

Raport

Pakiet działań 2

Działanie 2.1 Analiza istniejących profili dostawców energii i profili obciążenia energetycznego w regionie SNB oraz opracowanie lokalnie dostosowanych profili obciążenia energetycznego dla regionu Sprewa–Nysa–Bóbr

(Profile wytwórców)

Opracowali:

Paweł Szcześniak

Piotr Leżyński

Robert Smoleński

Wprowadzenie - rozwój Instalacji OZE w regionie

W ostatnich latach nastąpił dynamiczny wzrost mocy zainstalowanej w odnawialnych źródłach energii. Na obszarze Oddziału Dystrybucji Zielona Góra moc zainstalowanych źródeł OZE wzrosła kilkukrotnie. Największy wzrost dotyczył instalacji fotowoltaicznych przyłączonych do sieci średniego napięcia (SN) oraz mikroinstalacji przyłączonych do sieci niskiego napięcia (nn). W 2025 roku moc instalacji prosumenckich przekroczyła 200 MW.

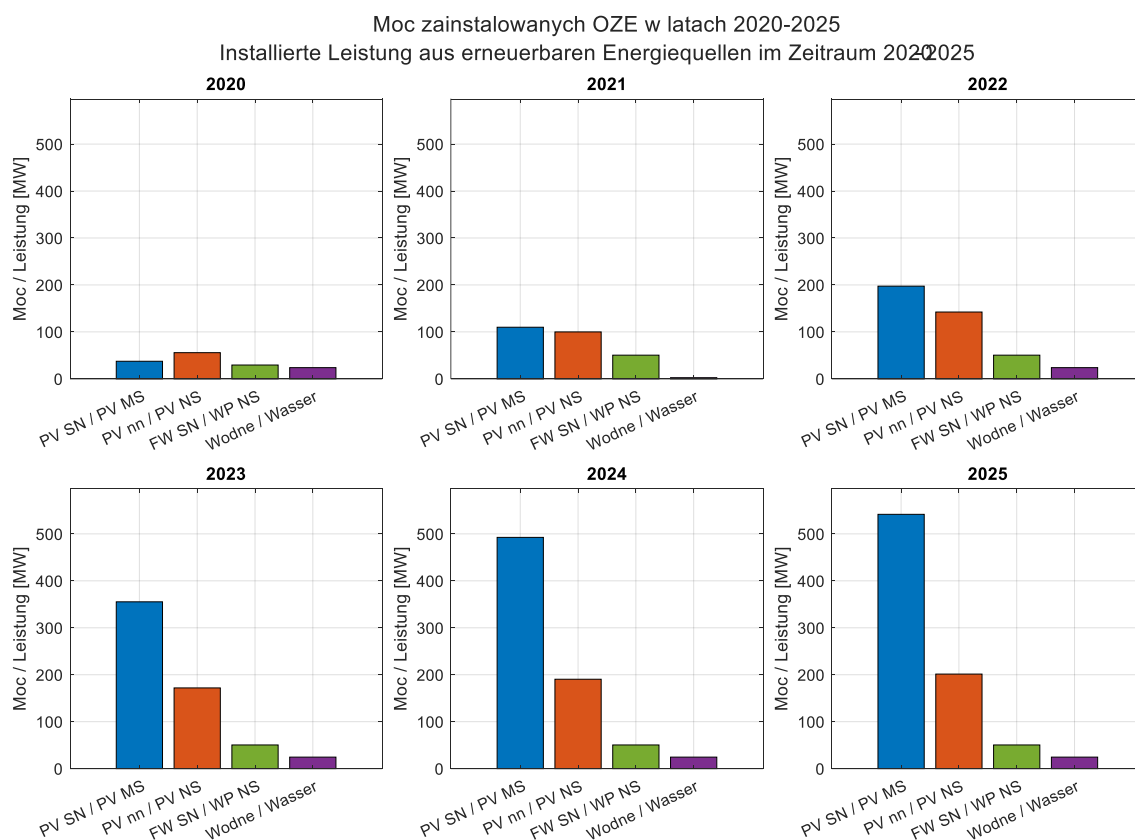
W przypadku farm wiatrowych przyłączonych do sieci SN ostatnie inwestycje realizowano w 2021 roku. Od tego czasu moc farm wiatrowych pozostaje na poziomie 50,4 MW. Moc elektrowni wodnych nie uległa istotnym zmianom.

Oprócz źródeł przyłączonych do sieci SN i nn, na analizowanym obszarze funkcjonują również instalacje przyłączone do sieci 110 kV – około 46 MW dla farm wiatrowych oraz około 150 MW dla instalacji PV.

Tabela 1 Moc Instalacji OZE zainstalowanych w Obszarze Dystrybucji Zielona Góra

Rok	2020	2021	2022	2023	2024	2025
PV SN [MV]	37,4	109,9	197,4	355,3	492,6	541,7
PV nn [MV]	55,7	99,9	142,3	171,9	190,4	201,4
FW SN [MV]	29,4	50,4	50,4	50,4	50,4	50,4
wodne [MV]	23,8	23,8	23,8	24,5	24,5	24,5

Moce zainstalowanych instalacji OZE graficznie pokazano na rysunku 1.



Rys. 1 Moc Instalacji OZE zainstalowanych w Obszarze Dystrybucji Zielona Góra / Leistung der im Verteilungsgebiet Zielona Góra installierten EE-Anlagen

Analizując dane można zaobserwować, że największy wzrost nastąpił w obszarze instalacji fotowoltaicznych (PV) przyłączonych do napięcia średniego SN. Kolejne pod względem wolumenu i dynamiki wzrostu były instalacje fotowoltaiczne przyłączone do sieci niskich napięć (PV nn). Moce te, są mocami zainstalowanymi u prosumentów i w 2025 roku przekroczyły wartość 200 MW. W przypadku farm wiatrowych (FW SN) instalacje przyłączane były do sieci średnich napięć. Ostatnie inwestycje w omawianym obszarze miały miejsce w 2021 roku. Od tamtej pory moc farm wiatrowych wynosi 50,4 MW. Moc elektrowni wodnych, również zaliczanych do źródeł OZE nie zmieniła się znacząco na przestrzeni ostatnich lat (zmiana o 0,7 MW).

Poza opisanymi w tabeli źródłami wytwórczymi przyłączonymi do sieci SN i nn, na analizowanym obszarze występują instalacje przyłączane do sieci wysokiego napięcia 110kV. Moce tych instalacji wynoszą odpowiednio 46 MW dla farm wiatrowych i około 150 MW instalacji fotowoltaicznych.

Energia wydawana z tych źródeł zależy nie tylko od ich mocy ale również warunków podaży energii pierwotnej. W tabeli 2 zestawiono ilość wytworzonej energii w roku 2024. W tabeli wyliczono także uzysk danej technologii OZE liczony jako ilość energii wyprodukowanej na jednostkę mocy źródła. Jak można zauważyć, elektrownie wiatrowe charakteryzują się największym uzyskiem, natomiast instalacje PV najniższym. Różnica między uzyskiem z wiatru a fotowoltaiki jest prawie czterokrotna.

Tabela 2. Zestawienie mocy wytwórczych z wyprodukowaną energią

	Moc przył. [MW]	En. wytw. [MWh]	Uzysk [MWh/MW]
Elektrownie wiatrowe	96,4	277546,3	2877,9
Fotowoltaika	747,9	545665,6	729,6
Elektrownie wodne	24,2	58382,1	2416,8
Biogaz	5,3	9507,2	1809,2

Należy jednak pamiętać, że część energii fotowoltaicznej jest zużywana przez prosumentów. Ponadto różnica ta jest kompensowana kosztami zakupu i budowy instalacji. W tabelach 3 i 4 przedstawiono koszty budowy elektrowni wiatrowej i fotowoltaicznej.

Tabela 3. Szacowane nakłady inwestycyjne na 1 MW mocy zainstalowanej elektrowni wiatrowej

Typ kosztu	mln PLN	mln EUR	udział %
Turbiny	4,7	1,0	58
Przygotowanie/zakup praw do projektu	1,4	0,3	17
GPZ i okablowanie	1,0	0,2	13
Prace budowlane	0,6	0,1	7
Opłata przyłączeniowa	0,2	0,1	3
Pozostałe	0,2	0,0	3
Suma	8,1	1,8	100

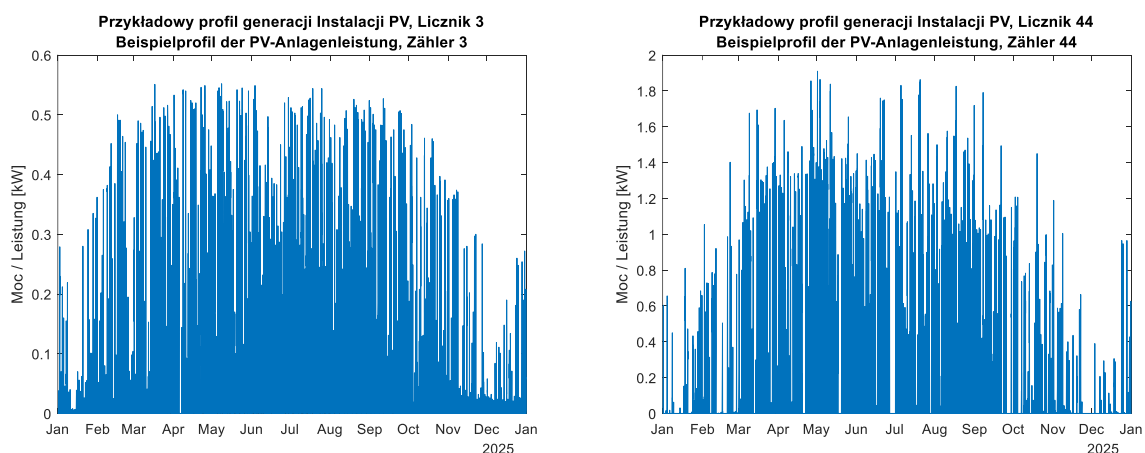
Tabela 4. Szacowane nakłady inwestycyjne na 1 MW mocy zainstalowanej elektrowni wiatrowej

Rok	Średni koszt [zł/kW]	Typ instalacji	Źródło danych
2010	16000	instalacja domowa	Solar Energy Expo – trendy cen PV
2015	7000	instalacja domowa	IEO – raporty historyczne PV
2017	5500		Estymacja własna
2019	4500	instalacja domowa ~5–6 kW	WysokieNapiecie.pl
2020	4200		Estymacja własna
2021	4100	instalacja domowa ~5 kW	BlogEnergetyczny.pl
2022	5200	instalacja domowa ~5 kW	Globenergia.pl
2023	4800	instalacja domowa	Globenergia / IEO
2024	4069	mikroinstalacja PV	Instytut Energetyki Odnawialnej (IEO)
2025	3600	instalacja domowa 5–6 kW	Zipe.pl / Onestep.solar

W tabeli 4 podano koszty budowy małych instalacji fotowoltaicznych (prosumenckich). Koszt większych instalacji powinny być nieco niższe. Mimo to koszt budowy instalacji fotowoltaicznej jest ponad dwukrotnie niższy niż analogicznej instalacji wiatrowej. Dodatkową zaletą fotowoltaiki jest właśnie możliwość instalowania małych źródeł. Oznacza to, że mali inwestorzy mogą budować tego typu źródła wytwórcze.

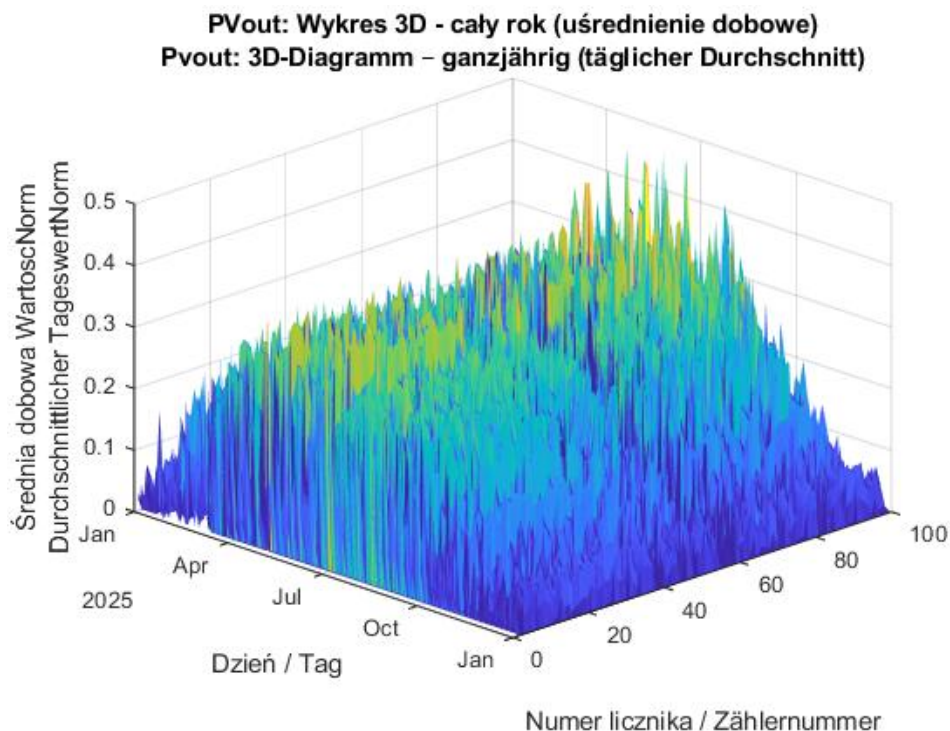
Profile Generacji Słonecznej

W niniejszym punkcie przedstawiono profile generacji słonecznej. Profile zarejestrowano za pomocą liczników inteligentnych zamontowanych przy instalacjach fotowoltaicznych. Wybrano 100 losowo instalacji wytwórczych fotowoltaicznych przyłączonych zarówno do sieci SN jak i nn. Ze względu na ograniczenia prawne dane profilowe były zanonimizowane - nie były bezpośrednio skorelowane z miejscem poboru ani parametrami instalacji. Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono Przykładowe roczne profile generacji słonecznej.

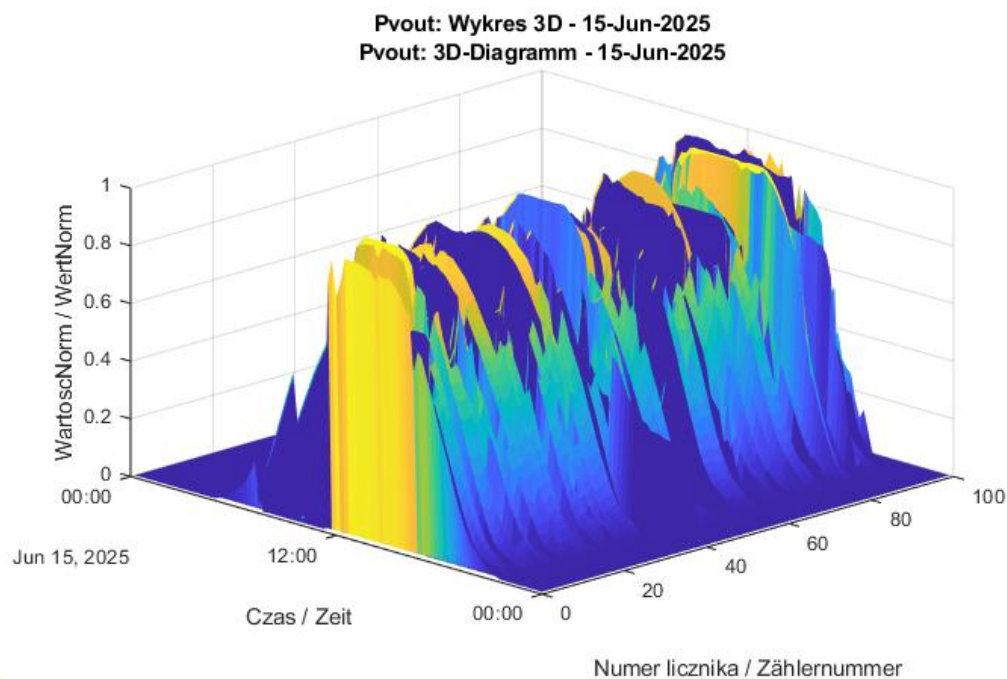


Rys. 2. Przykładowe profile generacji słonecznej a) licznik nr 3, b) licznik nr 44 / Beispielhafte Profile der Solarstromerzeugung: a) Zähler Nr. 3, b) Zähler Nr. 44

Na rysunku 3 pokazano zbiorczo generację ze 100 instalacji fotowoltaicznych. Zestawione dane uśredniono dziennie (dla lepszej widoczności) i przedstawiono w okresie całego roku. Natomiast na rysunku 4 pokazano profile dla 100 instalacji dla wybranego dnia.

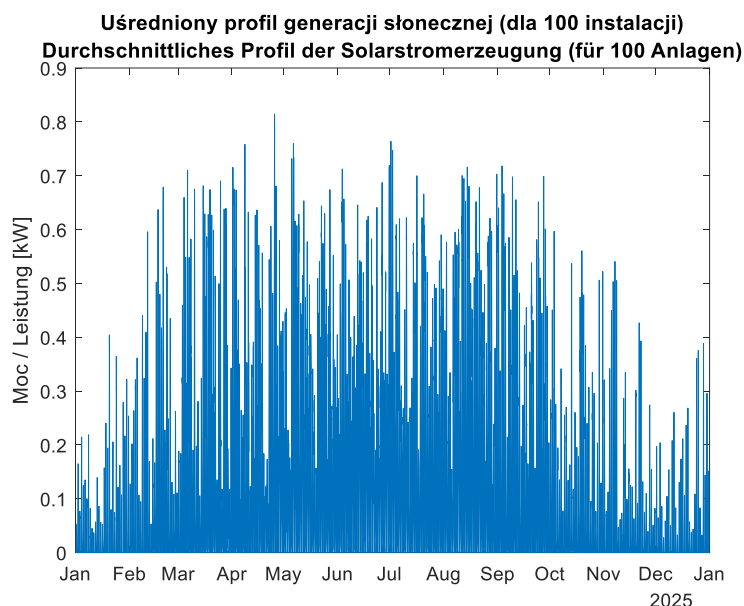


Rys. 3 Profile generacji słonecznej ze 100 instalacji (profile roczne) / Solarerzeugungsprofile aus 100 Anlagen (Jahresprofile)



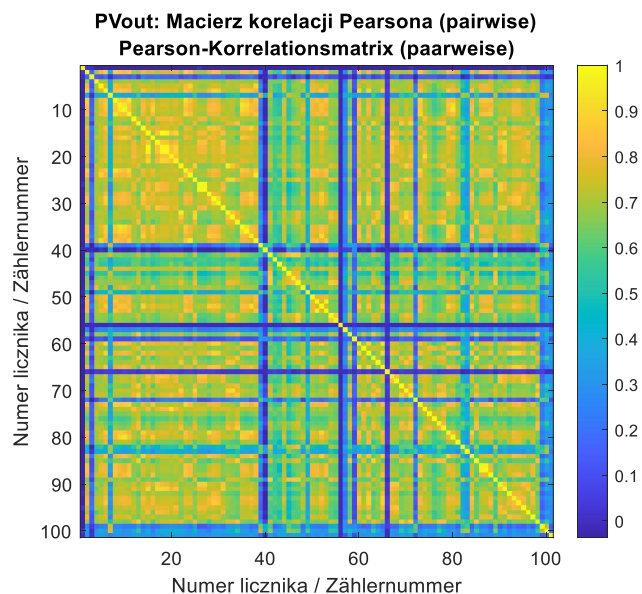
Rys. 4 Profile generacji słonecznej ze 100 instalacji (profile dzienne) / Solarerzeugungsprofile aus 100 Anlagen (Tagesprofile)

Przedstawione profile unormowano względem mocy i wyznaczono wartości średnie godzinowe. Tak utworzono profil uśredniony, który wykorzystano do dalszych analiz.

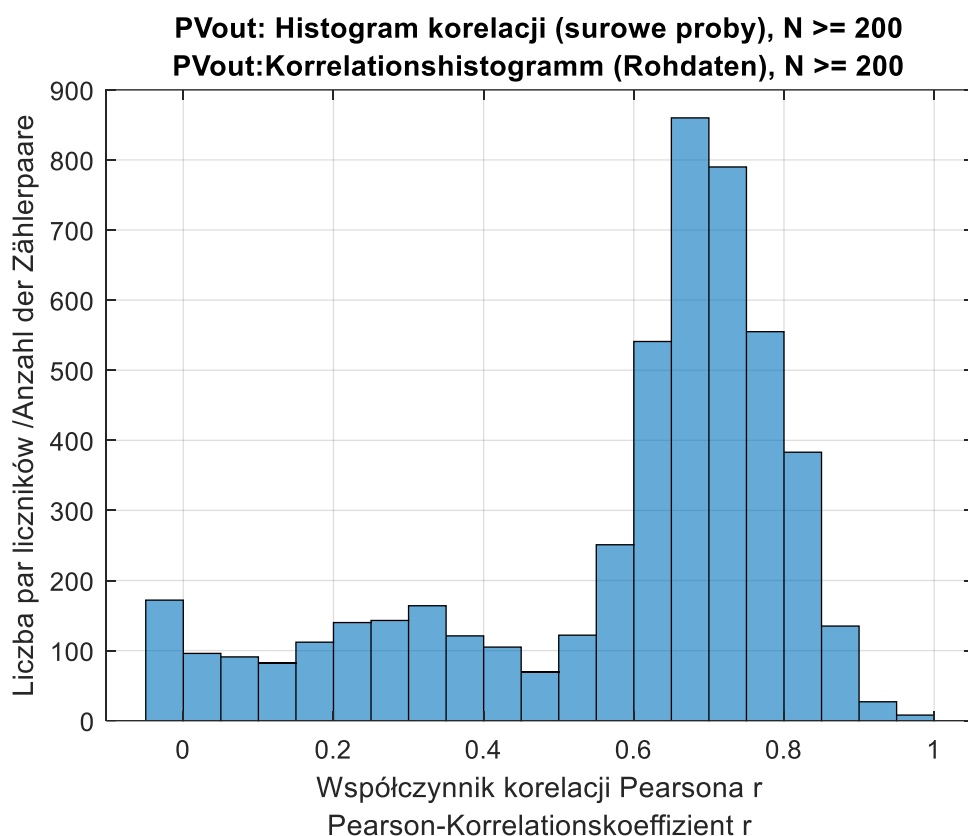


Rys. 5 Uśredniony profil generacji słonecznej / Gemitteltetes Solarerzeugungsprofil

Dla analizowanych profili generacji słonecznej wykonano analizę korelacyjną Pearsona. Porównywano każdy profil z każdym w układzie parami. Na rysunku 6 pokazano w sposób graficzny uzyskane wartości współczynnika, a na rysunku 7 histogram tych wartości. W większości przypadków uzyskano umiarkowaną lub silną dodatnią korelację, co oznacza, że profile generacji różnych instalacji wykazują zbliżony przebieg w czasie. Występują jednak pojedyncze instalacje o odmiennym charakterze pracy, dla których współczynnik korelacji jest niski. Może to wynikać z lokalnych warunków nasłonecznienia, zacienienia, orientacji modułów. Wydaje się jednak że główną przyczyną jest specyfika przyłączenia do sieci. Instalacje PV wyłączają się w przypadku lokalnych przekroczeń napięcia lub redysponowań mocy operatora systemu.



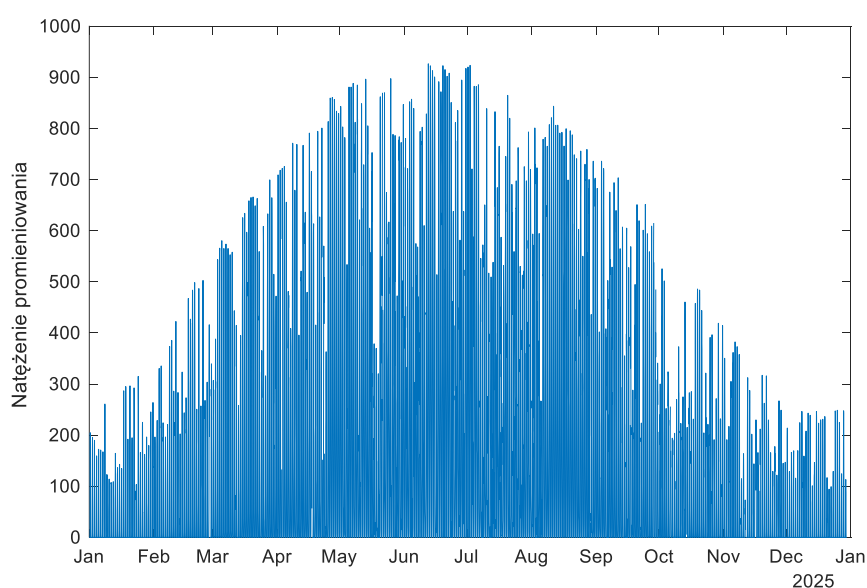
Rys. 6 Wizualizacja macierzy korelacji Pearsona dla analizowanych profili / Visualisierung der Pearson-Korrelationsmatrix für die analysierten Energieprofile



Rys. 7. Histogram korelacji / Korrelationshistogramm

Profile nasłonecznienia

Profil nasłonecznienia pobrano ze strony open-meteo. Profil nasłonecznienia dla miasta Zielona Góra przedstawiono na rys. 8.

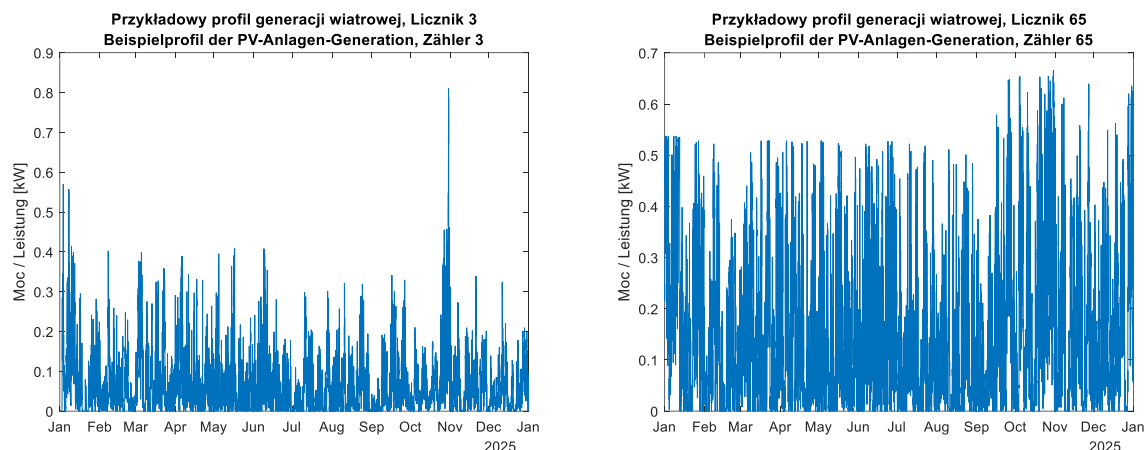


Rys. 8. Natężenie promieniowania uwzględniające zachmurzenie

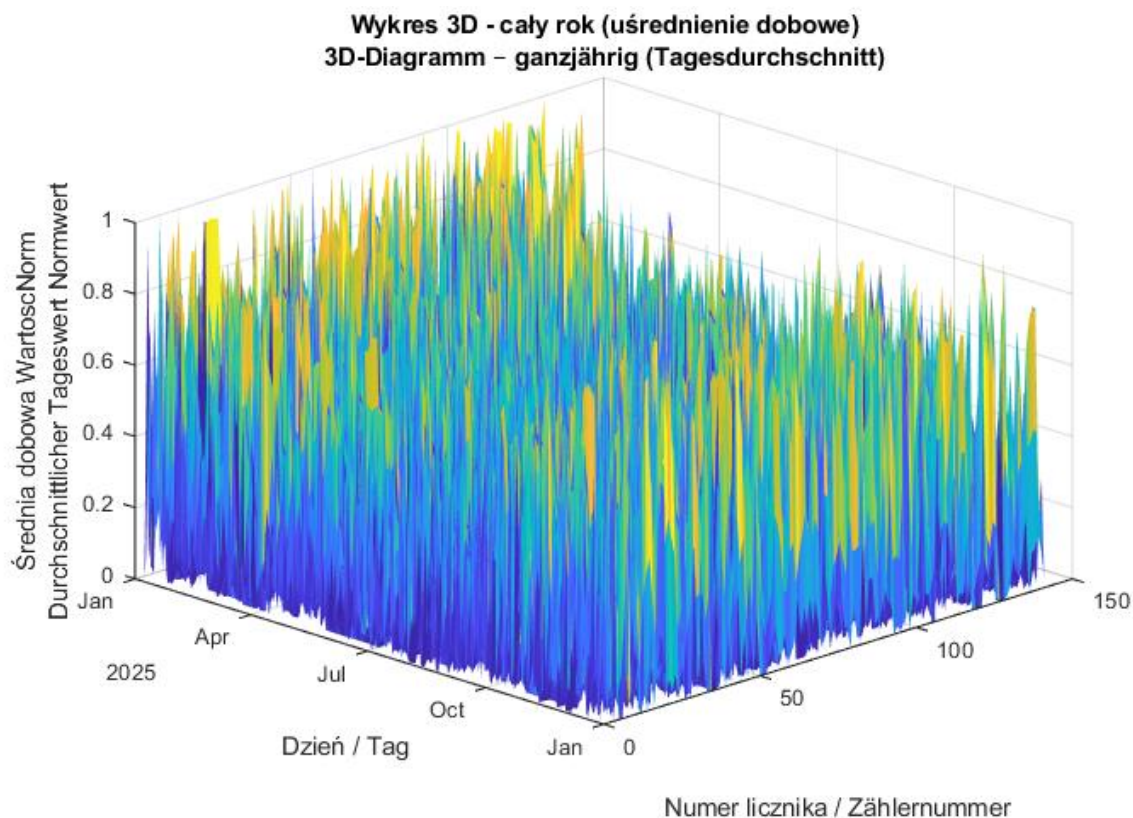
Profil odpowiada w dużym stopniu profilom generacji energii, które były przedstawiane wcześniej.

Profile Generacji Wiatrowej

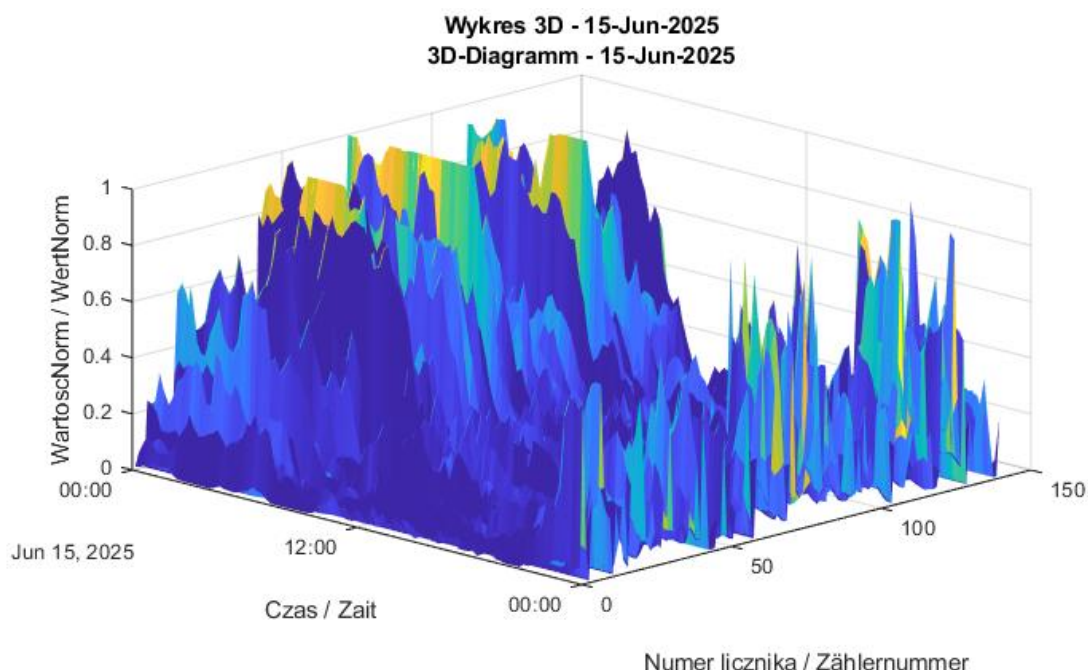
W tym punkcie przeanalizowano profile generacji energii elektrycznej z instalacji wiatrowych. Analogicznie do sytuacji z generacją słoneczną analizowano dane zebrane z liczników inteligentnych zamontowanych u konkretnych wytwórców. W tym wypadku dysponowano pakietem ponad 140 profili generacji wiatrowej. Przykładowe profile generacji wiatrowej przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 9. Przykładowe profile generacji wiatrowej / Beispielhafte indenergieerzeugungsprofile

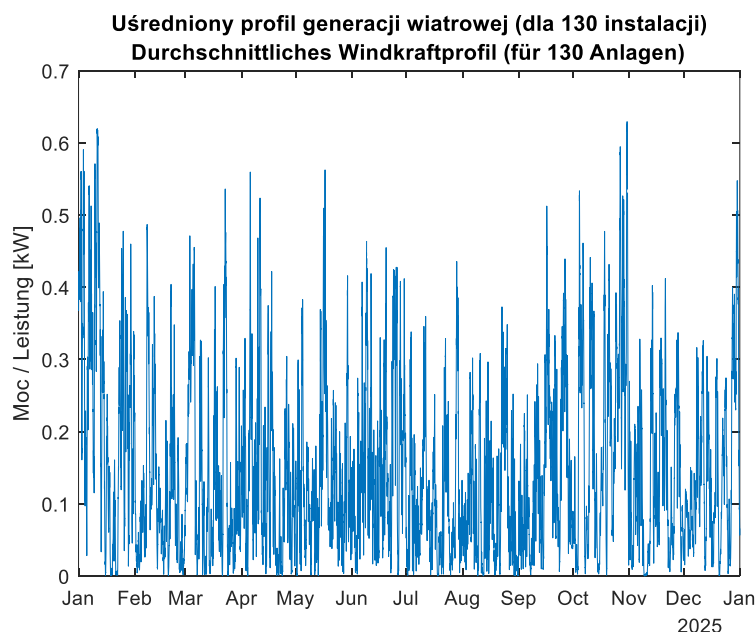


Rys. 10. Profile generacji wiatrowej 144 instalacji (profile roczne) / Windenergieerzeugungsprofile aus 144 Anlagen (Jahresprofile)



Rys. 11. Profile generacji wiatrowej 144 instalacji, profile dzienne /
Windenergieerzeugungsprofile aus 144 Anlagen (Tagesprofile)

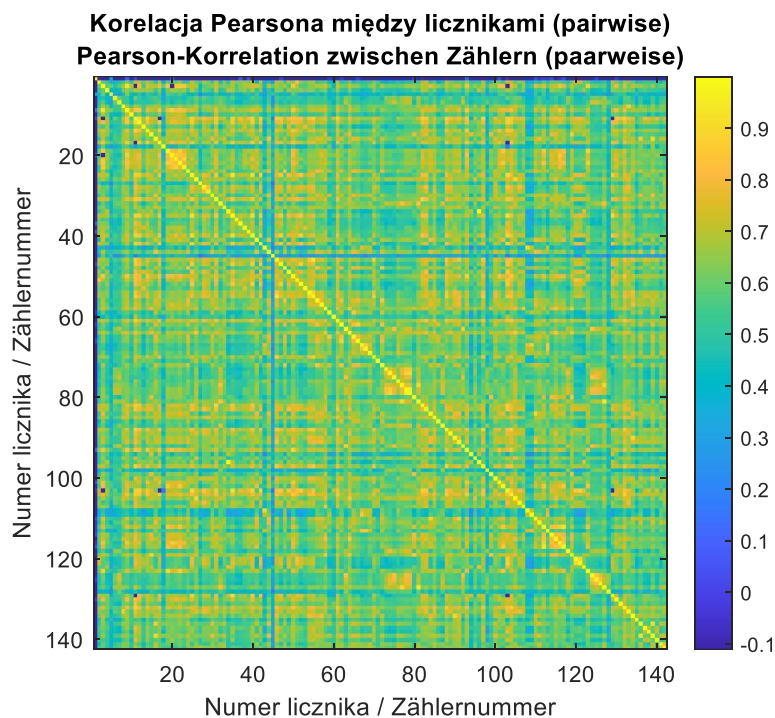
Przedstawione profile unormowano względem mocy i wyznaczono wartości średnie godzinowe. Tak utworzono profil uśredniony, który wykorzystano do dalszych analiz. Przebieg mocy wytwarzanej uśrednionej przedstawiono na rysunku 13



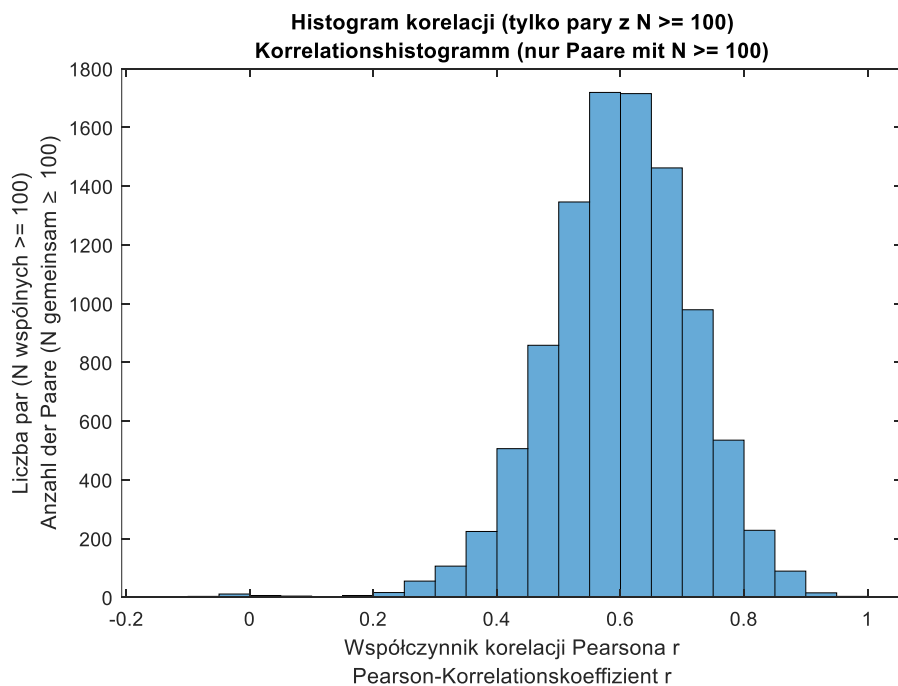
Rys. 12. Uśredniony profil generacji wiatrowej / Gemittelttes Windenergieerzeugungsprofi

Dla analizowanych profili generacji słonecznej wykonano analizy korelacyjne Pearsona. Porównywano ze sobą każdy profil z każdym (parami). Na rysunku 14 pokazano w sposób graficzny uzyskane wartości współczynnika. Na rysunku 15 Pokazano histogram dla uzyskanych współczynników. Zauważyć można, że znacznej większości profile korelują się ze

sobą w sposób umiarkowany lub silny. Korelacja jest dodatnia, co oznacza, że gdy wzrasta generacja w jednej instalacji najczęściej rośnie też generacja w pozostałych. Jednakże zdarzają się instalacje odmienne dla których korelacja nie występuje (linie niebieskie na wykresie), choć tego typu odstępstw jest mniej niż w przypadku fotowoltaiki. Wynika to najprawdopodobniej z mniejszej liczby zjawisk zniekształcających profil.



Rys. 13. Wizualizacja współczynników korelacji / Visualisierung der Korrelationskoeffizienten

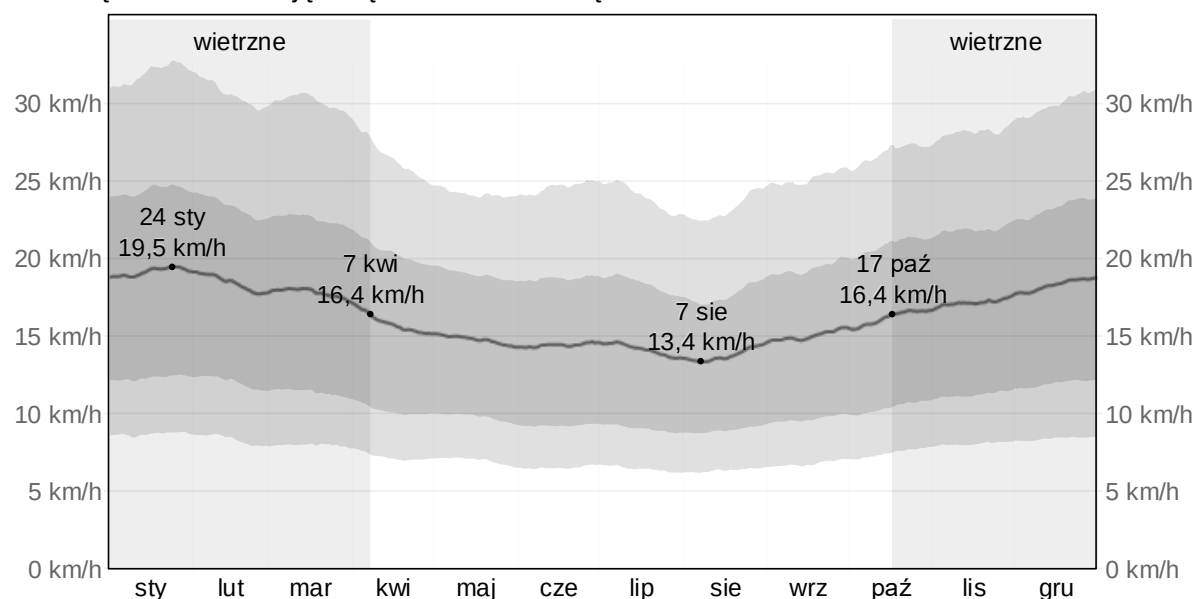


Rys. 15. Wizualizacja współczynników korelacji / Visualisierung der Korrelationskoeffizienten

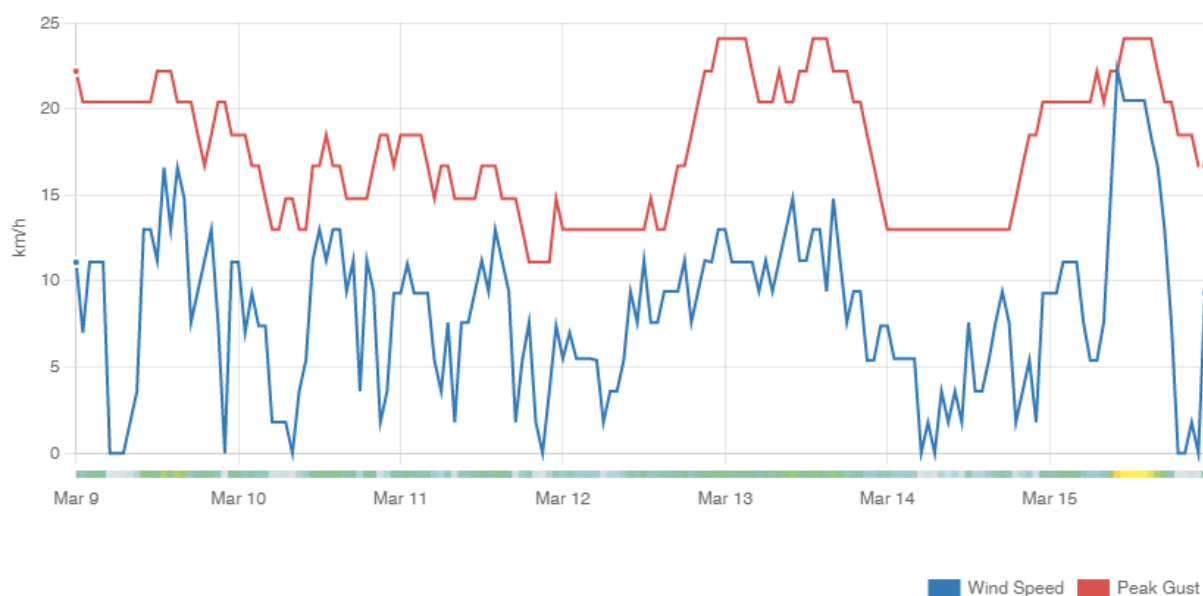
Prędkość wiatru (obciążenie wiatrem)

W dokumentach administracyjnych podaje się, że średnia roczna prędkość wiatru na obszarze regionu wynosi ok. 2,5–3,5 m/s. Jest ona mniejsza w miejscach osłoniętych (np. zabudowania, las), a większa na terenach otwartych. Jednocześnie dokument przywołuje, że wiatr silny o prędkości przekraczającej 15 m/s pojawia się rzadko t.k. poniżej 3%.

Dla miasta Zielona Góra średnia prędkość wiatru waha się miesięcznie i sezonowo — najczęściej między 14–19 km/h (czyli ok. 3,9–5,3 m/s (rysunek 16)). Dane pomiarowe siły wiatru dla miasta Zielona Góra znaleziono na portalu weatherspark.com i na <https://meteostat.net>. Jak można zauważyć wahania siły wiatru są dość duże i mają dużą zmienność lokalną.



Rys. 16. Średnie Prędkość wiatru dla miasta Zielona Góra (dane uśrednione)



Rys. 17. Średnie Prędkość wiatru dla miasta Zielona Góra dane godzinne z <https://meteostat.net>

Podsumowanie

Dokument przedstawia analizę rozwoju oraz charakterystyki pracy odnawialnych źródeł energii w regionie SNB. Wykazano dynamiczny wzrost mocy zainstalowanej, szczególnie w obszarze fotowoltaiki.

Analiza rzeczywistych profili generacji umożliwiła wyznaczenie uśrednionych profili dostawców energii oraz ocenę zmienności dobowej i sezonowej.

Uzyskane wyniki stanowią podstawę do opracowania lokalnie dostosowanych profili dostawców energii, które mogą być wykorzystywane w modelowaniu systemu elektroenergetycznego, planowaniu rozwoju sieci oraz analizach bilansowych.

Dynamiczny rozwój OZE wymaga uwzględnienia zmienności generacji w planowaniu infrastruktury sieciowej oraz mechanizmów bilansowania mocy.