

Politechnika Warszawska

WYDZIAŁ GEODEZJI I KARTOGRAFII



Instytut Automatyki i Robotyki

Praca dyplomowa magisterska

na kierunku Automatyka, Robotyka i Informatyka Przemysłowa

w specjalności Rzecznictwo

Dupa Dupa

inż. Ivan Kalianovich

numer albumu 335662

promotor

prof. dr inż. Paweł Wnuk

WARSZAWA 2025

Dupa Dupa

Streszczenie

To jest streszczenie. To jest trochę za krótkie, jako że powinno zająć całą stronę.

 Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

 Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

 Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

 Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Słowa kluczowe: A, B, C

Dupa Dupa

Abstract

This is abstract. This one is a little too short as it should occupy the whole page.

 Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetuer id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

 Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

 Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

 Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Keywords: X, Y, Z

Spis treści

1 Wstęp	9
2 Dane i zmienne	13
2.1 Opis zbioru danych	13
2.2 Zmienna zależna	13
2.3 Zbiór zmiennych niezależnych	15
2.3.1 Dane pogodowe	16
2.3.2 Produkcja energii z wybranych źródeł	19
2.3.3 Handel energią z państwami sąsiednimi	22
Bibliografia	23
Wykaz skrótów i symboli	25
Spis rysunków	27
Spis tabel	29
Spis załączników	31

Rozdział 1

Wstęp

Rynek energii elektrycznej to jeden z filarów współczesnej gospodarki, a jego sprawne funkcjonowanie ma kluczowe znaczenie dla stabilności systemów elektroenergetycznych, przedsiębiorstw i codziennego życia konsumentów. W centrum tego rynku znajduje się Rynek Dnia Następnego (RDN), który działa jako platforma handlu energią na dzień przed jej dostarczeniem. RDN jest miejscem, gdzie producenci energii od elektrowni węglowych po farmy wiatrowe spotykają się z odbiorcami, takimi jak dostawcy energii dla domów mieszkalnych czy duże zakłady przemysłowe, aby ustalić ceny i wolumeny energii na każdą godzinę kolejnego dnia. Mechanizm działania RDN opiera się na systemie aukcyjnym: uczestnicy składają oferty kupna i sprzedaży, określając, ile energii są w stanie dostarczyć lub kupić oraz po jakiej cenie. System następnie dopasowuje te oferty, ustalając cenę równowagi, która obowiązuje dla danej godziny.

Taki model handlu pozwala na elastyczne reagowanie na zmieniające się warunki – zarówno po stronie podaży, jak i popytu. Na przykład, jeśli prognozy wskazują na silny wiatr, producenci energii wiatrowej mogą zwiększyć podaż, co może obniżyć ceny; z kolei fala upałów może zwiększyć zapotrzebowanie na energię do klimatyzacji, podnosząc ceny. RDN działa w wielu krajach, choć jego specyfika różni się w zależności od regionu. W Europie, w tym w Polsce, rynek ten jest częścią szerszego systemu integracji rynków energii, który ma na celu zapewnienie płynności i efektywności handlu. W Stanach Zjednoczonych RDN funkcjonuje w ramach regionalnych rynków, takich jak PJM Interconnection czy California ISO (CAISO), gdzie handel energią jest dodatkowo skomplikowany przez różnice regulacyjne między stanami i większą zależność od Odnawialne Źródła Energii (OZE). Niezależnie od regionu, RDN jest kluczowym narzędziem w zarządzaniu systemem elektroenergetycznym, umożliwiając szybkie dostosowanie podaży do popytu w krótkim horyzoncie czasowym.

Jednak handel na RDN to nie tylko szansa na zysk dla wszystkich biorących udział, ale i ogromne ryzyko finansowe, które wynika z nieprzewidywalności cen energii. Na rynku amerykańskim, gdzie mechanizm licytacji między kupującymi (buyers) a sprzedającymi (sellers) jest szczególnie rozwinięty, ryzyko to jest wyjątkowo widoczne. Uczestnicy rynku muszą składać oferty w czasie rzeczywistym, próbując przewidzieć, jak zachowa się cena w danej godzinie. Jeśli producent energii zaoferuje zbyt

wysoką cenę, jego energia może nie zostać kupiona, co oznacza utratę przychodów; z kolei kupujący, który zaoferuje zbyt niską cenę, może zostać zmuszony do zakupu energii po znacznie wyższej cenie rynkowej. Przykładem skali tego ryzyka jest kryzys w Teksasie [1] w lutym 2021 roku, znany jako Texas winter storm. W wyniku ekstremalnych mrozów i awarii systemu elektroenergetycznego ceny na rynku ERCOT (Electric Reliability Council of Texas) wzrosły do 9000 USD/MWh – poziomu, który dla wielu uczestników rynku oznaczał straty liczone w dziesiątkach milionów dolarów. W takich warunkach dokładna predykcja cen staje się nie tylko narzędziem do optymalizacji handlu, ale wręcz koniecznością, by uniknąć katastrofalnych strat. Na rynkach krajów rozwiniętych, gdzie OZE odgrywają coraz większą rolę, ceny mogą spaść do wartości ujemnych w godzinach nadprodukcji (np. z energii słonecznej), by kilka godzin później gwałtownie wzrosnąć, gdy zapotrzebowanie przewyższa podaż. Ta zmienność sprawia, że handel na RDN przypomina grę o wysoką stawkę, w której każdy ruch musi być dokładnie przemyślany.

Rynek bilansujący stanowi kolejny istotny element systemu elektroenergetycznego, uzupełniając funkcjonowanie RDN. Działa on w czasie rzeczywistym, umożliwiając operatorom systemu elektroenergetycznego (w Polsce jest to Polskie Sieci Elektroenergetyczne, PSE) równoważenie podaży i popytu w sytuacjach, gdy rzeczywiste zużycie energii odbiega od prognoz ustalanych na RDN. Na rynku bilansującym uczestnicy mogą zgłaszać oferty na dostawy energii w bardzo krótkim horyzoncie czasowym, nawet w ciągu kilkunastu minut, co pozwala na szybkie reagowanie na nagłe zmiany, takie jak awarie elektrowni, nieoczekiwane skoki zapotrzebowania czy zmienność produkcji z OZE. Ceny na rynku bilansującym są często bardziej zmienne niż na RDN, co dodatkowo zwiększa ryzyko finansowe dla uczestników, ale jednocześnie podkreśla znaczenie precyzyjnych prognoz cen, które mogą pomóc w lepszym zarządzaniu tymi krótkoterminowymi wahaniami.

W niniejszej pracy magisterskiej skupiam się na analizie RDN w Polsce, który choć różni się od rynku amerykańskiego pod względem skali i regulacji, również zmaga się z podobnymi wyzwaniem. W Europie, w tym w Polsce, RDN jest częścią zintegrowanego systemu handlu energią, który opiera się na współpracy między krajami i dąży do harmonizacji rynków energii w ramach Unii Europejskiej. Mechanizm ustalania cen na RDN w Polsce opiera się na zasadzie jednolitej ceny (ang. uniform pricing), gdzie cena rozliczeniowa, jest wyznaczana na podstawie równowagi popytu i podaży dla każdej godziny. Oznacza to, że wszyscy uczestnicy, których oferty zostały zaakceptowane, rozliczają się po tej samej cenie, co zapewnia przejrzystość i efektywność handlu. W Polsce RDN jest prowadzony przez Towarową Giełdę Energii (TGE), która od 2000 roku pełni rolę kluczowej platformy handlu energią. TGE organizuje aukcje na RDN, umożliwiając uczestnikom składanie ofert na każdą godzinę kolejnego dnia. W latach 2016–2024, które obejmują analizowany w pracy okres, ceny na RDN w Polsce wały się od 200 PLN/MWh aż do ponad 3000 PLN/MWh, co odzwierciedla zarówno lokalne uwarunkowania (np. zależność od węgla, rosnąca rola OZE), jak i globalne trendy, w tym czarne łabędzie, takie jak wybuch pandemii i wprowadzenie restrykcji na pracę oraz kryzys energetyczny w 2022 roku wywołany konfliktem zbrojnym na Ukrainie. Celem pracy jest analiza i porównanie skuteczności trzech modeli uczenia maszynowego – regresji Ridge, Prophet i

sieci neuronowej MLP oraz sprawdzenia dobranych parametrów i zaproponowanej przeze mnie bazy danych.

Rozdział 2

Dane i zmienne

2.1 Opis zbioru danych

Dane odgrywają kluczową rolę w analizie i prognozowaniu cen energii na Rynku Dnia Następnego (RDN) w Polsce, stanowiąc fundament dla modeli uczenia maszynowego zastosowanych w niniejszej pracy. Zbiór danych wykorzystany w badaniu obejmuje okres od 1 stycznia 2016 roku do 31 grudnia 2024 roku i zawiera dane godzinowe, co powinno było dać łącznie 78 912 rekordów. Niestety niektóre dane są niekompletne i zawierają braki lub NaN wartości. Na szczęście, takich braków było stosunkowo nie dużo do kompletnych danych i postanowiłem pozbyć się rekordów o pustych parametrach. W efekcie, po usunięciu niekompletnych danych, pozostało 78 814 rekordów, co stanowi solidną podstawę do analizy i modelowania. Zbiór danych zawiera różnorodne zmienne, które można podzielić na kilka kategorii, które zostaną opisane w tym dziale. Większość danych pochodzi z Polskie Sieci Elektroenergetyczne (PSE) [3], czyli otwartej platformie, która dostarcza różnego rodzaju danych dostępnych dla analizy. Warto zauważyć, że od 14 czerwca 2024 roku PSE zmieniła sposób raportowania danych i przeszła na nową stronę [4], w związku z tym PSE posiada dwie oddzielne strony do raportów historycznych przed i po tym dniu. Wiele z danych zostało pobrane również ze strony energy.instrat.pl. Jest to strona, która pobiera dane z platformy PSE i udostępnia w sposób wygodniejszy, ponieważ dane są do pobrania jednym klikiem za dowolny okres czasu z dowolną częstotliwością. Dane dotyczące cen paliw kopalnych oraz kursów walut (np. PLN/USD) zostały pozyskane z innych źródeł, takich jak publiczne bazy danych rynkowych i platformy finansowe. Niniejszy rozdział szczegółowo opisuje zmienną zależną i zmienne niezależne, podzielone na kategorie, a także prezentuje kluczowe cechy danych za pomocą tabel i wykresów, co pozwala na lepsze zrozumienie ich specyfiki i wyzwań związanych z modelowaniem.

2.2 Zmienna zależna

Zmienna zależna w niniejszej pracy to `fixing_i_price`, czyli cena energii elektrycznej na Rynku Dnia Następnego (RDN) w Polsce, wyrażona w PLN/MWh. Dane dotyczące tej zmiennej zostały pobrane

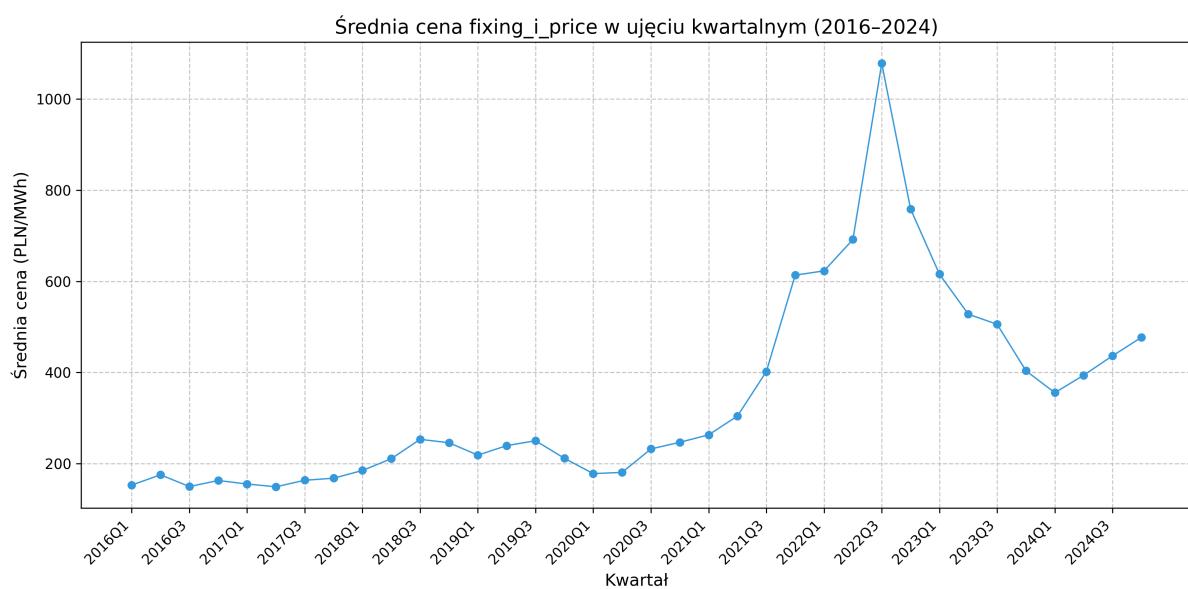
Rozdział 2. Dane i zmienne

z wymienionej platformy energy.instrat.pl w granulacji godzinowej. Zbiór danych obejmuje okres od 1 stycznia 2016 roku do 31 grudnia 2024 roku. Statystyki opisowe zmiennej `fixing_i_price` przedstawiono w Tabeli poniżej.

Statystyka	Wartość
Średnia	344.10 PLN/MWh
Odczytanie std.	268.35 PLN/MWh
Minimum	-360.00 PLN/MWh
25% (Q1)	176.11 PLN/MWh
Median	250.00 PLN/MWh
75% (Q3)	434.84 PLN/MWh
Maksimum	3812.45 PLN/MWh

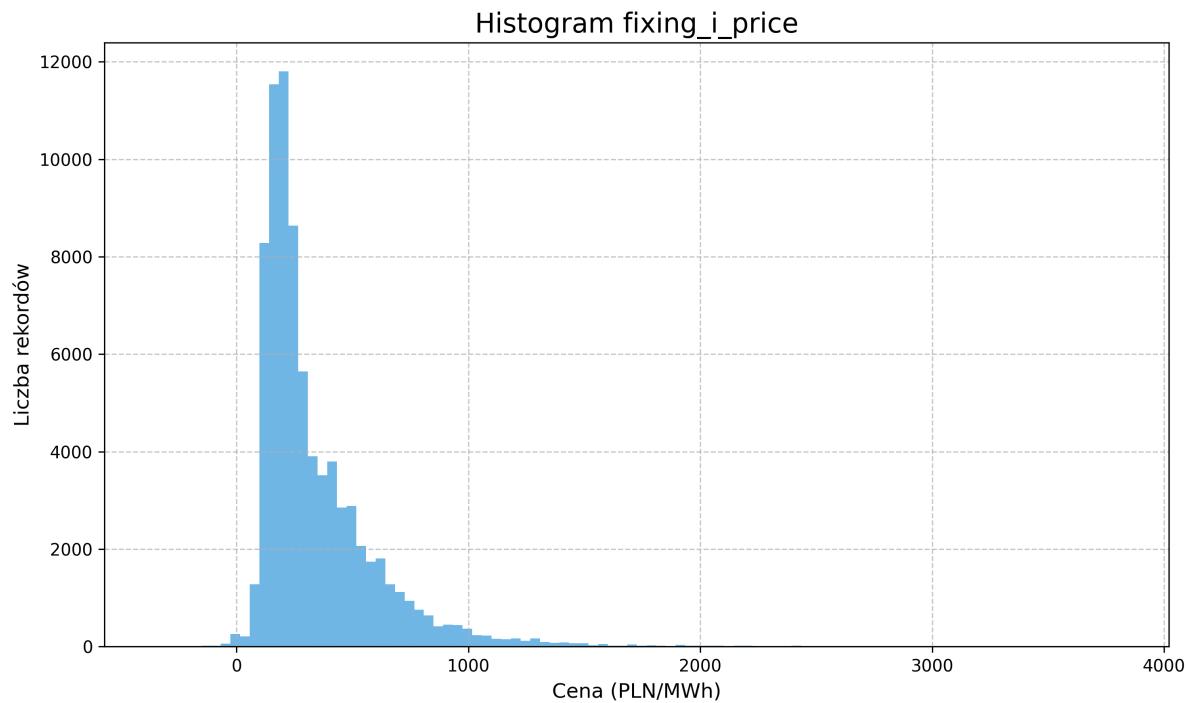
Tabela 1. Podstawowe statystyki zmiennej `fixing_i_price`

Aby lepiej zrozumieć dynamikę cen energii na RDN, przeanalizowano ich zmienność w całym okresie badania. Rysunek poniżej przedstawia zmienność cen energii w czasie zebranych danych.



Rysunek 1. Zmienność cen energii elektrycznej na RDN w latach 2016–2024

Widać wyraźne różnice w poziomie cen w różnych okresach: od 2016 do Q4 roku 2020 ceny były stosunkowo stabilne, oscylując w przedziale 100–300 PLN/MWh. Sytuacja zmieniła się w 2020 roku, gdy zaczęły pojawiać się pierwsze skoki cenowe z powodu poważnych obostrzeń z powodu pandemii, a w 2022 roku, w wyniku kryzysu energetycznego wywołanego wojną na Ukrainie i ograniczeniami w dostawach paliw kopalnych, ceny osiągnęły rekordowe poziomy. Pierwszy okres zostanie określony jako okres stabilności cenowej, a drugi jako okres skoków cenowych. Te dwa okresy pokazują, jak



Rysunek 2. Histogram rozkładu zmiennej `fixing_i_price`

niekorzystne sytuacje gospodarcze mogą wpływać na dynamikę cen energii, co ma istotne implikacje dla modelowania i prognozowania.

Rysunek 2 przedstawia histogram rozkładu zmiennej `fixing_i_price`. Rozkład jest wyraźnie asymetryczny, z długim prawym ogonem, co odzwierciedla występowanie skoków cenowych, takich jak te w 2022 roku. Ujemne ceny, choć rzadkie (ok. 0,4% rekordów), są widoczne w lewej części histogramu, co potwierdza specyficzne cechy danych i potrzebę stosowania odpowiednich metod modelowania.

2.3 Zbiór zmiennych niezależnych

Dobór zmiennych niezależnych jest bardzo ważny dla osiągnięcia dobrych wyników badania. W niniejszej pracy wykorzystano różnorodne zmienne niezależne, które można podzielić na kilka kategorii. Obejmują one dane pogodowe, zapotrzebowanie, straty sieciowe, bilanse wymiany transgranicznej, dane o produkcji energii przez poszczególne typy generatorów, ceny paliw kopalnych, emisji CO₂ i inne. Wybór tych zmiennych oparty jest na ich potencjalnym wpływie na ceny energii elektrycznej. Poniżej przedstawiono szczegółowy opis każdej z kategorii zmiennych niezależnych, które zostały uwzględnione w analizie.

2.3.1 Dane pogodowe

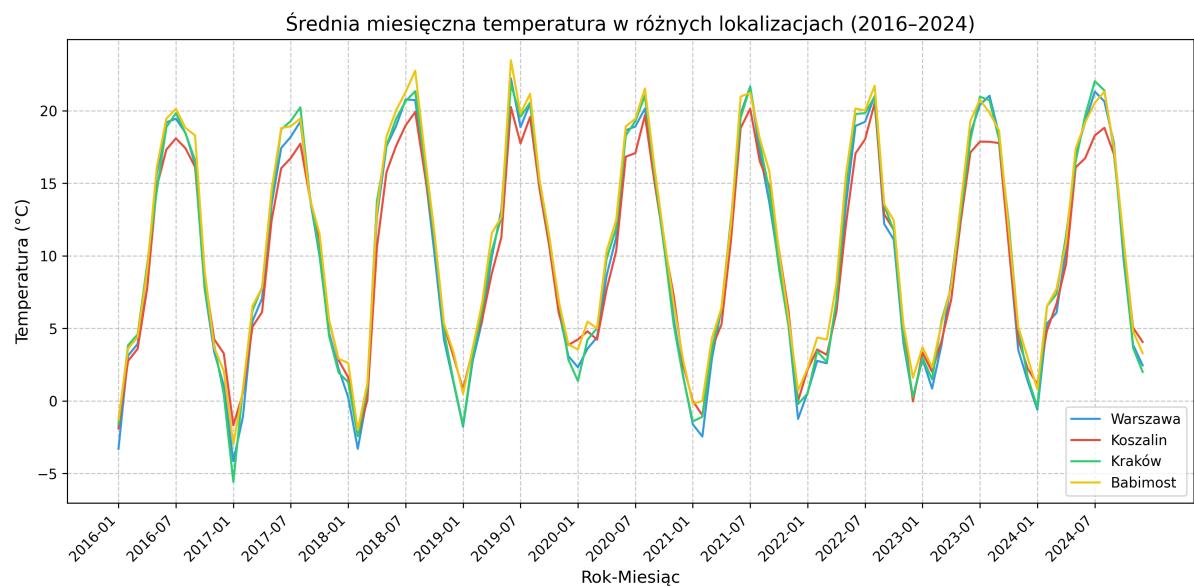
Pierwotnie zbiór danych miał być zestawiony z danych dostępnych za pomocą oficjalnej strony Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, natomiast dane historyczne z lat 2016-2024 mają ograniczoną rozdzielcość. Zbierane są przez wiele stacji meteorologicznych, które są rozproszone po całym kraju, ale tylko w godzinach 6:00, 12:00 oraz 18:00. Aproxymować dane pogodowe w godzinach nocnych jest zadaniem nie do wykonania, szczególnie w przypadku sezonów zimowych, gdzie temperatura w nocy może drastycznie spadać w ciągu godziny. Z tego powodu jako źródło danych pogodowych wykorzystano stronę open-meteo.com [2]. Jest to strona, która zbiera dane z różnych stacji meteorologicznych i udostępnia je w formie API. Dzięki temu można pobrać dane pogodowe dla dowolnego okresu czasu i lokalizacji.

Dane pogodowe zostały pobrane dla czterech lokalizacji w Polsce: Warszawy (WAW), Koszalina (KSZ), Krakowa (KRK) i Babimost (BAB), a następnie dopasowane do godzinowego formatu danych RDN, co pozwoliło na ich integrację z pozostałymi zmiennymi. Wybór miast został podyktowany ich zróżnicowaniem geograficznym i klimatycznym, co pozwala uwzględnić regionalne różnice w warunkach pogodowych wpływających na produkcję i zapotrzebowanie na energię. Warszawa, jako stolica i największe miasto Polski, reprezentuje centralny region kraju o wysokim zapotrzebowaniu na energię, szczególnie w okresach zimowych i letnich. Koszalin, położony na Pomorzu, jest kluczowy ze względu na bliskość farm wiatrowych na Morzu Bałtyckim, co czyni go istotnym punktem dla analizy produkcji energii wiatrowej. Kraków, znajdujący się w południowej Polsce, charakteryzuje się większym udziałem energii słonecznej w miksie energetycznym, a także wysokim zapotrzebowaniem na energię w sezonie grzewczym z powodu zanieczyszczenia powietrza i częstego stosowania ogrzewania elektrycznego. Babimost, zlokalizowany w zachodniej Polsce, jest istotny ze względu na swoje położenie w pobliżu granicy z Niemcami.

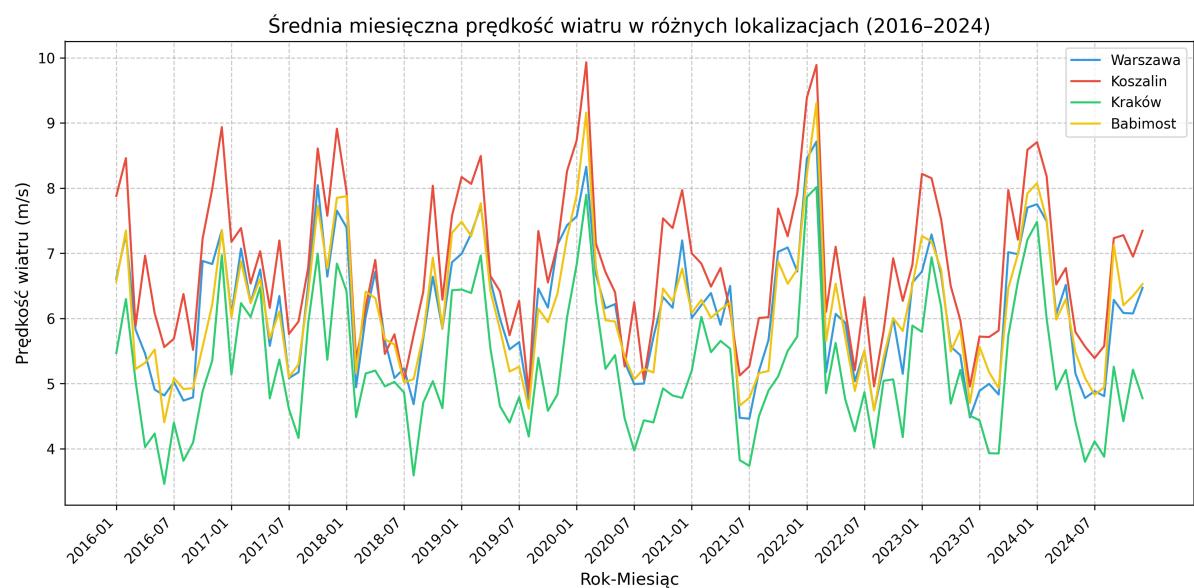
Parametry pogodowe zostały wybrane z uwzględnieniem ich bezpośredniego wpływu na rynek energii. Temperatura jest kluczowym czynnikiem, ponieważ wpływa na zapotrzebowanie na energię – niskie temperatury zwiększą zużycie energii na ogrzewanie, natomiast wysokie temperatury latem podnoszą zapotrzebowanie na klimatyzację. Prędkość wiatru mierzona na wysokości 100 metrów nad powierzchnią ziemi została wybrana, ponieważ jest to przeciętna wysokość dla turbin wiatrowych w Polsce, co pozwala dokładniej oszacować potencjalną produkcję energii z farm wiatrowych. Promieniowanie słoneczne jest istotne dla produkcji energii z paneli fotowoltaicznych. Zachmurzenie zostało uwzględnione, ponieważ wysoki poziom zachmurzenia zmniejsza efektywność paneli słonecznych, co może zwiększać ceny energii poprzez ograniczenie podaży z OZE. Wybór tych parametrów pozwala na kompleksową analizę wpływu pogody na ceny energii na RDN.

Poniżej przedstawię wykresy dla każdego z parametrów pogodowych, które zostały uwzględnione w analizie. Wykresy przedstawiają zmienność danych pogodowych w czasie. Zachmurzenie jest wyrażone w oktantach (0-8), gdzie 0 oznacza brak zachmurzenia, a 8 oznacza całkowite zachmurzenie.

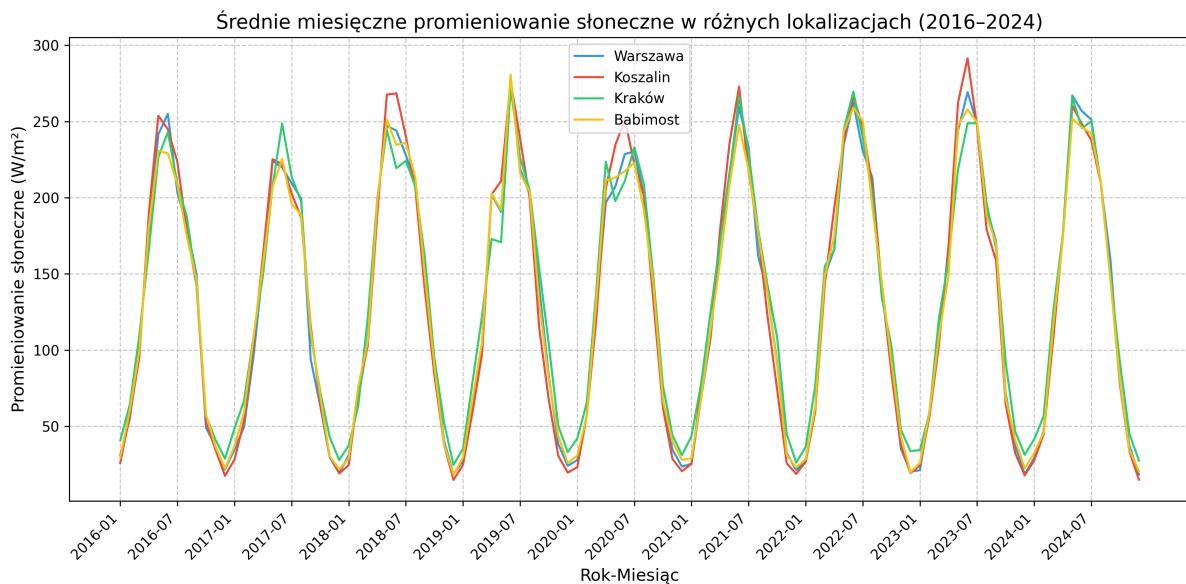
2.3. Zbiór zmiennych niezależnych



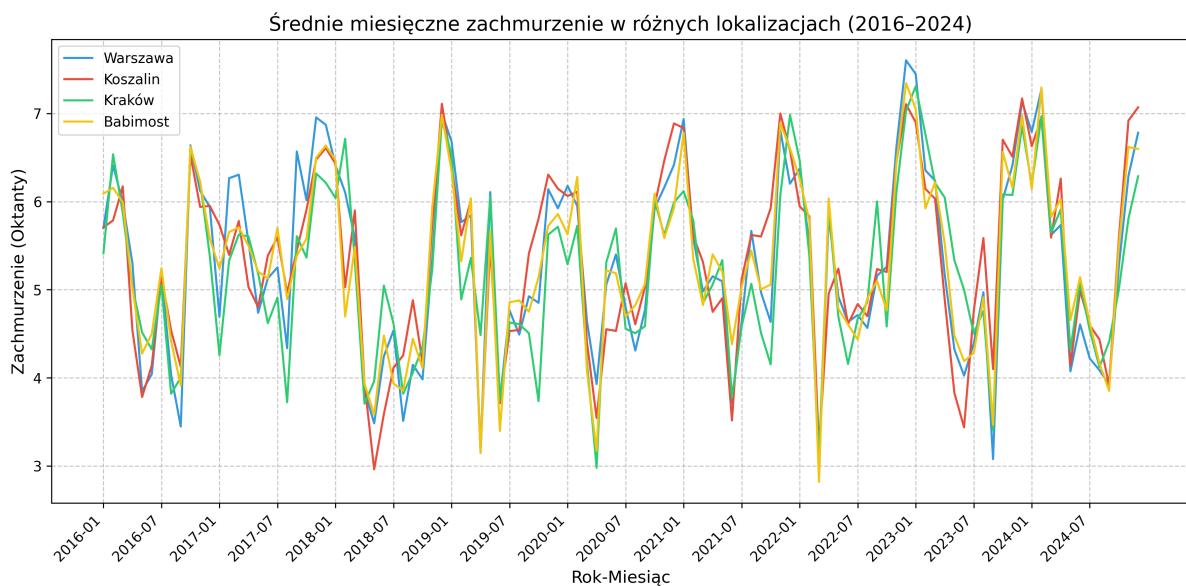
Rysunek 3. Zmienność temperatury w czasie (2016–2024)



Rysunek 4. Zmienność prędkości wiatru w czasie (2016–2024)



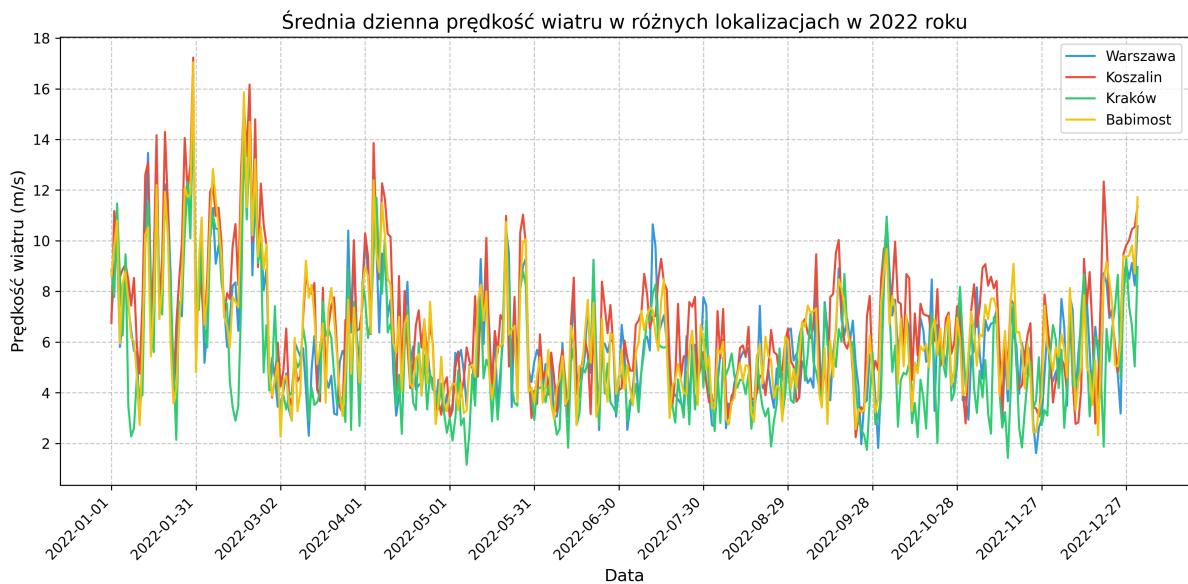
Rysunek 5. Zmienna promieniowania słonecznego w czasie (2016–2024)



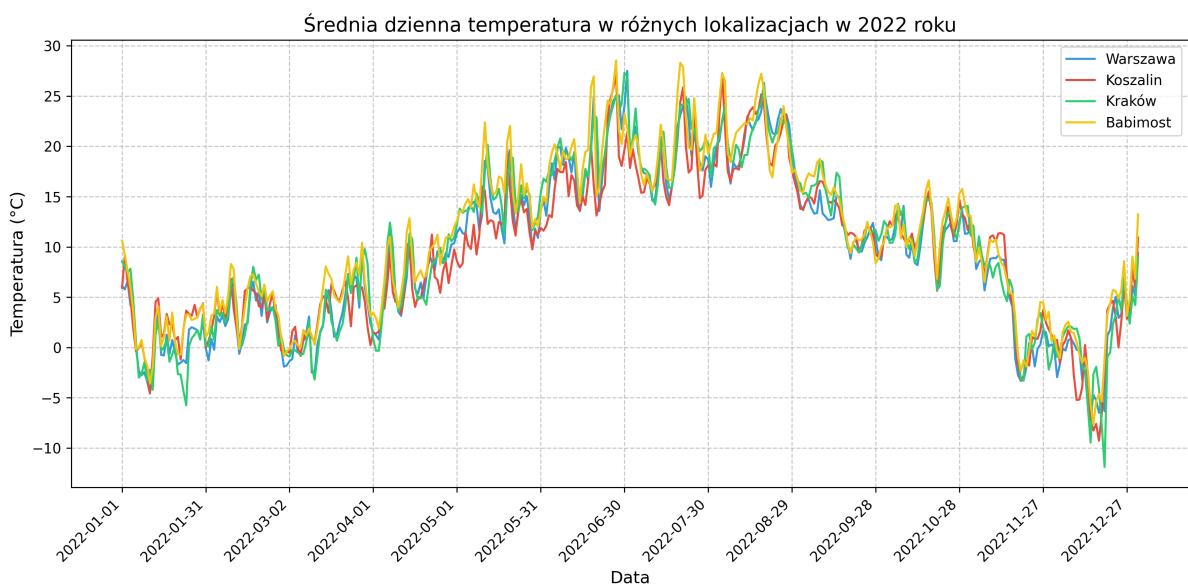
Rysunek 6. Zmienna zachmurzenia w czasie (2016–2024)

Każdy z wykresów przedstawia zmiennosć danego parametru pogodowego w wybranych lokalizacjach w przeciągu okresu badawczego. Wyraźnie widać sezonowe wahania parametrów pogodowych, co jest typowe dla klimatu Polski. Temperatura i promieniowanie słoneczne mają wyraźnie większe wartości w sezonach letnich, prędkość wiatru w sezonach zimowych, a zachmurzenie ma bardziej zróżnicowany charakter.

Chciałbym również przybliżyć wykresy i potwierdzić efekt sezonowości na przykładzie 2022 roku.



Rysunek 8. Zmienna prędkości wiatru w czasie (2022)

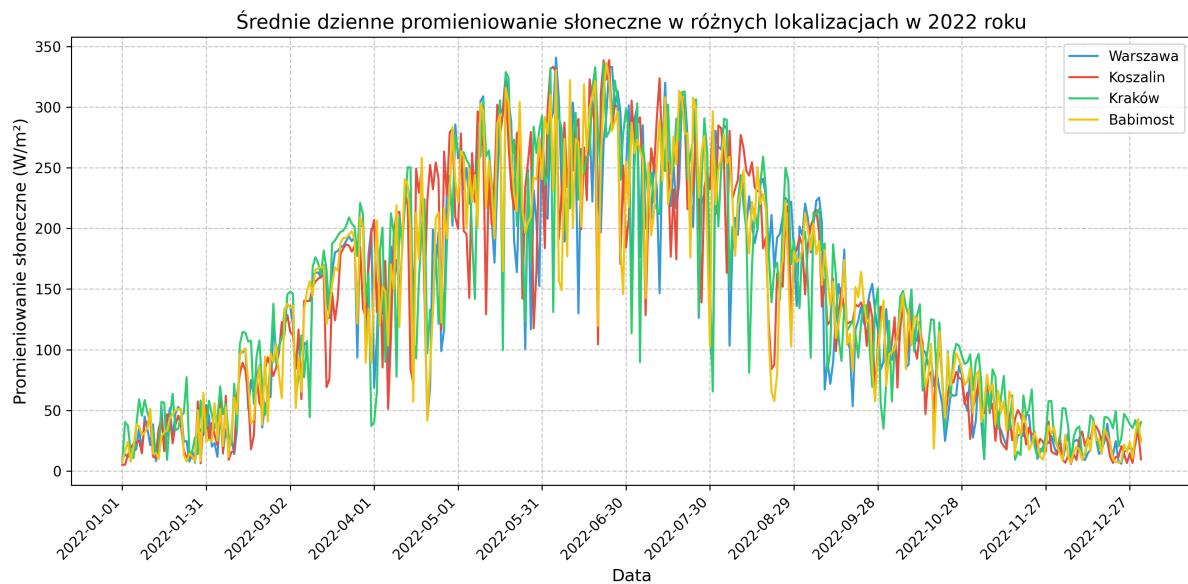


Rysunek 7. Zmienna temperatury w czasie (2022)

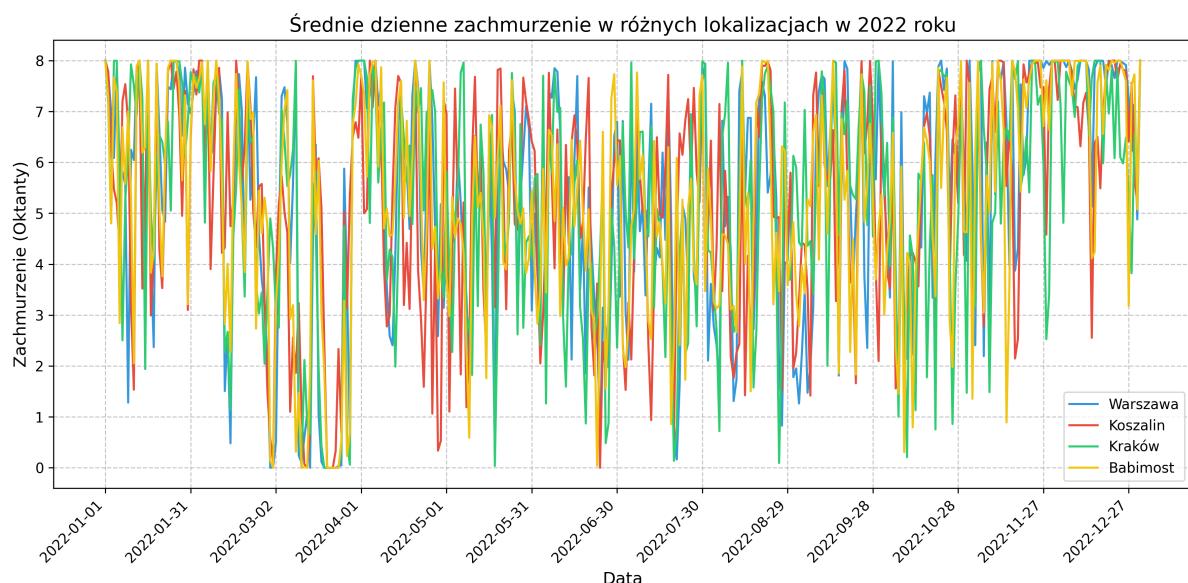
W ramach analizy w późniejszej części pracy spróbuję uprościć model i uśrednić wartości parametrów pogodowych dla całego kraju i sprawdzić czy wynik się poprawi.

2.3.2 Produkcja energii z wybranych źródeł

Zmienne dotyczące produkcji energii z różnych źródeł odgrywają kluczową rolę w analizie cen energii na Rynku Dnia Następnego (RDN), ponieważ odzwierciedlają strukturę podaży energii w Polsce,



Rysunek 9. Zmienność promieniowania słonecznego w czasie (2022)

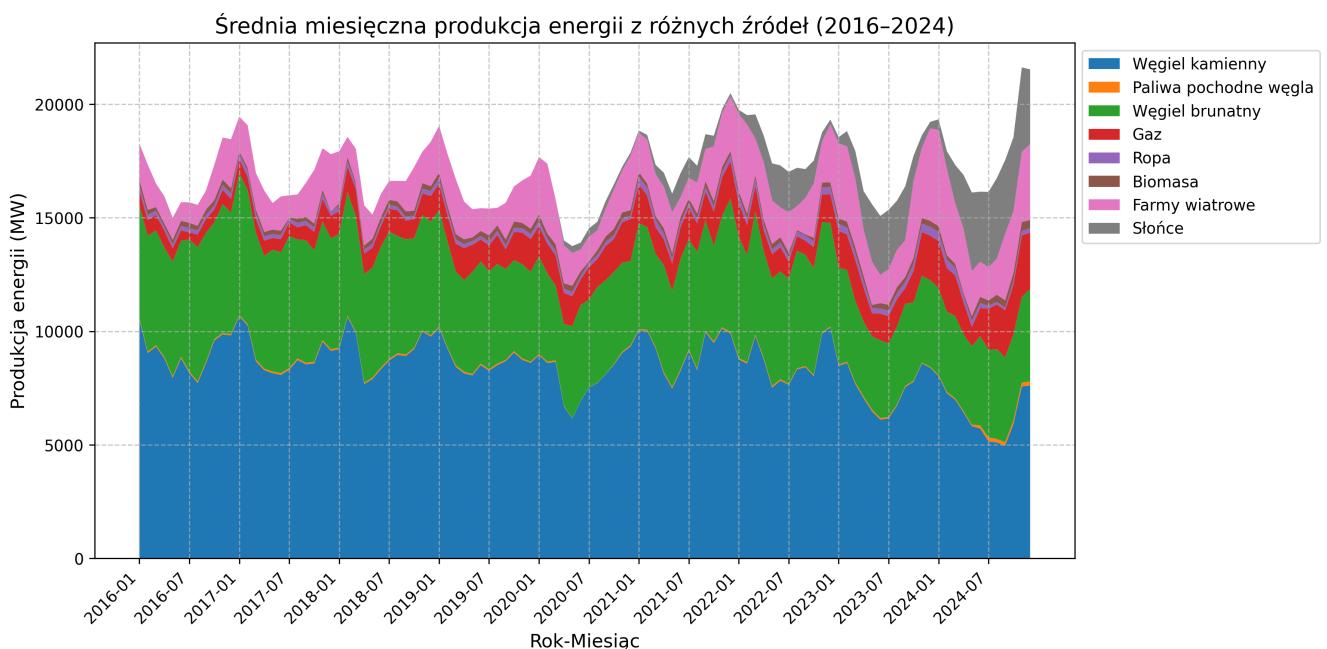


Rysunek 10. Zmienność zachmurzenia w czasie (2022)

która ma bezpośredni wpływ na dynamikę cen. W niniejszej pracy uwzględniono osiem zmiennych opisujących produkcję energii:

- **hard_coal** - produkcja z węgla kamiennego (MW),
- **coal_derived** - produkcja z paliw pochodnych węgla (MW),
- **lignite** - produkcja z węgla brunatnego (MW),
- **gas** - produkcja z gazu ziemnego (MW),
- **oil** - produkcja z ropy naftowej lub jej pochodnych (MW),
- **biomass** - produkcja z biomasy (MW),
- **wind** - produkcja z elektrowni wiatrowych lądowych (MW),
- **solar** - produkcja z paneli fotowoltaicznych (MW).

Dane te pochodzą z Polskich Sieci Elektroenergetycznych (PSE) i zostały dopasowane do godzinowego formatu danych RDN, co pozwoliło na ich integrację z pozostałymi zmiennymi.



Rysunek 11. Zmienność produkcji energii z różnych źródeł w czasie (2016–2024)

Wykres powyżej przedstawia średnią miesięczną produkcję energii z różnych źródeł w Polsce w latach 2016–2024, co jest istotne w kontekście prognozowania cen energii (EPF) na Rynku Dnia Następnego (RDN). Wykres obszarowy ukazuje dominację węgla kamiennego i brunatnego, której do tej pory odpowiadają za większość produkcji energii elektrycznej. Biomasa oraz paliwa pochodne węgla stanowią znikomą część podaży i mogą być pominione dla redukcji ilości zmiennych. Produkcja za pomocą gazu i ropy stale posiada niewielką, ale istotną część produkcji energii. Warto zauważyć, że produkcja z OZE, szczególnie ze słońca znaczco rośnie w ostatnich latach, co może mieć istotny wpływ na ceny energii i umiejętności jej prognozowania. W najbardziej korzystne dla gospodarki momenty część produkcji z OZE może przekraczać zapewnienie energii z węgla, co może prowadzić

do spadku cen energii. Warto również zauważyć, że produkcja z węgla kamiennego i brunatnego jest bardziej stabilna i przewidywalna niż produkcja z OZE, co może wpływać na dokładność prognoz. W związku z tym, zmienne dotyczące produkcji energii z różnych źródeł są istotnym elementem analizy i modelowania cen energii na RDN.

2.3.3 Handel energią z państwami sąsiednimi

Zmienne dotyczące wymiany energii z innymi krajami są istotnym elementem analizy cen energii na Rynku Dnia Następnego (RDN), ponieważ pozwalają na uwzględnienie wpływu handlu międzynarodowego na ceny energii w Polsce. W niniejszej pracy uwzględniono następujące zmienne opisujące wymianę energii z innymi krajami:

Bibliografia

- [1] Busby, J. W. i in., „Cascading risks: Understanding the 2021 winter blackout in Texas”, *Energy Research & Social Science*, s. 102106, 2021, ISSN: 2214-6296. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102106>. adr.: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629621001997>.
- [2] Openmeteo, *Prognozy pogody*, <https://open-meteo.com>, Accessed: 2025-04-09, 2025.
- [3] PSE, *Dane systemowe*, <https://www.pse.pl/dane-systemowe>, Accessed: 2025-04-09, 2024.
- [4] PSE, *Raporty historyczne*, <https://raporty.pse.pl>, Accessed: 2025-04-09, 2025.

Wykaz skrótów i symboli

OZE Odnawialne Źródła Energii 9

PSE Polskie Sieci Elektroenergetyczne 11

RDN Rynek Dnia Następnego 9

Spis rysunków

1	Zmienna cen energii elektrycznej na RDN w latach 2016–2024	14
2	Histogram rozkładu zmiennej fixing_i_price	15
3	Zmienna temperatury w czasie (2016–2024)	17
4	Zmienna prędkości wiatru w czasie (2016–2024)	17
5	Zmienna promieniowania słonecznego w czasie (2016–2024)	18
6	Zmienna zachmurzenia w czasie (2016–2024)	18
8	Zmienna prędkości wiatru w czasie (2022)	19
7	Zmienna temperatury w czasie (2022)	19
9	Zmienna promieniowania słonecznego w czasie (2022)	20
10	Zmienna zachmurzenia w czasie (2022)	20
11	Zmienna produkcji energii z różnych źródeł w czasie (2016–2024)	21

Spis tabel

1	Podstawowe statystyki zmiennej fixing_i_price	14
---	---	----

Spis załączników