bierze pod uwagę szereg czynników, nie ograniczając się jedynie do sektora elektroenergetycznego, ale łącząc wiedzę z wielu obszarów. Ekosystem modelowania energetycznego stosowany przez Instrat przedstawiono na Rys. Z.1.

Rysunek Z.1. Ekosystem modelowania energetycznego Instrat.



Główny nacisk kładziony jest na model systemu elektroenergetycznego, który niezwykle dokładnie odzwierciedla Polski rynek energii elektrycznej. Sektor elektroenergetyczny jest największym emitentem gazów cieplarnianych w Polsce (>40%) i tym samym jego transformacja jest kluczowa dla osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 r. Sektor ten jest jednak ściśle powiązany z innymi, które wpływają na stronę popytową i podażową. Należy do nich ciepłownictwo i gazownictwo, w szczególności z powodu rosnącego udziału kogeneracji w miksie energetycznym oraz konwersji niektórych węglowych jednostek wytwórczych na gazowe. Alternatywą dla gazu ziemnego jest wodór, który może być bezemisyjnym rozwiązaniem dla magazynowania i przesyłu energii elektrycznej na duże odległości, a także alternatywnym dla ropy paliwem dla sektora transportowego. Model bierze więc pod uwagę kwestie zmian cen gazu ziemnego, możliwości jego importu, a także spadające ceny elektrolizerów i innych technologii wodorowych, a także uwarunkowania regulacyjne wynikające np. ze Strategii Wodorowej UE z lipca 2020. Obok wodoru, model uwzględnia także przechowywanie energii w bateriach litowo-jonowych czy magazynach mechanicznych. Technologie te są kluczowe w bilansowaniu zmiennej produkcji energii z farm wiatrowych i słonecznych. Są one też blisko związane z sektorem transportu, który wpływa na zużycie energii – elektryfikacja transportu zwiększa bowiem obciążenie sieci dystrybucyjnych i zapotrzebowanie szczytowe na moc. Jednocześnie pojazdy elektryczne mogą być używane jako magazyny energii.

Transformacja energetyczna odbywa się w ściśle regulowanym otoczeniu, a polityki klimatyczne UE oraz Polski wpływają na dostępność finansowania i możliwości rozwoju poszczególnych technologii. Zmiany polityk uwzględniane są więc w modelu jako ograniczenia – np. jako cele redukcji emisji CO<sub>2</sub> z poszczególnych sektorów. Model zależny jest także od czynników klimatycznych – np. siły wiatru czy nasłonecznienia w poszczególnych częściach Polski. Wreszcie, transformacja energetyczna dotyka całej gospodarki. Wyniki modelowania energetycznego mogą więc być wykorzystywane w modelu makroekonomicznym do szacowania wpływu transformacji energetycznej na PKB czy rynek pracy.

Modelowanie energetyczne opiera się na autorskiej implementacji narzędzia PyPSA<sup>27</sup> – otwartego środowiska modelarskiego napisanego w języku Python i rozwijanego w niemieckim Karlsruher Institut für Technologie.

PyPSA jest szeroko używany w europejskich analizach systemów energetycznych, w tym scenariuszach łączenia sektorów elektroenergetycznego, ciepłownictwa, gazu ziemnego, wodoru i transportu. Przykładem takich analiz mogą być modele rynku niemieckiego wykonane w ramach projektu CoNDyNet, realizowanego przez 7 wiodących instytutów badawczych z Niemiec i finansowanego przez Federalne Ministerstwo Edukacji i Rozwoju (Bundesministerium für Bildung und Forschung), czy też projektu open-eGo finansowanego przez Federalne Ministerstwo Gospodarki

---

27 Brown, T., Hörsch, J., Schlachtberger, D., PyPSA: Python for Power System Analysis, Journal of Open Research Software, 6(1), 2018.

i Energii (Bundesministerium Für Wirtschaft Und Energie). Model PyPSA- był też cytowany w wielu publikacjach naukowych, w tym poświęconym relacji sektora elektroenergetycznego i innych.

Instrat operuje własną implementacją modelu PyPSA – modelem PyPSA-PL. Model ten umożliwia optymalizację miks energetycznego z rozdzielczością godzinową, przy szeregu ograniczeń sieciowych, szacując koszty krańcowe wytwarzania energii, całkowite koszty systemowe, obciążenie poszczególnych linii, konieczne inwestycje w infrastrukturę. Model oferuje następujące funkcje:

- rozbudowane wielowęzłowe sieci AC i DC, z kontrolowaną konwersją między liniami AC i DC
- różne typy i napięcia linii oraz transformatorów, w tym uwzględniające stan i wiek polskich sieci przesyłowych i dystrybucyjnych
- konwencjonalne jednostki wytwórcze z możliwością określenia dyspozycyjności
- jednostki wytwórcze ze zmienną produkcją – np. farmy wiatrowe czy słoneczne
- magazyny energii ze szczegółowym modelowaniem strat
- elektrownie wodne z modelowaniem przepływu
- powiązanie z siecią gazową, wodorową i ciepłownictwem, w tym poprzez jednostki typu CHP, P2H, P2G
- powiązanie z sektorem transportu, flota pojazdów elektrycznych

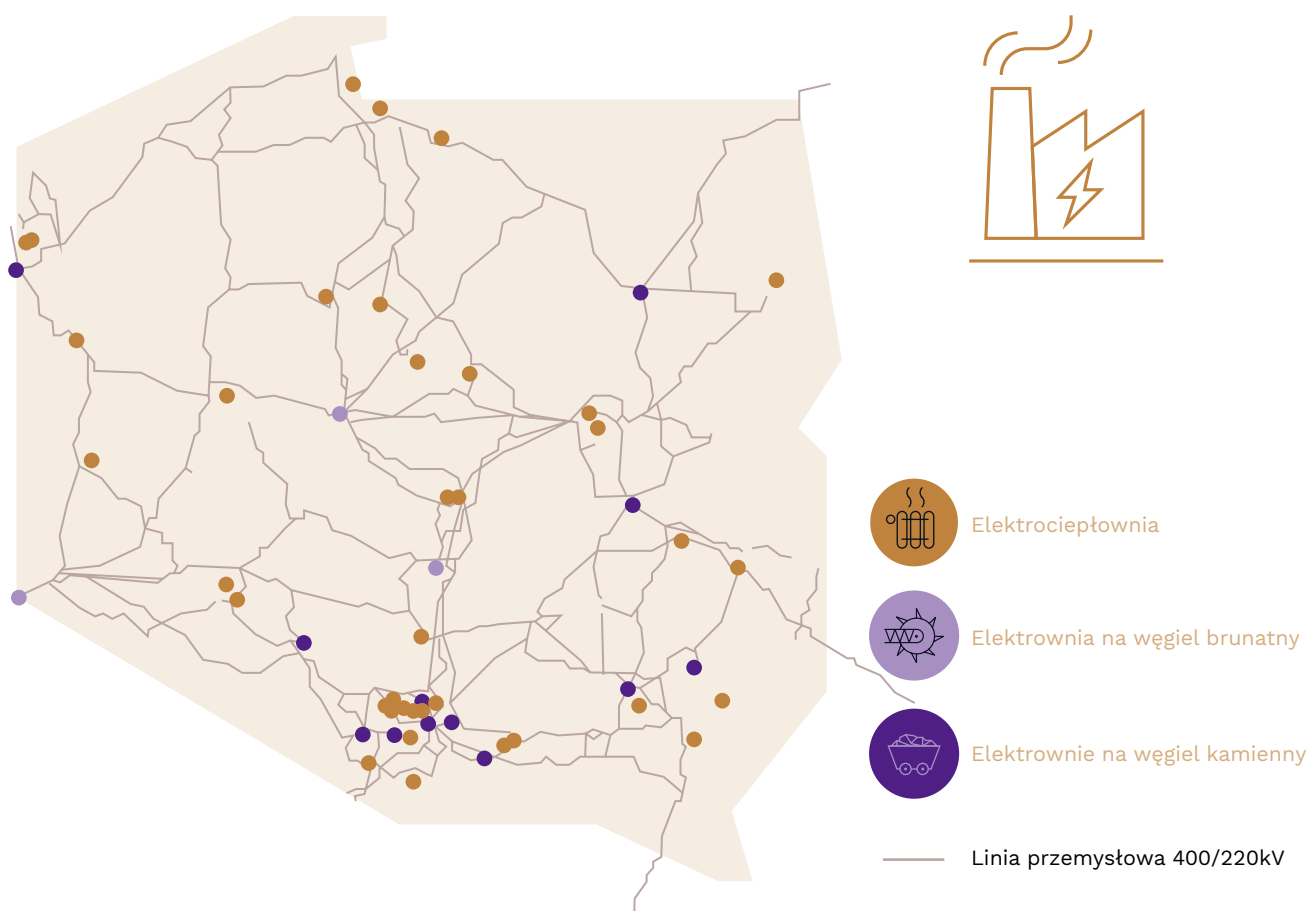
Wyniki modelu obejmują:

- Godzinowy profil wytwarzania energii
- Rozwój mocy zainstalowanych dla poszczególnych technologii
- Koszty średnie wytwarzania energii w systemie
- Całkowite koszty transformacji (włącznie z CAPEX)
- Ścieżki redukcji emisji CO<sub>2</sub>
- Współczynnik wykorzystania mocy dla każdej jednostki wytwórczej
- Obciążenie linii przesyłowych i dystrybucyjnych
- Koszty inwestycji w infrastrukturę sieciową
- Profile ładowania i rozładowania magazynów energii i EV w konkretnych węzłach sieci.

Na bazie środowiska PyPSA, Instrat stworzył niezwykle precyzyjny model polskiego system energetycznego – PyPSA-PL, używając m.in. na danych z własnej platformy energy.instrat.pl. Model cechuje się niespotykaną granularnością – zapotrzebowanie modelowane jest nawet na poziomie powiatów, podobnie jak rozwój OZE. Z kolei sieć przesyłowa i dystrybucyjna może być odwzorowana do poziomu 110kV lub nawet 60 i 15 kV, z uwzględnieniem stanu i wieku poszczególnych linii, a lista jednostek wytwórczych powstała z połączenia dziesiątek źródeł danych. Metodologia użyta w projekcie bazuje na aktualnych najlepszych praktykach modelarskich używanych w projektach H2020 np. Energy Modelling Platform for Europe (EMP-E).

W publikacji użyto modelu wojewódzkiego, z niezwykle rozbudowaną bazą ciepłych jednostek wytwórczych, w tym większych elektrociepłowni, (Rys. Z.2.) oraz z powiatowym odwzorowaniem instalacji OZE (Rys. Z.3.).

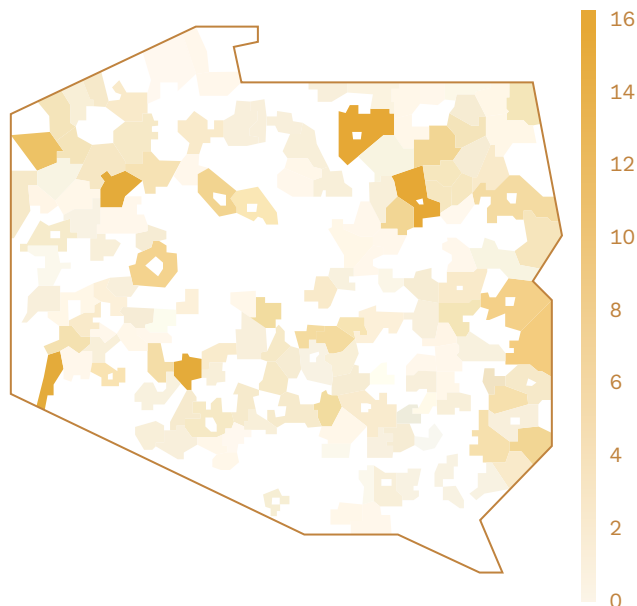
**Rysunek Z.2. Elektrociepne w modelu PyPSA-PL.**



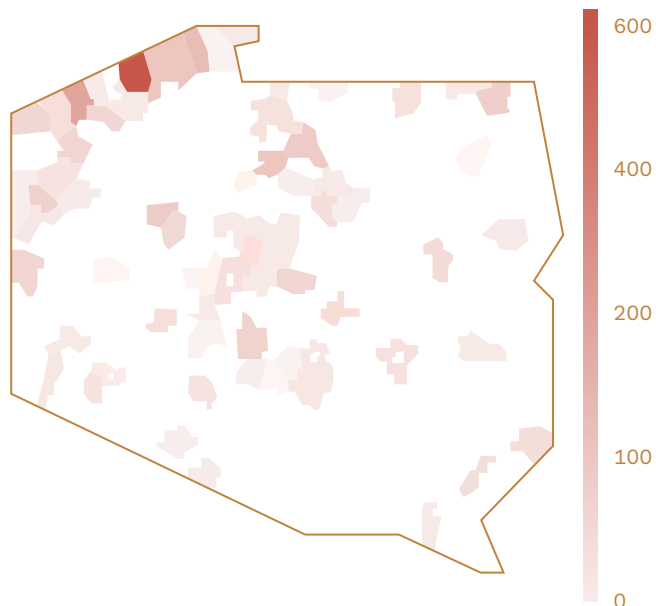
Źródło: opracowanie własne na podstawie m.in. danych energy.instrat.pl, ARE, PSE, open street map

Rysunek Z.3. Przestrzenny rozkład instalacji OZE w Polsce.

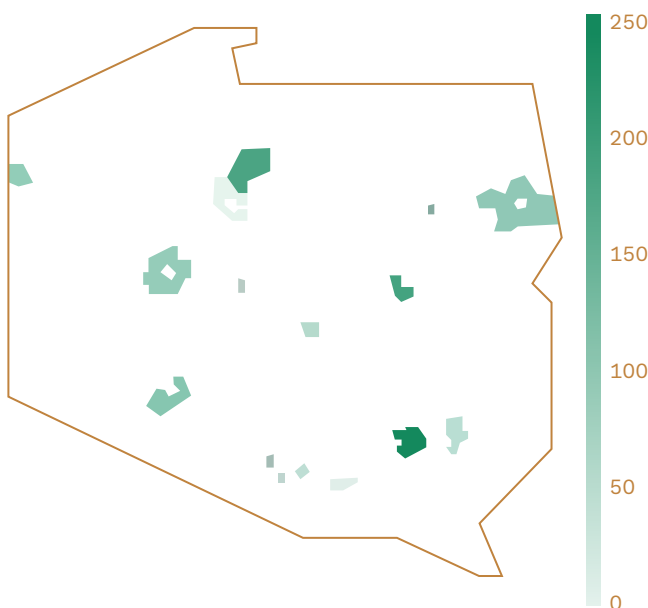
Elektrownie słoneczne



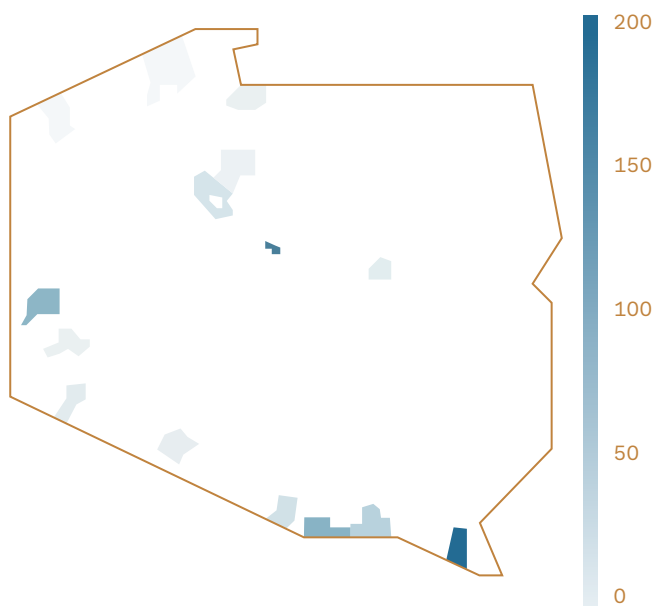
Elektrownie wiatrowe



Elektrownie na biomasę/biogaz



Elektrownie wodne

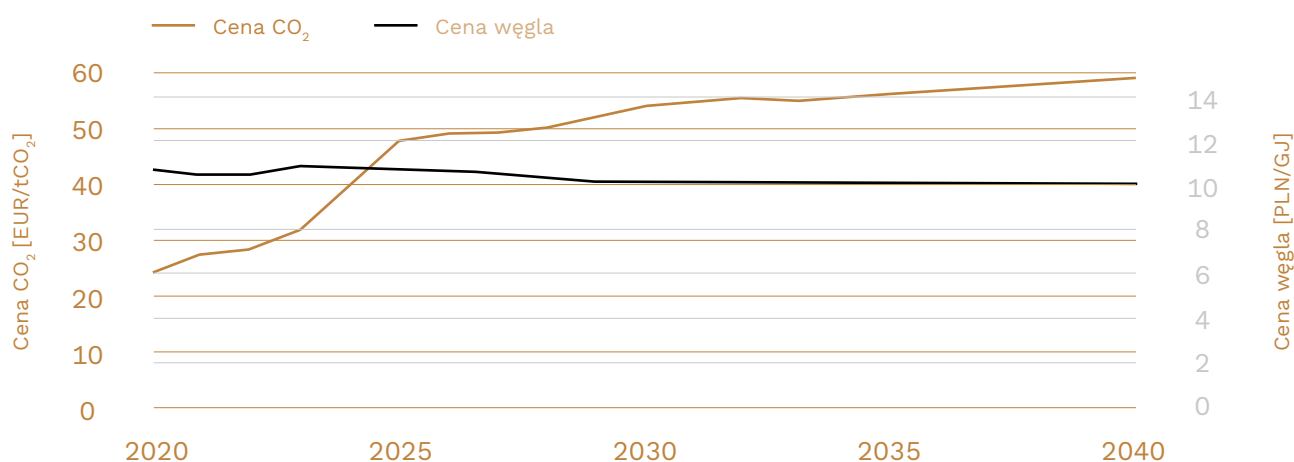




Przeprowadzono szczegółową analizę kosztów wytwarzania energii w poszczególnych jednostkach wytwórczych (z dokładnością do bloków), co pozwoliło na stworzenie pełnego obrazu systemu merit-order. PyPSA-PL może wyliczyć koszty wytwarzania energii w każdej godzinie, które później mogą być użyte do prognozowania ceny energii elektrycznej dla odbiorców końcowych. Te z kolei może być użyte w badaniu społecznej akceptacji zmian cen na rynku, czy w analizach makroekonomicznych.

Założenia dot. cen węgla i cen CO<sub>2</sub> pochodzą z „Koncepcji transformacji polskiego podsektora elektroenergetycznego”<sup>28</sup> i przedstawiono je na Wykresie Z.1. Założenia te należy uznać za konserwatywne, w porównaniu do rządowych źródeł są jednak najbardziej aktualne.

**Wykres Z.1. Ceny węgla i uprawnień do emisji CO<sub>2</sub> użyte w PyPSA-PL.**



Źródło: Instrat, CC BY 4.0. Dane z koncepcji restrukturyzacji polskiego rynku energii.

Koszty transportu węgla kamiennego obliczono na podstawie odległości od najbliższej kopalni (PGG lub LWB) i taryf PKP Cargo na 2020 r.<sup>29</sup>, zakładając 50% rabat<sup>30</sup> i wzrost w przyszłości wynikający z liniowej ekstrapolacji trendu. Koszty wydobycia węgla brunatnego z publikacji AGH<sup>31</sup>, przy czym te ostatnie (z roku 2008) skalibrowano do wartości bieżących na podstawie cen kontraktów terminowych na Towarowej Giełdzie Energii i estymacji SRMC od Carbon Tracker Initiative<sup>32</sup>. Pozostałe koszty zmienne (O&M) dla elektrowni na węgiel brunatny i kamienny bazują na danych z PEP2040 zaktualizowanych o inflację do cen w 2020 r.<sup>33</sup>, założono brak wzrostu (realnie) pozostałych kosztów zmiennych i kosztów stałych.

28 Czyżak, P., Kukuła, W., 2020, op.cit.

29 PKP CARGO, Taryfa towarowa PKP CARGO S.A., 2019, [https://www.pkpcargo.com/media/1000177/tt\\_01012020\\_zmiany\\_internet.pdf](https://www.pkpcargo.com/media/1000177/tt_01012020_zmiany_internet.pdf)

30 Stala-Szlugaj, Analiza kosztów transportu w cenie węgla dla energetyki, 2012, [https://se.min-pan.krakow.pl/publikacje/12\\_02ks\\_pg\\_z.pdf](https://se.min-pan.krakow.pl/publikacje/12_02ks_pg_z.pdf)

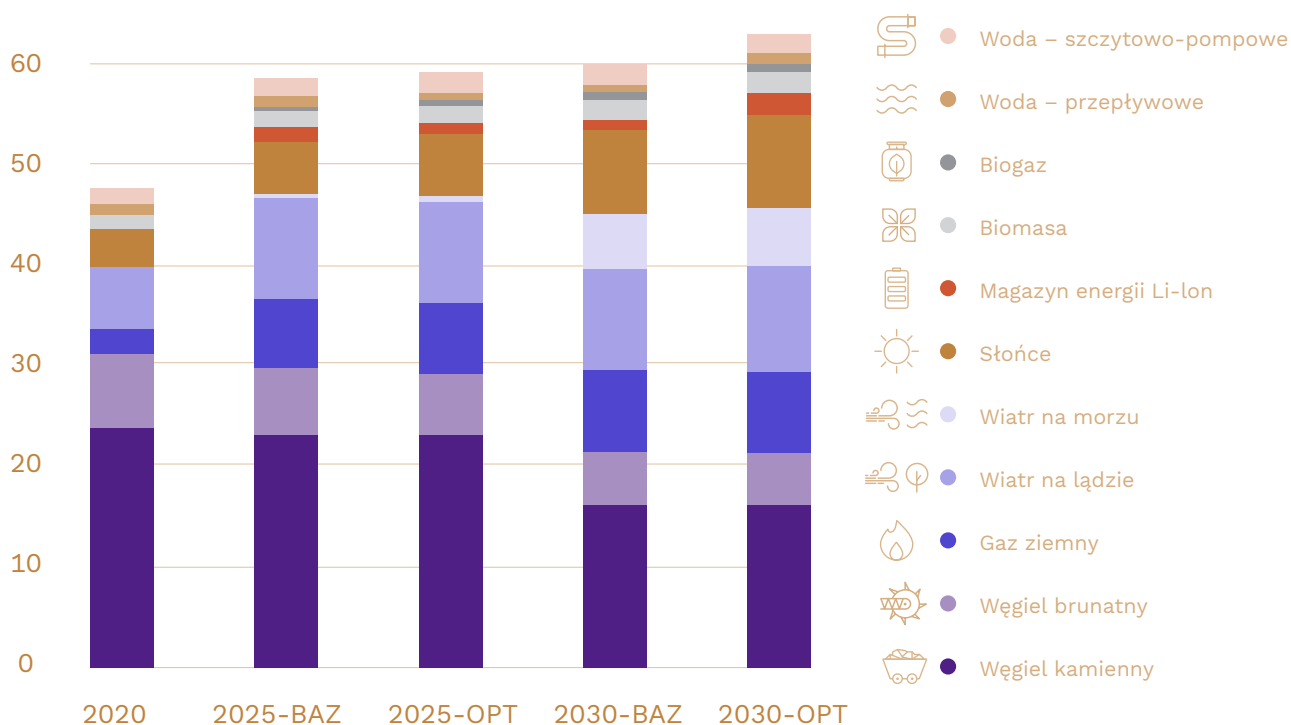
31 Czopek, Trzaskus – Żak (2009)., Koszty i ceny węgla brunatnego w warunkach rynkowych, 2009, [https://se.min-pan.krakow.pl/pelne\\_teksty23/k23z\\_pe/k23\\_czopek\\_trzaskus\\_z.pdf](https://se.min-pan.krakow.pl/pelne_teksty23/k23z_pe/k23_czopek_trzaskus_z.pdf).

32 Carbon Tracker, (2018). Powering down coal: Navigating the economic and financial risks in the last years of coal power, 2018, <https://carbontracker.org/reports/coal-portal>

33 Ministerstwo Klimatu i Środowiska, (2021). Polityka energetyczna Polski do 2040, <https://www.gov.pl/web/klimat/polityka-energetyczna-polski-do-2040-r-przyjeta-przez-rade-ministrow>

Tempo wyłączenia poszczególnych bloków węglowych bazuje na wspomnianej „Koncepcji transformacji polskiego podsektora elektroenergetycznego”, moce zainstalowane dla pozostałych technologii wynikają z prognoz zawartych w PEP2040 w wersji z 2021 r.<sup>34</sup>, przy czym dla gazu ziemnego w modelu odwzorowano konkretne jednostki będące obecnie w realizacji. Z powodu problemów z bilansowaniem KSE w 2030 r., zwiększono także planowaną moc morskich farm wiatrowych w 2030 r. do wartości ze scenariusza wysokich cen CO<sub>2</sub> (5,9 GW). Wynikające z powyższych założeń zmiany mocy zainstalowanej przedstawiono na Wykresie Z.2. Zgodnie z rozdziałem 1., scenariusze różnią się tempem wyłączenia bloków Elektrowni Pątnów, a także tempem rozwoju OZE – w skali kraju zmiany te są nieznaczne, jak zostało jednak wykazane w rozdziale 2., będą miały jednak wpływ na łączne emisje CO<sub>2</sub>.

**Wykres Z.2. Zmiany mocy zainstalowanej w PyPSA-PL dla scenariusza bazowego i optymistycznego [GW]**



Warto zaznaczyć, że wyniki optymalizacji w PyPSA-PL były testowane względem historycznych wartości produkcji energii elektrycznej w poszczególnych blokach węglowych i innych źródłach w roku 2019 – dla elektrowni zawodowych średnie odchylenie wyniosło jedynie 6% co pokazuje, że model niezwykle dokładnie odwzorowuje mechanikę uruchamiania poszczególnych źródeł wytwórczych.

<sup>34</sup> Scenariusz umiarkowanych cen CO<sub>2</sub>



