

Autoreferat

1. Imię i nazwisko.

JAKUB JURASZ

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

a. doktor nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria produkcji

AGH w Krakowie, Wydział Zarządzania, październik 2016

Temat: *Optymalizacja mocy zainstalowanej w słoneczno-wiatrowo-pompowym układzie źródeł energii*

Promotor: prof. Jerzy Mikulik, promotor pomocniczy: dr inż. Bartosz Sawik

b. magister zarządzania i inżynierii produkcji, specjalność zarządzanie logistyczne

AGH w Krakowie, Wydział Zarządzania, 2014

Temat: *Utilization of mathematical models in MS Excel (2007) whilst designing photovoltaic installations*

Promotor: prof. Jerzy Mikulik

c. studia podyplomowe, Odnawialne Zasoby i Źródła Energii

AGH w Krakowie, Szkoła Ochrony i Inżynierii Środowiska, 2014

Temat: *Koncepcja samowystarczalności energetycznej Gminy Lipowa z wykorzystaniem własnych zasobów (kopalne i OZE)*

Promotor: prof. Jacek Zimny

d. inżynier zarządzania i inżynierii produkcji

AGH w Krakowie, Wydział Zarządzania, 2012

Temat: *Analiza technologii fotowoltaicznej, pod kątem zasilenia budynku w energię elektryczną*

Promotor: prof. Jerzy Mikulik

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

a. 01.03.2021 – obecnie, adiunkt, Politechnika Wrocławska, Wydział Inżynierii Środowiska.

b. 01.10.2020 – 28.02.2021, adiunkt, AGH w Krakowie, Wydział Zarządzania

c. 01.10.2018 – 30.09.2020, staż podoktorski, MDH University, Västerås, Szwecja (urlop naukowy na AGH w Krakowie)

d. 01.03.2018–01.10.2018, adiunkt, AGH w Krakowie, Wydział Zarządzania

e. 10.12.2016–28.02.2018, asystent, AGH w Krakowie, Wydział Zarządzania

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej.

a. Tytuł osiągnięcia naukowego

„Czasowa i przestrzenna komplementarność niedyspozycyjnych odnawialnych źródeł energii w kontekście zapotrzebowania na energię elektryczną Zlewnia Nysy Kłodzkiej na obszarze powiatu kłodzkiego – studium przypadku”

b. Publikacja wchodząca w skład osiągnięcia naukowego

Jurasz, J., *„Czasowa i przestrzenna komplementarność niedyspozycyjnych odnawialnych źródeł energii w kontekście zapotrzebowania na energię elektryczną Zlewnia Nysy Kłodzkiej na obszarze powiatu kłodzkiego – studium przypadku.”* Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2023, ISBN 978-83-7493-231-8

c. Omówienie celu naukowego pracy i osiągniętych wyników wraz z ich ewentualnym wykorzystaniem

i. Kontekst badań zrealizowanych w monografii

Ostatnie dekady cechują się znaczącymi zmianami zachodzącymi w systemach elektroenergetycznych na świecie, które objawiają się w dwojaki sposób: rosnąca moc zainstalowana źródeł niedyspozycyjnych, takich jak energia wiatrowa i słoneczna, oraz zmiany po stronie popytowej, związane między innymi z rosnącym wykorzystaniem pomp ciepła i samochodów elektrycznych. Postęp technologiczny i spadek kosztów sprawiają, że coraz większe (pod kątem mocy zainstalowanej) parki wiatrowe i instalacje fotowoltaiczne przyłączane są do sieci – sytuacja ta dotyczy również Polski.

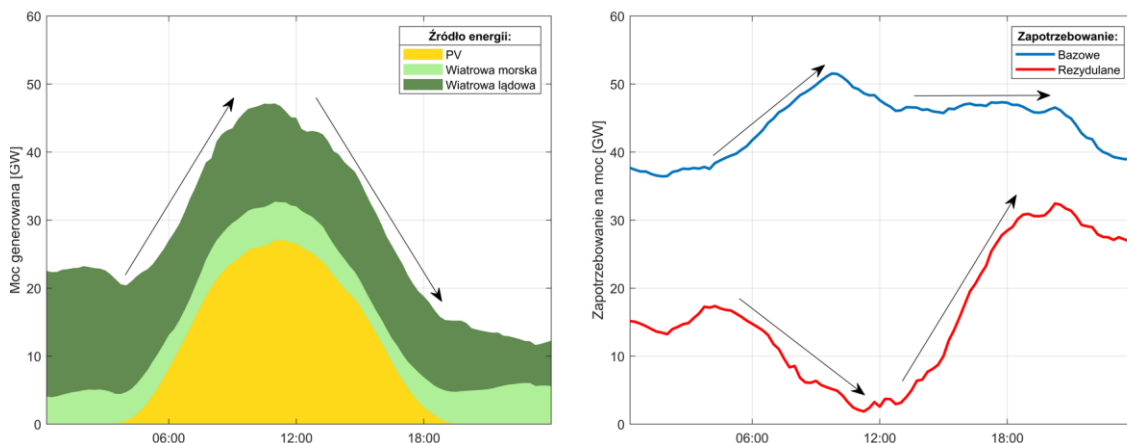
Z jednej strony rosnąca moc zainstalowana źródeł odnawialnych, chociaż kluczowa dla dalszej dekarbonizacji sektora energetycznego, stanowi poważne wyzwanie techniczne (niezawodność) oraz ekonomiczne (po akceptowalnym koszcie) w kontekście trylematu energetycznego. Historia ostatnich dni (słoneczna i wietrzna pogoda w dni wolne od pracy o niskim zapotrzebowaniu na energię elektryczną) pokazała, że osiągnięcie znaczących mocy zainstalowanych w odnawialnych źródłach energii w systemie nie jest problemem, natomiast zagospodarowanie energii z nich pochodzących nie zawsze jest (póki co) możliwe.

Z drugiej strony, zmiany w zapotrzebowaniu na moc wynikają z rozwoju nowych technologii. Wspomniane już pompy ciepła, samochody elektryczne czy elektryfikacja wielu procesów. Pompy ciepła stanowią efektywne rozwiązanie do ogrzewania i chłodzenia, jednakże ich sprawność (głównie dla pomp powietrze-woda) oraz stopień wykorzystania zależy głównie od warunków atmosferycznych (temperatury). Obserwuje się więc w systemie energetycznym wzmocnienie zależności pomiędzy zużyciem energii a temperaturą. Rosnąca liczba samochodów elektrycznych na drogach prowadzi wprawdzie do mniejszych emisji oraz niższego zużycia paliw konwencjonalnych jednak sumarycznie zwiększa zapotrzebowanie na energię elektryczną.

Biorąc pod uwagę powyższe można w tym miejscu zarysować następujący scenariusz: *zimowego popołudnia, gdy temperatura spada do -10°C czy też -15°C domowe pompy ciepła pracują z bardzo niską sprawnością lub wręcz w trybie grzałki a po godzinie 16-17 do domów*

docierają pierwsi domownicy. Wzrasta zużycie energii związane z typowymi aktywnościami związanymi z przygotowaniem posiłków, sprzątnięciem itp. Dodatkowo po powrocie z pracy do gniazdek domowych przyłączane są samochody elektryczne, które z racji mroźnej pogody rozładowały się w drodze powrotnej mocniej niż zwykle. W zimowe popołudnie przydomowe i przemysłowe instalacje fotowoltaiczne po godzinie 17 z reguły oddają do sieci ostatnie elektrony. Sytuacja meteorologiczna nie sprzyja wysokiej generacji ze źródeł wiatrowych. Prognoza pogody na jutro przewiduje utrzymanie się niekorzystnych warunków atmosferycznych.

Odwrotną sytuację do scenariusza opisanego powyżej może być dzień (okres) o bardzo wysokiej podaży energii ze źródeł niedyspozycyjnych co zwiualizowano na przykładzie niemieckiego systemu elektroenergetycznego na Rys.1. Źródła generacji wiatrowej i słonecznej cechują się średnią mocą generowaną na poziomie 27,8GW (dane 15-minutowe) i wartościami minimalną i maksymalną odpowiednio 11,6 GW i 47,1 GW. Zapotrzebowanie (bazowe) natomiast oscyluje na poziomie 36,4 GW z wartościami min = 44,0 GW i maks. = 51,5 GW. Przy założeniu, że źródła odnawialne mają priorytet w pokrywaniu zapotrzebowania można wyznaczyć zapotrzebowanie rezydualne (linia czerwona). Wartość minimalna tego profilu to 1,9 GW, maksymalna 32,4 GW natomiast średnia wynosi 16,2 GW. Oprócz bardzo niskiej wartości minimalnej zapotrzebowania rezydualnego (blisko dwudziestokrotnie mniejszej niż w profilu bazowym) na uwagę zasługuje odwrócenie profilu zapotrzebowania. Typowy poranny wzrost zapotrzebowania przekształca się w jego spadek (począwszy od około godziny 5 rano do 12) natomiast w godzinach popołudniowych zamiast raczej wygładzonego profilu zapotrzebowania na skutek malejącej generacji z OZE (głównie PV) obserwuje się znaczny wzrost zapotrzebowania od 1,9 GW do 32,4 GW (o godzinie 20:15). Można więc stwierdzić, że przez 8h zapotrzebowanie wzrastało o średnio 3,75 GW/h. W teorii przekładałoby się to więc na wprowadzanie do sieci co godzinę elektrowni o mocy porównywalnej do dwóch elektrowni w Połańcu lub Jaworznie.



Rys. 1. Wyzwanie związane z rosnącym udziałem źródeł generacji niedyspozycyjnej. Niemiecki system elektroenergetyczny 6 czerwca 2022 (czas UTC) wg danych ENTSO-E.
Zapotrzebowanie Rezydualne = Bazowe – OZE niedyspozycyjne.

Przedstawione scenariusze w sposób bardzo skrócony, ale i obrazowy, oddają zdaniem habilitanta potencjalne problemy związane z integracją odnawialnych źródeł energii z krajowym systemem elektroenergetycznym. Naturalnie system elektroenergetyczny posiada w swoim portfolio narzędzia oraz zasoby pozwalające na „poradzenie sobie” z zmienną i przewidywalną z określoną dokładnością generacją ze źródeł niedyspozycyjnych. W tym bogatym i coraz silnie rozwijającym się portfolio elastyczności systemu należy wymienić: sieci przesyłowe i dystrybucyjne; generatory o wysokim potencjale do pracy pod zmiennym obciążeniem i zdolnością do szybkiego uruchamiania, magazynowanie energii, zarządzanie

stroną popytową czy też łączenie sektorów (ang. sector coupling) gazu, ciepła, transportu i energii elektrycznej. Paul Denholm¹ (NREL w USA) szereguje opcje elastyczności w funkcji rosnącego na nie zapotrzebowania w sieci w następującej kolejności: poprawa funkcjonowania istniejących jednostek, sterowanie stroną popytową, infrastruktura sieciowa, źródła elastyczne oraz na końcu magazynowanie energii. Natomiast Delucchi i Jacobson² zaproponowali następujący zbiór działań, które można podjąć by proces integracji przebiegał sprawnie: rozbudowa sieci w celu połączenia źródeł generacji rozproszonej w skali lokalnej i globalnej; wykorzystanie komplementarnych i dyspozycyjnych źródeł energii w układach hybrydowych w celu lepszego dopasowania podaży do popytu; wykorzystanie „inteligentnego” sterowania stroną popytową tak by zapotrzebowanie lepiej dopasowywało się do podaży z niedyspozycyjnych źródeł odnawialnych; przewymiarowanie mocy źródeł niedyspozycyjnych i produkcja wodoru z ich nadwyżek; magazynowanie energii w miejscu jej produkcji; magazynowanie energii w miejscu jej zużycia (baterie, samochody elektryczne); prognozowanie pogody (meteorologia dla energetyki³) w celu lepszego planowania podaży energii.

Powyższe wskazuje jasno, iż działania podjęte u podstaw systemu elektroenergetycznego np. planowanie przestrzennego rozmieszczenia mocy jednostek wytwórczych (obecnie głównie źródeł generacji wiatrowej i słonecznej) tak by np. zmaksymalizować efekt wygładzania przestrzennego (dzięki rozbudowanym sieciom przesyłowym i dystrybucyjnym) czy też zminimalizować rozbieżność pomiędzy podażą a popytem na energię elektryczną (dzięki hybrydyzacji układów) stanowią kluczowe działania pozwalające na, i jednocześnie przyspieszające proces transformacji (dekarbonizacji) systemu elektroenergetycznego.

Przedstawiony obecny i wizje przyszłego krajobrazu systemu elektroenergetycznego stanowią główną motywację dla badań i analiz dotyczących zmienności, komplementarności oraz zjawisk ekstremalnych dotyczących źródeł wiatrowych, słonecznych oraz wodnych przedstawionych w monografii.

ii. Cel naukowy, osiągnięte wyniki, wykorzystanie.

Celem naukowym przedłożonej monografii habilitacyjnej jest poznanie oraz opisanie zależności występujących między niedyspozycyjnymi odnawialnymi źródłami energii w kontekście ich zdolności do uzupełniania się (komplementarności) oraz ograniczania częstotliwości zdarzeń ekstremalnych (susze energetyczne) w oparciu o kombinacje istniejących oraz zaproponowanych metod.

Z punktu widzenia **zakresu pracy** analizie poddano źródła generacji słonecznej (fotowoltaika), źródła wykorzystujące energię kinetycznej wiatru (turbiny wiatrowe) oraz źródła bazujące na energii wód płynących (elektrownie przepływowe). Ramy czasowe badania określono na lata 1951-2020. Jest to zakres dla którego posiadano dane historyczne obejmujące istotne dla analizy parametry meteorologiczne. Zakres przestrzenny ograniczono do zlewni Nysy Kłodzkiej ograniczonej punktem wodowskazowym Bardo.

Do głównych **pytań badawczych** postawionych w monografii należy zaliczyć te związane z:

- analizą różnych wskaźników komplementarności pod kątem ich interpretacji w kontekście niezawodność zasilania odbiorników energii elektrycznej;

¹ Denholm, P., & Hand, M. (2011). Grid flexibility and storage required to achieve very high penetration of variable renewable electricity. *Energy Policy*, 39(3), 1817-1830.

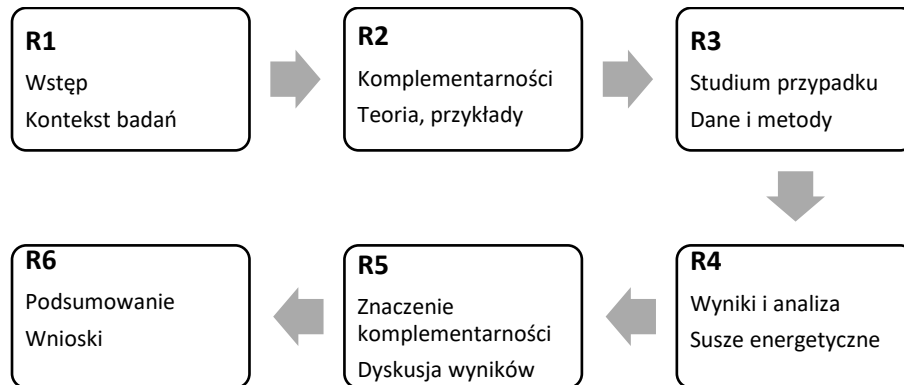
² Jacobson, M. Z., & Delucchi, M. A. (2011). Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials. *Energy policy*, 39(3), 1154-1169.

³ Olsson, L. E. (1994). Energy-meteorology: a new discipline. *Renewable energy*, 5(5-8), 1243-1246.

- komplementarność źródeł energii wiatru promieniowania słonecznego oraz wód płynących w analizowanym obszarze;
- częstotliwość występowania zjawisk ekstremalnych w tym susz energetycznych z punktu widzenia zasobów energii odnawialnej oraz w kontekście zapotrzebowania na moc elektryczną w ujęciu wieloletnim.
- struktura optymalnego układu hybrydowego słoneczno-wiatrowego wyposażonego w zasobnik energii pozwalający na zaspokojenie potrzeb energetycznych oraz przeanalizowanie pojemności zbiornika.
- zbadanie korelacji pomiędzy oscylacją północnoatlantycką a wystąpieniem zjawisk ekstremalnych w postaci suszy energetycznych;
- zdolność instalacji fotowoltaicznej *wygładzonej przestrzennie* – generacja rozproszona do minimalizacji zapotrzebowania maksymalnego na moc elektryczną.

Odpowiedzi na wyżej postawione pytania uzyskano w oparciu o następującą **strukturę monografii** (Rys 2). **Rozdział 1** poświęcony jest transformacji systemu elektroenergetycznego i ma na celu zarysowanie szerszego kontekstu badań zrealizowanych w monografii oraz wykazania ich istotności i czasowości ze względu na rosnący udział źródeł o niedyspozycyjnym charakterze pracy i związanych z tym konsekwencji dla stabilnej pracy systemu elektroenergetycznego. **Rozdział 2** omawia koncepcję komplementarności odnawialnych źródeł energii prezentując krótki rys historyczny oraz podając definicję komplementarności i objaśniając samą koncepcję na podstawie przykładów w oparciu o dane rzeczywiste lub symulowane. Dalsza część rozdziału poświęcona jest metrykom komplementarności a osobny podrozdział wyodrębniony został dla zjawisk ekstremalnych, czyli susz energetycznych. **Rozdział 3** stanowi opis wybranego studium przypadku jakim jest fragment zlewnej Kłodzkiej. W rozdziale przedstawiono dane wejściowe związane z parametrami meteorologicznymi niezbędnymi dla estymacji generacji ze źródeł odnawialnych oraz zapotrzebowanie na energię elektryczną. Przedstawiono założenia i metody dotyczące przeliczenia danych meteorologicznych na energię. Dodatkowo opisano zmienność wieloletnią i sezonową generacji ze źródeł odnawialnych na wybranym obszarze. Dla przedstawienia ekonomicznego kontekstu realizowanych badań wyznaczono wyrównany koszt energii dla wybranych źródeł energii odnawialnej. W rozdziale wyodrębniono również fragment poświęcony wygładzaniu przestrzennemu oraz potencjale fotowoltaiki do redukcji zapotrzebowania szczytowego. Rozdział wieńczy przedstawienie modelu sztucznej sieci neuronowej opracowanego na potrzeby symulacji zapotrzebowania na energię elektryczną za okres, dla którego nie były dostępne pomiary. **Rozdział 4** poświęcony jest komplementarności odnawialnych źródeł energii. Na wstępie (z perspektywy komplementarności) przedstawiono zmienność generacji źródeł w oparciu o szereg wizualizacji mających za zadanie zagregować i przefiltrować dużą ilość informacji niesioną w długich szeregach czasowych. Zaproponowano metodę wizualizacji pracy układu hybrydowego. W dalszej części rozdziału zaimplementowano wybrane wskaźniki komplementarności oraz omówiono ich znaczenie w kontekście analizowanego studium przypadku. Przeanalizowano prawdopodobieństwo wystąpienia susz energetycznych w zależności od konfiguracji układu hybrydowego oraz biorąc pod uwagę punkt odniesienia dla wartości granicznej wystąpienia suszy energetycznej. Zbadano również szybkość zmian generacji dla pojedynczych oraz hybrydowych źródeł energii. **Rozdział 5** to dyskusja na temat znaczenia komplementarności oraz sposobów jej optymalizacji. Pochylnono się nad zagadnieniami takimi jak wpływ kąta nachylenia i orientacji modułów PV na komplementarność, zależność pomiędzy komplementarnością źródeł odnawialnych oraz strukturą mocy w układzie hybrydowym a zapotrzebowaniem na zdolności magazynowe energii, zbadano przypadek elektrowni wodnej zbiornikowej współpracującej z elektrownią słoneczną. Dodatkowo przeanalizowano komplementarność w wymiarze ekonomicznym.

Zwrócono również uwagę na wpływ oscylacji północnoatlantyckiej na występowanie zjawisk ekstremalnych. **Rozdział 5** wieńczy szereg rekomendacji dla rozwoju OZE w analizowanym obszarze na podstawie przeprowadzonych badań. **Rozdział 6** to podsumowanie przeprowadzonych badań oraz podkreślenie głównych wniosków i wyników zawartych w monografii. Monografię kończy spis literatury wykorzystanej w trakcie badań.



Rys. 2. Struktura monografii habilitacyjnej.

Ze względu na charakter opracowania oraz praktyki w badaniach poświęconych systemom energetycznym zdecydowano się na wykorzystanie **metoda badawczej** w postaci symulacji komputerowej w oparciu o autorską kombinację istniejących i zweryfikowanych modeli matematycznych.

OMÓWIENIE GŁÓWNYCH WYNIKÓW PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

W kolejnych akapitach przechodzę do omówienia najważniejszych kwestii zawartych w monografii.

Analiza literatury wskazuje, że pierwsze badania poświęcone tematyce komplementarności odnawialnych źródeł energii (choć tak wtedy tego nie określano) można datować na lata 70 XX wieku. Co nie powinno budzić naszego zdziwienia, ponieważ przypada to na okres jednego z kryzysów naftowych i wtedy to też zainteresowanie alternatywnymi formami pozyskiwania energii elektrycznej naturalnie zintensyfikowało się.

Na przestrzeni ostatnich lat zainteresowanie tą tematyką znacząco wzrosło. Prace naukowe poświęcone są nie tylko samym metodom wyznaczania/szacowania/opisywania komplementarności źródeł energii, ale również powiązanymi z nimi aspektami funkcjonowania różnych systemów elektroenergetycznych lub pojedynczych układów.

Na Rys. 3 przedstawiono powiązania, które autor zidentyfikował na podstawie swoich badań, pomiędzy komplementarnością odnawialnych źródeł energii a różnymi zagadnieniami naukowymi w ramach szeroko rozumianej tematyki systemów energetycznych. Wysuwającymi się na pierwszy plan tematami jest często poruszana kwestia niezawodności w funkcji komplementarności (**co zbadano w monografii**) oraz optymalizacji pracy i mocy zainstalowanej w układach hybrydowych. Układy te najczęściej składają się z zasobnika energii (bateria, elektrownia szczytowo-pompowa, lub elektrownia wodna zbiornikowa) współpracujące ze źródłami niedyspozycyjnymi generacji wiatrowej lub/i słonecznej.

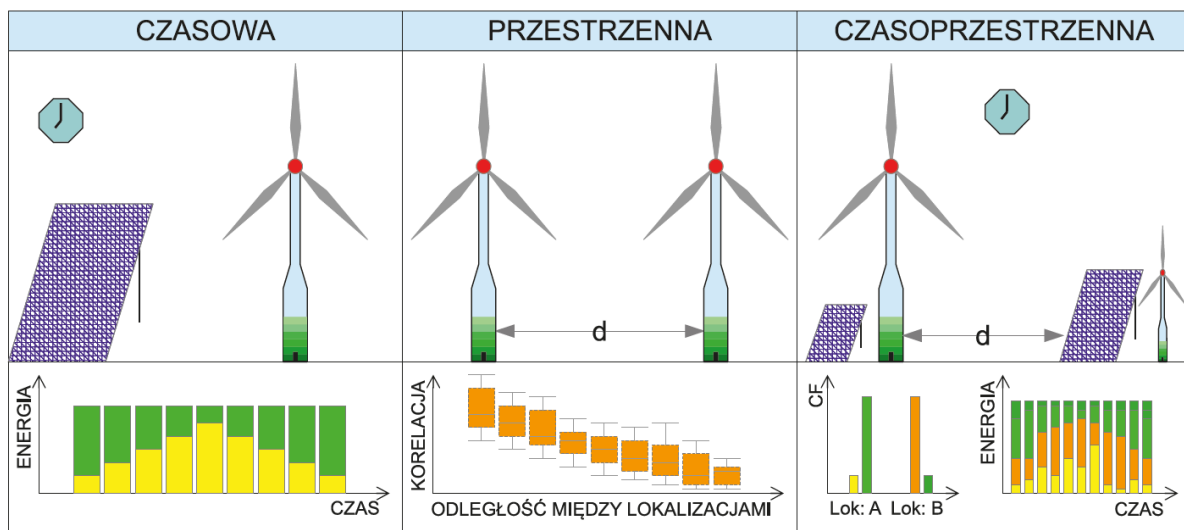
Innym kierunkiem badań związanym z komplementarnością odnawialnych źródeł energii jest powiązanie jej z występowaniem zjawisk ekstremalnych, gdzie głównie mówi się o suszach energetycznych. Definiowane są one jako okresy przedłużającej się niskiej podaży energii ze źródeł niedyspozycyjnych z perspektywy ich wieloletniej średniej dostępności lub w kontekście zapotrzebowania na moc elektryczną. Komplementarność zakłada tutaj, iż wykorzystanie źródeł hybrydowych (najczęściej generacji wiatrowej i słonecznej) pozwala

minimalizować prawdopodobieństwo wystąpienia suszy energetycznej co poddane zostało szczegółowej analizie w monografii.



Rys. 3. Komplementarność odnawialnych źródeł energii a inne obszary badań.

Na tym etapie warto pochylić się na samą definicję słowa komplementarny. W **monografii podjąłem próbę** wytłumaczenia tego pojęcia oraz umotywowania jego użycia w kontekście charakterystyki zasobów odnawialnych źródeł energii. Na podstawie analizy literatury (dostępnych definicji w języku angielskim) oraz użycia tego wyrażenia w języku polskim można stwierdzić, że komplementarność odnawialnych źródeł energii opisywać będzie sytuację, gdy ich jednoczesne wykorzystanie poprawia realizowane przez nie funkcje celu. Samą komplementarność można wyznaczać z zastosowaniem kryterium/perspektywy czasu, przestrzeni oraz czasoprzestrzeni jak to schematycznie przedstawiono na Rys. 4.



Rys. 4. Komplementarność w wymiarze czasu i przestrzeni.

Komplementarność w czasie bardzo łatwo zaobserwować np. w Polsce z perspektywy zmienności śródrocznej (sumy generacji w ujęciu poszczególnych miesięcy) gdzie

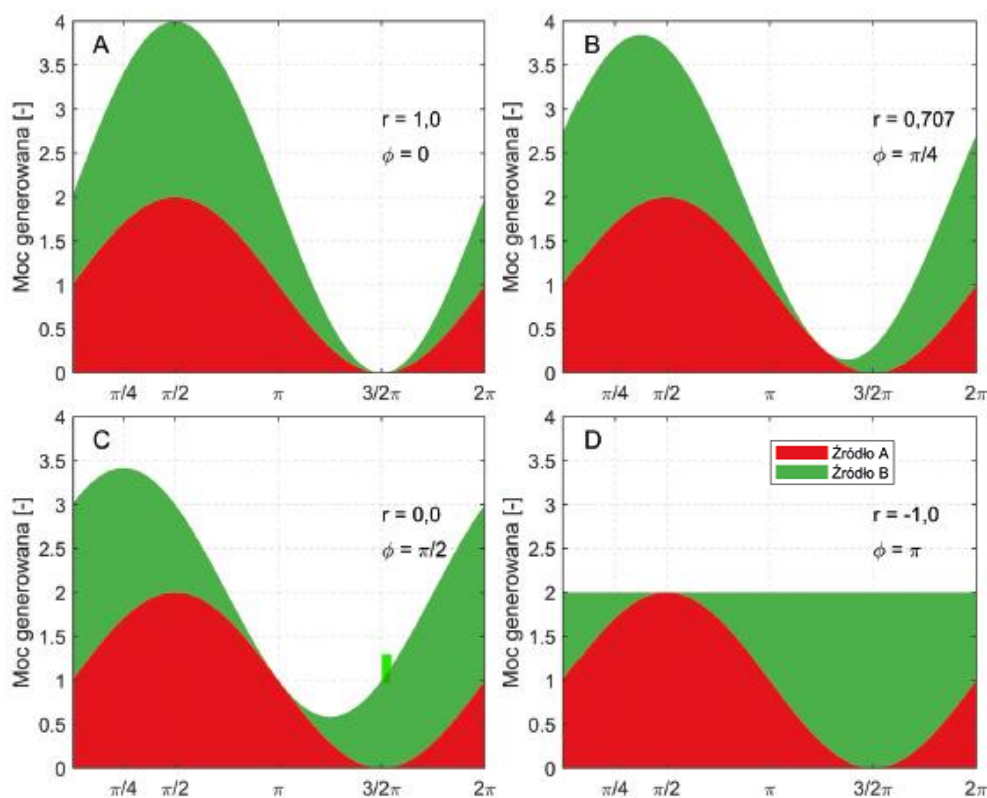
zdecydowana większość generacji źródeł słonecznych przypada na okres późna wiosna-wczesna jesień, natomiast wiatrowej w okresie jesienno-zimowym.

Komplementarność w przestrzeni najlepiej zilustrować koncepcją **wyglądania przestrzennego**, gdzie rozproszone w przestrzeni generatory słoneczne lub wiatrowe cechują się bardziej wygładzonym profilem mocy generowanej w funkcji czasu.

Komplementarność w czasoprzestrzeni łączy oba wcześniej wspomniane wymiary i bazuje jednocześnie na komplementarności źródeł w czasie oraz przestrzeni. Najczęściej ten wymiar komplementarności będzie odnosił się do wielkoskalowych systemów elektroenergetycznych.

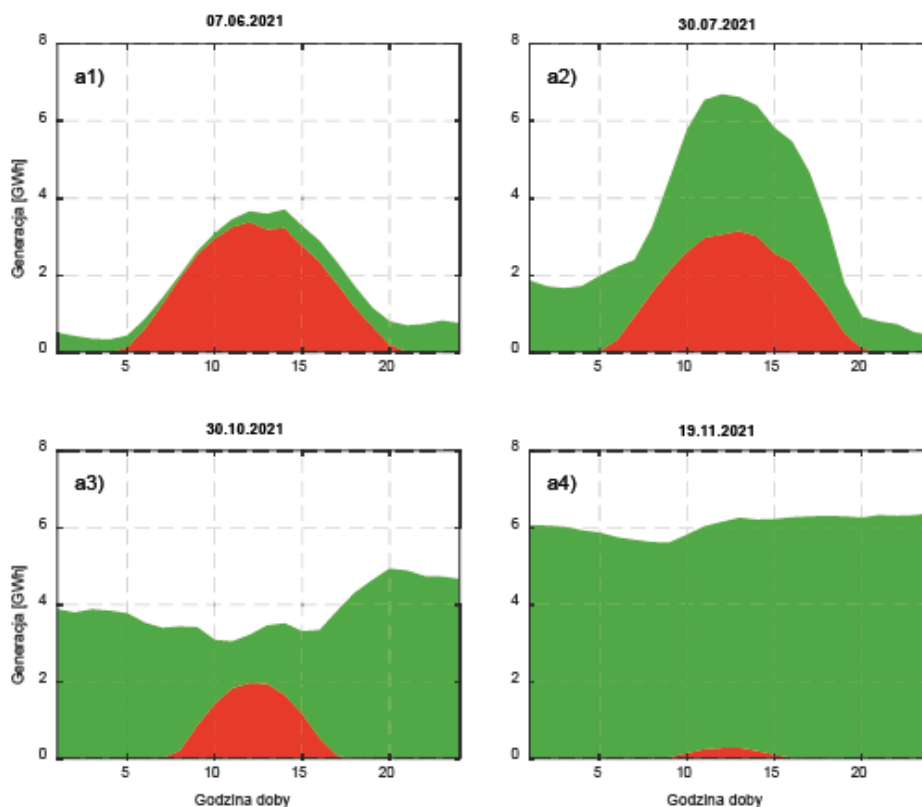
W monografii habilitacyjnej powyższe zagadnienia związane z komplementarnością omówiono szczegółowo w rozdziale 2.2. Analizę oparto o dane raportowane przez PSE, ENTSO-E, dane poufne z farmy wiatrowej, oraz symulację w oparciu o dane z reanalizy ERA-5.

Bardzo wygodną i podręcznikową formą przedstawienia koncepcji komplementarności źródeł odnawialnych jest posłużenie się funkcją trygonometryczną sinus, która będzie miała za zadanie odwzorować przebieg generacji energii elektrycznej ze źródła, a natomiast ta sama funkcja przesunięta w fazie o kąt ϕ odpowiadać będzie za źródło B. Zasadę tę przedstawiono na Rys. 5. Za wskaźnik komplementarności przyjęto **współczynnik korelacji Pearsona**, którego wady i zalety omówiono w monografii. Wartość współczynnika korelacji w kontekście komplementarności należy interpretować: -1 pełna/doskonała komplementarność, 1 – brak komplementarności/pełna synchronizacja źródeł. Na tym etapie należy wyraźnie podkreślić (co również przedyskutowano w monografii) o ile współczynniki korelacji są łatwe w interpretacji to nie biorą one pod uwagę skali (tutaj potencjału źródeł) a jedynie ich profil generacji w funkcji czasu. Stąd też zdawałoby się idealny przypadek na Rys. 4d w rzeczywistości może charakteryzować się współczynnikiem korelacji na poziomie -1 natomiast wolumen energii dostarczonej ze źródła A lub B może być znacząco mniejszy niż wymagany do pełnej komplementarności (suma generacji jest stała w czasie).



Rys. 5. Koncepcja komplementarności dwóch źródeł wyrażonych funkcjami sinus.

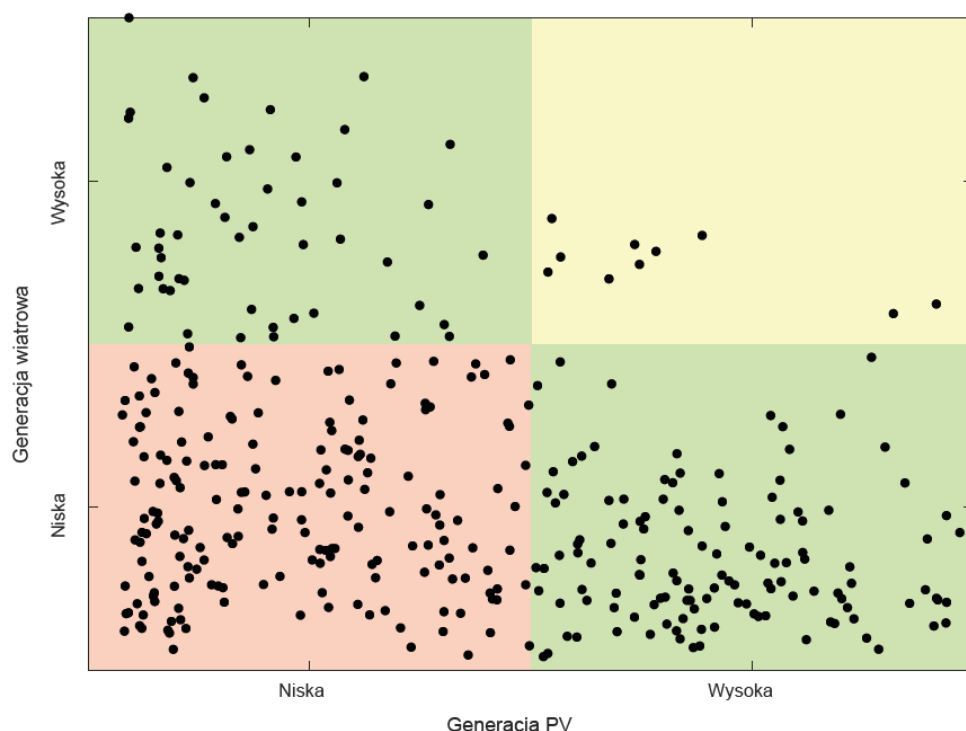
Jak w rzeczywistości kształtowały się profile generacji źródeł odnawialnych (wiatrowych i słonecznych) z punktu widzenia wartości godzinowych? W tym celu posłużono się w monografii wartościami raportowanymi przez PSE za rok 2021 co zwizualizowano na Rys. 6. Wybrano cztery charakterystyczne dni kierując się następującymi kryteriami: wysoka generacja źródeł PV i niska ze źródeł wiatrowych (Rys. 6a1), wysoka generacja źródeł wiatrowych i niska PV (Rys. 6a4), wysoka komplementarność z perspektywy współczynnika korelacji (Rys. 6a3) oraz niska komplementarność (Rys. 6a2). Dni te można by następnie zaklasyfikować z perspektywy systemu elektroenergetycznego. Mianowicie a1, a3 oraz a4 są na dobrą sprawę stosunkowo korzystne dla systemu. a1 i a3 dobrze dodatnio korelują z profilem zapotrzebowania na energię (typowym dobowym profilem niepokazanym tutaj, monografia Rys. 3.5) natomiast w wypadku a4 mamy do czynienia z **stabilną w ciągu dnia generacją źródeł wiatrowych**, gdzie mogą stanowić więc podstawę zasilania systemu elektroenergetycznego. Na uwagę zasługuje sytuacja a2, gdzie profil generacji obu źródeł jest w znacznej mierze zbliżony do tego z wniosku habilitacyjnego (autreferat) zaprezentowanego na Rys. 1. Zaobserwować można nałożenie się godzin wysokiej generacji z obu źródeł. Biorąc pod uwagę, że w docelowym nisko bądź zeroemisyjnym systemie energetyczny w Polsce moc zainstalowana generatorów wiatrowych i fotowoltaicznych będzie kilkukrotnie wyższa można spodziewać się generacji łącznej z tych źródeł przekraczającej wielokrotnie zapotrzebowanie na moc elektryczną.



Rys. 6. Szczególne dni pracy źródeł wiatrowych (zielony) i słonecznych (czerwony) w Polskim systemie elektroenergetycznym.

Powyżej przedstawiono koncepcję komplementarności odnawialnych źródeł energii. Za punkt odniesienia przyjęto wartości generacji przedstawione z godzinowym krokiem czasowym. Należy podkreślić, iż komplementarność można oceniać z perspektywy różnych horyzontów (kroków) czasowych. Typowe z nich to wartości godzinowe, sumy dobowe, sumy miesięczne lub sumy roczne. Te ostatnie stosuje się w analizach dotyczących zmienności wieloletniej. Nie jest ona co prawda tak widoczna w wypadku promieniowania słonecznego,

ale można ją wyraźnie zaobserwować w wypadku generacji wiatrowej co ma silne i bezpośrednie przełożenie na funkcjonowanie systemu elektroenergetycznego. Dostępność danych z reanaliz o wysokiej rozdzielczości przestrzennej i czasowej oraz długim horyzoncie czasowym (np. ERA-5, która została wielokrotnie zweryfikowana z pomiarami naziemnymi^{4,5}) umożliwia takie analizy związane z określeniem **prawdopodobieństwa oraz rozkładów generacji ze źródeł niedyspozycyjnych w ujęciu zmienności wieloletniej**. Przykład analizy z punktu widzenia komplementarności sum dobowych generacji przedstawiono na Rys. 7 dla danych z Polskiego systemu elektroenergetycznego za rok 2021. Poziom graniczny generacji określanej mianem „niska” i „wysoka” przyjęto arbitralnie jako połowę wartości maksymalnej obserwowanej dla wybranego źródła. Zestawienie generacji z dwóch źródeł w postaci wykresu rozrzutu pozwala na łatwe wizualne oszacowanie ich zdolności do uzupełniania się. W tym wypadku analiza **pozbawiona jest jednak kontekstu zapotrzebowania na moc elektryczną**. Kolorami symbolicznie oznaczono obszary o różnym znaczeniu dla systemu elektroenergetycznego. W polu czerwonym, gdy generacja z obu źródeł jest niska możemy mieć do czynienia z deficytem energii ze źródeł odnawialnych na poziomie doby, w polach zielonych zasoby energii z obu źródeł mają tendencję do uzupełniania się natomiast w polu żółtym możemy potencjalnie zaobserwować nadwyżkę energii. Znamionym jest, iż maksymalną dobową generację ze źródeł wiatrowych zaobserwowano przy bardzo niskiej generacji ze źródeł PV i odwrotnie. Wartości (czarne punkty) zbliżające się na wykresie do punktu przecięcia osi współrzędnych (0, 0) można traktować w tym wypadku jako dni o znamionach **suszy energetycznej**, gdy generacja z obu źródeł jest poniżej określonego poziomu.

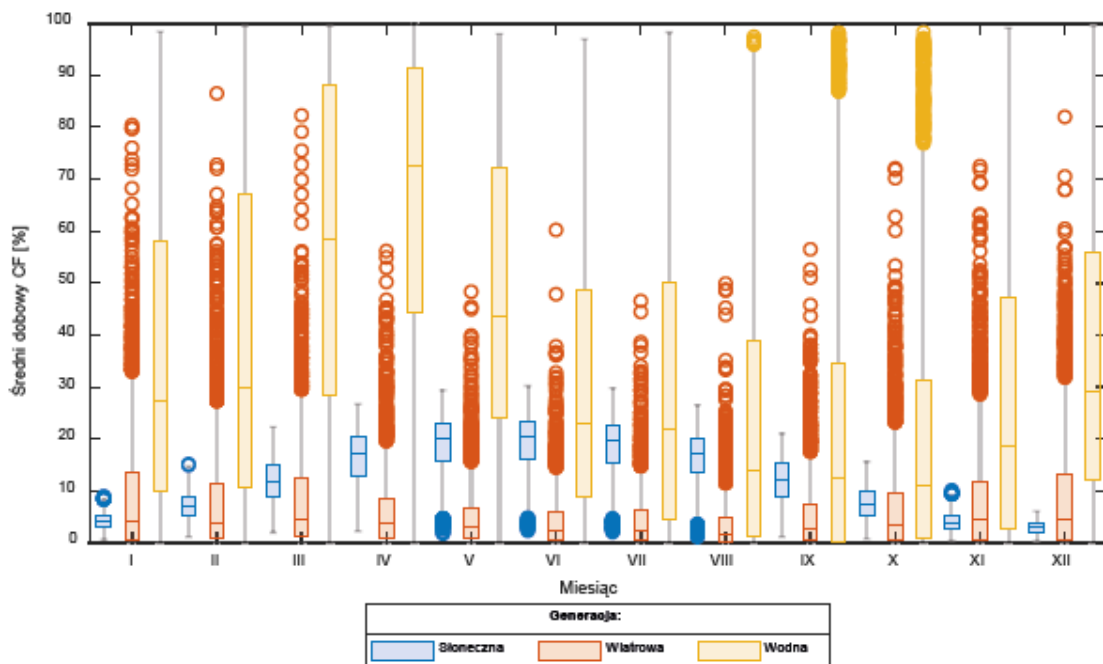


Rys. 7. Generacja źródeł w ujęciu sum dobowych dla Polskiego systemu elektroenergetycznego.

⁴ Gruber, K., Regner, P., Wehrle, S., Zeyringer, M., & Schmidt, J. (2022). Towards global validation of wind power simulations: A multi-country assessment of wind power simulation from MERRA-2 and ERA-5 reanalyses bias-corrected with the global wind atlas. *Energy*, 238, 121520.

⁵ Molina, M. O., Gutiérrez, C., & Sánchez, E. (2021). Comparison of ERA5 surface wind speed climatologies over Europe with observations from the HadISD dataset. *International Journal of Climatology*, 41(10), 4864-4878.

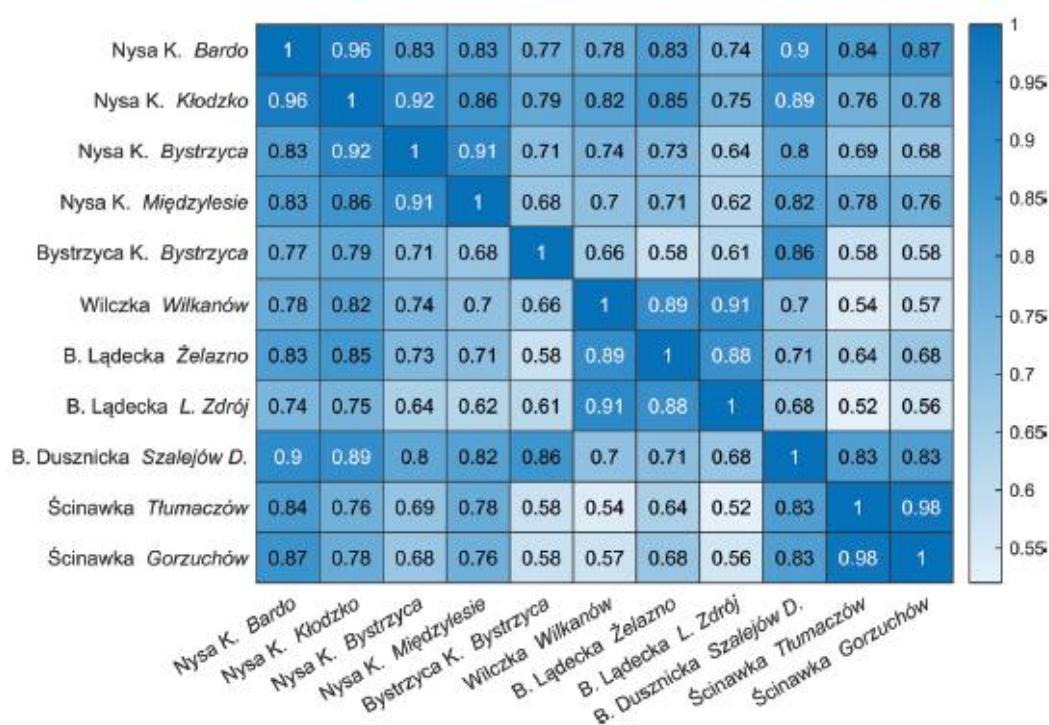
Na podstawie symulacji przeprowadzonych w Rozdziale 3 oszacowano zmienność generacji energii z perspektywy danych wieloletnich (1951-2020). Wyniki przedstawiono w postaci wykresu pudełka z wąsami (Rys. 8) zawierającymi informację na temat średniego dobowego współczynnika wykorzystania mocy zainstalowanej (ang. capacity factor - CF) w rozbiciu na poszczególne miesiące. Wykres pozwala na **jednoczesną ocenę potencjału źródeł odnawialnych w poszczególnych miesiącach, ale również ich zmienność**, która objawia się licznymi wartościami odstającymi. W szczególności jest to widoczne dla źródeł generacji wiatrowej. Przy bardzo niskiej wartości CF (<10%) pojawiają się pojedyncze dni gdy CF przekracza wartości 50% a nawet 80%. Podobnie wysoką zmienność (liczne wartości odstające) obserwujemy dla generacji wodnej, ale wyłącznie w okresie sierpień-październik. Generacja źródeł słonecznych (PV) na tle pozostałych dwóch **cehuje się znacznie mniejszą zmiennością**. Wartości odstające można zaobserwować w okresie maj-sierpień i będą one powiązane z dniami o wysokim zachmurzeniu oraz w okresie jesienno-zimowym, gdy bezchmurne i niskie temperatury sprzyjały wysokiej generacji. Wykres ten obrazuje również do pewnego stopnia sezonową zdolność uzupełniania się źródeł odnawialnych: niższa generacja ze źródeł wiatrowych okresie wiosna-lato jest kompensowana przez wyższą generację źródeł słonecznych w tym okresie.



Rys. 8. Sezonowa zmienność generacji ze źródeł odnawialnych.

Przedstawione powyżej wyniki pochodzą z symulacji przeprowadzonej w oparciu o 20 punktów węzłowych siatki reanalizy ERA-5, którą wykorzystano do symulacji źródeł PV i wiatrowych oraz pomiarów IMGW-PIB (hydrogeneracja). Wykorzystanie szeregów czasowych z różnych lokalizacji uwzględnia już więc również komplementarność źródeł w przestrzeni, czyli tak zwany efekt **wygładzania przestrzennego** (ang. spatial smoothing). W monografii (Rozdział 3.7) szczegółową analizę tego zjawiska wykonano dla źródeł generacji słonecznej (w oparciu o dane godzinowe pochodzące z pomiarów satelitarnych CAMS) oraz przepływów godzinowych i średnich dobowych dla punktów pomiarowych IMGW-PIB. W analizie nie badano generacji ze źródeł a jedynie parametr meteorologiczny tj. nasłonecznienie (Wh/m^2) i przepływ (m^3/s). Ze względu na niewielkie rozmiary analizowanego obszaru oraz analizę w oparciu o dane godzinowe **nie zaobserwowano znaczącej redukcji wartości współczynnika korelacji w funkcji odległości**, aczkolwiek zależność ta była

ewidentna (monografia Rys. 3.55). I tak dla punktów położonych w odległości jednego węzła siatki CAMS (około 4-5 km) wartość współczynnika oscylowała na poziomie 0,98 – 1 natomiast dla punktów położonych w odległości 50 km były to już wartości około 0,95. Zaobserwować więc można było wyraźny spadek wartości współczynnika korelacji (analiza tylko dla wartości z godziny dziennych) w funkcji odległości – a więc efekt wygładzania przestrzennego. Ze względu na rozdzielczość przestrzenną siatki ERA-5 (+20km) pominięto analizę wygładzania przestrzennego dla źródeł wiatrowych. Zrealizowano ją natomiast, jak już wspomniano, dla przepływu na analizowanych ciekach wodnych. Wyniki przedstawiono na **macierzy korelacji** (Rys. 9) nie uwzględniono tutaj jednak odległości pomiędzy punktami pomiarowymi, ponieważ ich lokalizacja z natury rzeczy jest punktowa natomiast monitorują one zjawiska niejako zachodzące na obszarze całej zlewni wybranego cieku⁶. W macierzy przedstawiono wartości współczynników korelacji dla szeregów czasowych z 11 punktów pomiarowych (schemat ich rozmieszczenia przedstawiono w monografii na Rys. 3.25). Wartości współczynników korelacji oscylują na poziomie do bardzo wysokiej 0,98 (rzeka Ścinawka punkty pomiarowe Gorzuchów i Tłumaczów) do umiarkowanej 0,52 (rzeki Ścinawka i Biała Łądecka). Te pierwsze znajdują się w odległości niecałych 13 km w linii prostej natomiast te drugie to blisko 40 km w linii prostej. Natomiast co istotne to pierwsze dotyczą jednej rzeki i jej jednej zlewni więc naturalnie spodziewać się można bardzo zbliżonych przepływów. W drugim wypadku mamy do czynienia z dwoma różnymi rzekami nie mającymi wspólnej zlewni, a więc spodziewana jest tam mniejsza korelacja pomiędzy ich przepływami. Tak przeprowadzona analiza wskazuje, iż na wybranym **stosunkowo małym obszarze obserwuje się, iż przepływy do pewnego stopnia wykazują tendencję do dekorelacji**, aczkolwiek nie mamy tutaj do czynienia z korelacją ujemną, a więc zasoby te nie uzupełniają się w przestrzeni a jedynie potencjalnie wygładzają.

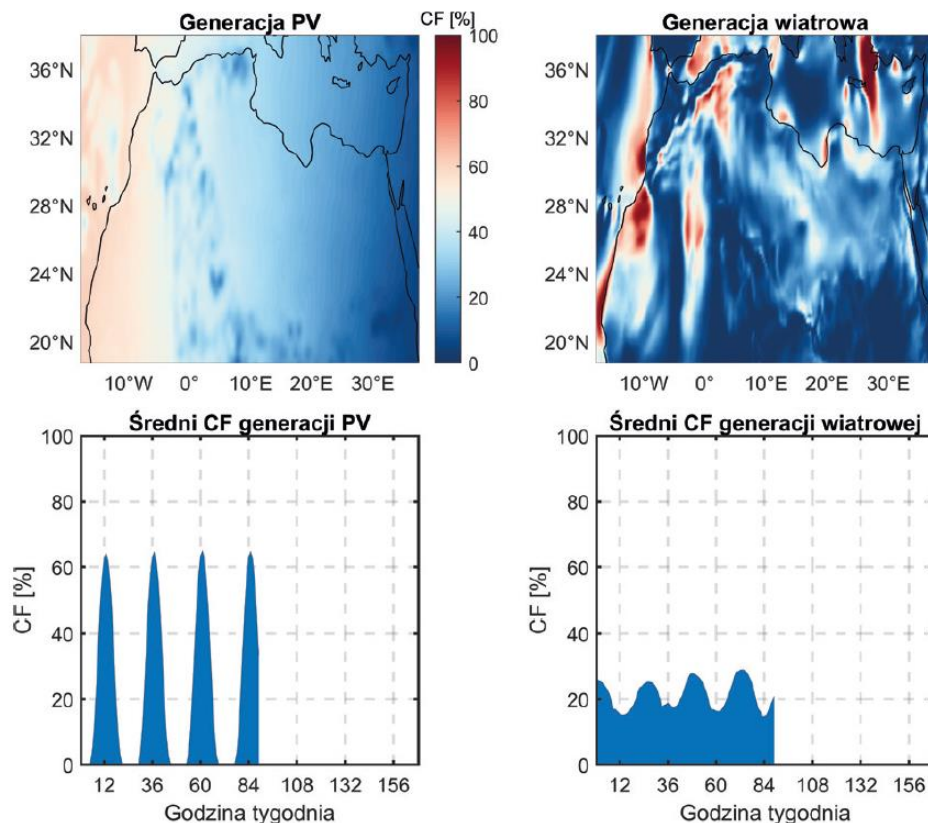


Rys. 9. Macierz korelacji godzinowych przepływów w roku 2019.

⁶ Zasadne w tym miejscu mogłoby być uwzględnienie odległości liczonej np. od środka zlewni wyznaczonej odpowiednio dobraną metodą. Aspekt ten pominięto w monografii.

W monografii rozszerzono analizę szeregów godzinowych generacji wodnej w oparciu o wartości współczynnika zmienności. Zaobserwowano, iż wartość tego współczynnika (115%) dla szeregu zagregowanego była mniejsza niż jego wartość obserwowana na 8 z 11 potencjalnych lokalizacjach dla elektrowni wodnych. Co potwierdza powyższe stwierdzenie o wpływie dystrybucji przestrzennej na zredukowanie zmienności profili generacji.

Bardziej wymowne przedstawienie zjawisk czasowej i przestrzennej komplementarności źródeł odnawialnych zaprezentowano na wstępie do monografii, aczkolwiek wybiega ono przestrzennie poza obszar zlewni Nysy Kłodzkiej. Zasymulowano pracę parków wiatrowych i fotowoltaicznych w węzłach siatki reanalizy ERA-5 dla obszaru i okolic Afryki Północnej a następnie zwizualizowano zmienność przestrzenną oraz czasową jak przedstawiono to na Rys. 10. Wykresy prezentują jedynie wycinek z całej analizy mianowicie czwarty dzień tygodnia o godzinie 17 czasu UTC. Wartości CF są średnią arytmetyczną z punktów należących do całego obszaru. Na uwagę zasługuje stosunkowo niewielka zmienność przestrzenna generacji PV (głównie związana z ruchem obrotowym Ziemi) oraz wysoka zmienność generacji wiatrowej, gdzie można wyróżnić kilka obszarów o bardzo wysokiej generacji (północna Algieria, Kreta czy zachodnie wybrzeże Afryki). Jednocześnie z perspektywy czasu można zaobserwować wyższą generację źródeł wiatrowych w godzinach nocnych i niższą w ciągu dnia, która jest kompensowana wyższą generacją źródeł PV. Powyższe dowodzi, iż zasoby energii odnawialnej mają tendencję do uzupełniania się w czasie i przestrzennego wygładzania swojego profilu generacji. Oczywiście wykorzystanie tego efektu na tak znaczącej przestrzeni wymaga odpowiednio rozbudowanej infrastruktury przesyłowej. Istotne jest również kształtowanie się profilu generacji energii w kontekście zapotrzebowania na nią.



Rys. 10. Zmienność w czasie i przestrzeni generacji PV i wiatrowej na obszarze Afryki Północnej i okolic.

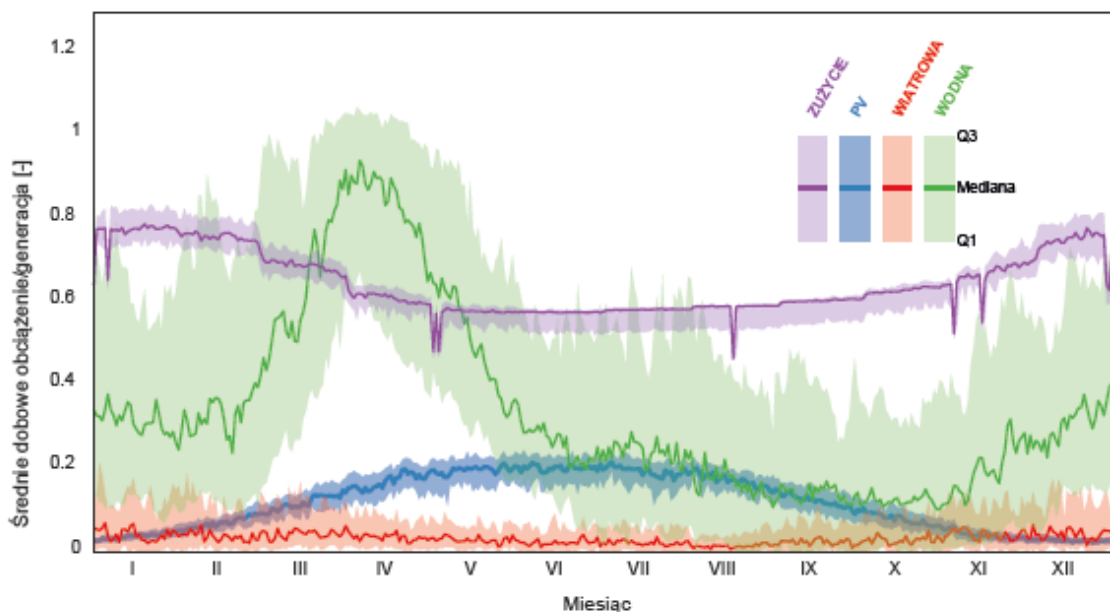
Do dyspozycji badaczy zajmujących się tematyką odnawialnych źródeł energii są dostępne wieloletnie szeregi czasowe pomiarów. W miejscach, gdzie dane te nie są dostępne

wystarczającą dokładność można uzyskać w oparciu o dane pochodzące z reanaliz lub innych baz danych (czemu poświęcono wybrane fragmenty Rozdziału 3 monografii). Problemem jest natomiast z reguły dostępność danych dotyczący zapotrzebowania na energię elektryczną⁷. Do dyspozycji habilitanta były dane pomiarowe z głównych punktów zasilania oraz stacji średniego napięcia dla analizowanego obszaru za lata 2015-2020 w ujęciu godzinowym. Po przeanalizowaniu kompletności danych (Rys. 3.7 w monografii) w dalszej części analizy skupiono się na analizie wyłącznie profilu zagregowanego⁸. Ze względu na dostępność danych o zużyciu energii wyłącznie za okres 6 lat opracowano model sztucznej sieci neuronowej mającej na celu symulację zużycia energii w latach 1951-2014. Z procesu uczenia sieci neuronowej wyłączono rok 2020 jako ten noszący znamiona wpływu pandemii Covid-19 na zużycie energii. Rozdział 3.8 monografii opisuje całą procedurę i przyjęte założenia. Należy podkreślić, iż takie podejście znacząco zwiększa możliwość analizowania podaży energii z OZE w kontekście jej zapotrzebowania w ujęciu wieloletnim, ale jednocześnie zakłada, że popyt na energię w latach 1951-2014 będzie na podobnym poziomie (modyfikowany przez czynniki zewnętrzne jak np. warunki meteorologiczne). Analiza tego typu ma charakter analizy ex-post ponieważ badamy pracę systemu energetycznego na podstawie zdarzeń, które mogły mieć miejsce w przyszłości. Biorąc pod uwagę dynamikę zmian zachodzących w systemie energetycznym należy podkreślić, że np. profil zapotrzebowania na energię w przyszłości może ulec daleko idącym zmianą na skutek elektryfikacji transportu, ciepłownictwa czy zmiany przyzwyczajzeń. Dodatkowo analiza wybiegająca w przyszłość wymaga uwzględnienia projekcji zmian klimatu, które cechują się dla źródeł OZE różnymi trajektoriami.

Rys. 11 obrazuje zmienność wieloletnią zasobów energii wiatru, promieniowania słonecznego, wód płynących oraz zużycia energii w oparciu o średni dobowy współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej oraz znormalizowane zapotrzebowanie na moc elektryczną. Dane przedstawiono obejmują 70 lat. Widać wyraźne profile związane z sezonowością zapotrzebowania na energię elektryczną (szczyt w okresie zimowym), dostępnością zasobów energii wiatru (więcej w okresie jesienno-zimowym), promieniowania słonecznego (więcej wiosną-latem) oraz wysoką zmienność generacji ze źródeł wodnych, gdzie najwyższe wartości mediany przypadają na okres marzec-maj (roztopy pokrywy śnieżnej w górach) a najniższe w okresie późnego lata-jesieni gdzie niejednokrotnie kwartył Q1 jest bliski lub równy zero → brak generacji. Należy zwrócić uwagę, iż sieć neuronowa dość dokładnie oddała występujące okresy o niższym zapotrzebowaniu na energię elektryczną związane z dniami wolnymi od pracy. Dane wg tak **zaproponowanej metody** (Rozdział 3) zostały następnie wykorzystane w ocenie i analizie komplementarności źródeł odnawialnych dla analizowanego studium przypadku.

⁷ Ograniczenia związane z użyciem np. typowych profili zapotrzebowania na energię elektryczną przedstawiono w pracy: Jurasz, J., Guezgouz, M., Campana, P. E., & Kies, A. (2022). On the impact of load profile data on the optimization results of off-grid energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 159, 112199.

⁸ Analiza funkcjonowania system przesyłu i dystrybucji energii nie była przedmiotem monografii nie podejmowano również decyzji o przestrzennym rozmieszczeniu źródeł OZE. Dlatego też można stwierdzić, iż analizę wykonano w oparciu o założenie *copper-plate* czyli brak ograniczeń w zdolnościach przesyłu i dystrybucji energii.

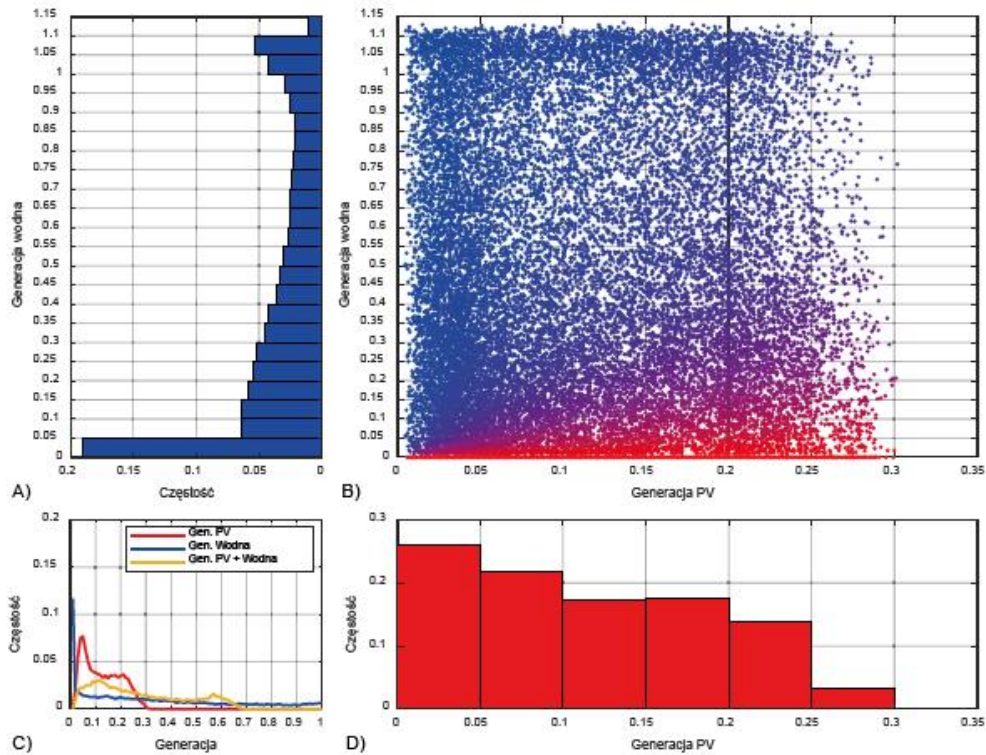


Rys. 11. Zmienność zasobów energii wiatru, promieniowania słonecznego i wód płynących oraz zapotrzebowania na energię elektryczną.

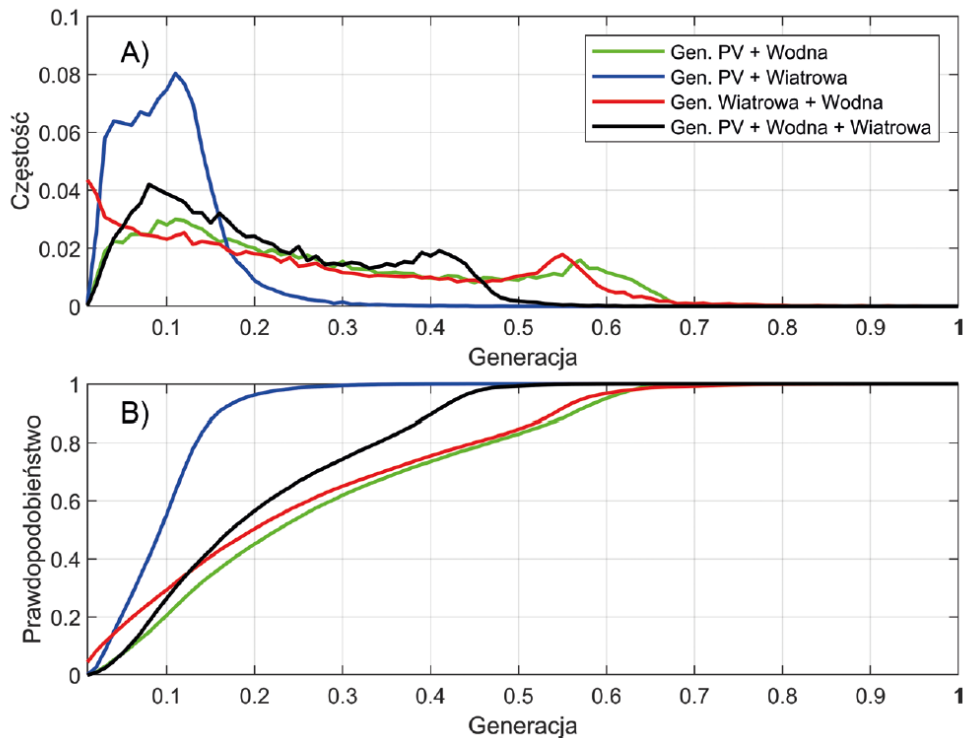
Oprócz wykorzystania w monografii wielu wskaźników komplementarności (współczynniki korelacji, współczynnik stabilności czy też prawdopodobieństwo utraty zasilania), których szczegółowej analizie poświęcony był Rozdział 2 w monografii skupiono się na analizie funkcjonowania różnych kombinacji układów hybrydowych. Zbadano układy słoneczno-wiatrowe, wiatrowo-wodne, słoneczno-wodne oraz układ składający się z trzech źródeł jednocześnie. Biorąc pod uwagę różnice w współczynnikach wykorzystania mocy zainstalowanej poszczególnych źródeł w obliczeniach przyjęto dwa scenariusze: równości mocy zainstalowanej źródeł oraz równej sumy energii dostarczonej przez źródła w ujęciu wieloletnim.

Na Rys. 12 zebrano wyniki symulacji pracy źródeł słonecznych i wodnych w postaci średniego dobowego współczynnika wykorzystania mocy zainstalowanej⁹. Na wykresie na Rys. 12b można zauważyć, iż w przypadku układu wodno-PV możliwych jest wiele poziomów generacji. Należy podkreślić, iż hybrydyzacja źródeł pozwala na wyeliminowanie dni, w których generacja nie jest możliwa (jak ma to często miejsce w przypadku źródeł generacji wodnej pracujących samodzielnie) Rys. 12c. Zestawienie wyników dla wszystkich kombinacji układów hybrydowych przedstawiono na Rys. 13. Wyniki jasno wskazują na bardzo niskie (praktycznie zerowe) prawdopodobieństwo pracy wszystkich źródeł jednocześnie z mocą znamionową przez cały dzień. Wynika to również do pewnego stopnia, iż z dziennego charakteru dostępności energii promieniowania słonecznego, gdzie dobowy CF nie może w praktyce przekroczyć 30-35%. Analizując wykres (Rys. 13 a i 13b) **hybrydyzacja elektrowni PV i wodnej** wydaje się rozwiązaniem najbardziej korzystnym, ponieważ najsilniej wydłuża okres, gdy układ generuje energię. Jednocześnie cechuje się zdecydowanie **niższą częstotliwością całkowitego braku generacji** jak ma to miejsce w wypadku układu wodno-wiatrowego. Rozwiązanie to ma więc większy potencjał z punktu widzenia konieczności wykorzystania zasobników energii lub innych źródeł energii w celu pokrycia zapotrzebowania.

⁹ Dla generacji wodnej dopuszczalne jest przekroczenie wartości 1 (100%) na podstawie założeń przyjętych w Rozdziale 3.3.3).



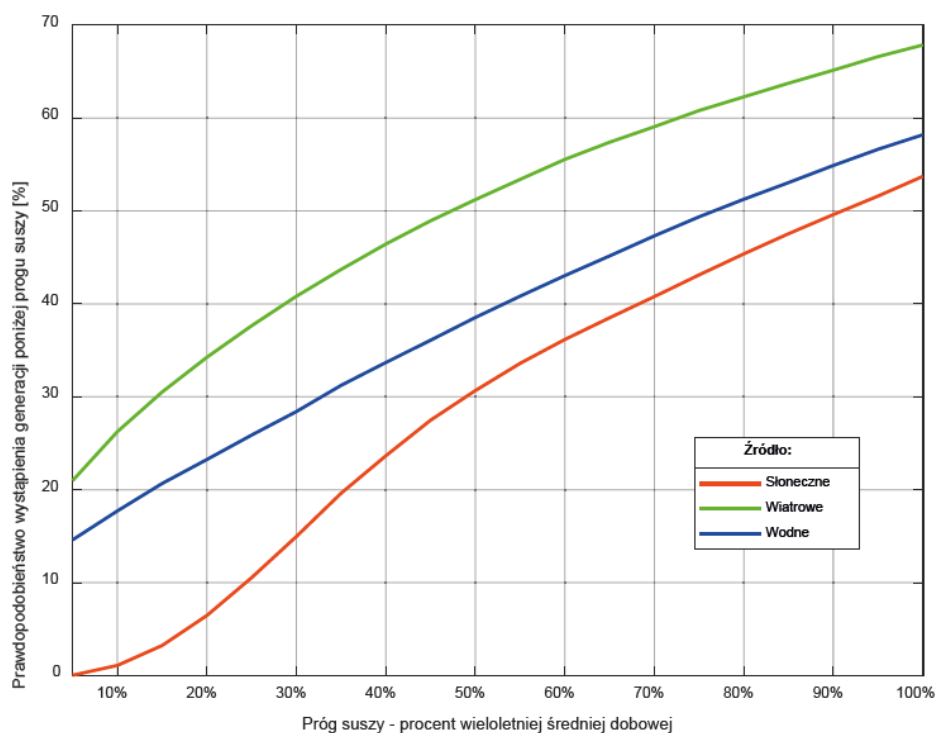
Rys. 12. Dobowa generacji źródeł wodnych i PV w latach 1951-2020.



Rys. 13. Rozkłady częstości występowania danego poziomu generacji hybrydowej.

Kolejnym wymiarem komplementarności odnawialnych źródeł energii jest prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń ekstremalnych. Najczęściej w tym kontekście mówi się o wspomnianych już suszach energetycznych. Suszę energetyczną bada się najczęściej z perspektywy źródła (Rozdział 4.3.4 wzór 4.4) lub w kontekście zapotrzebowania na energię

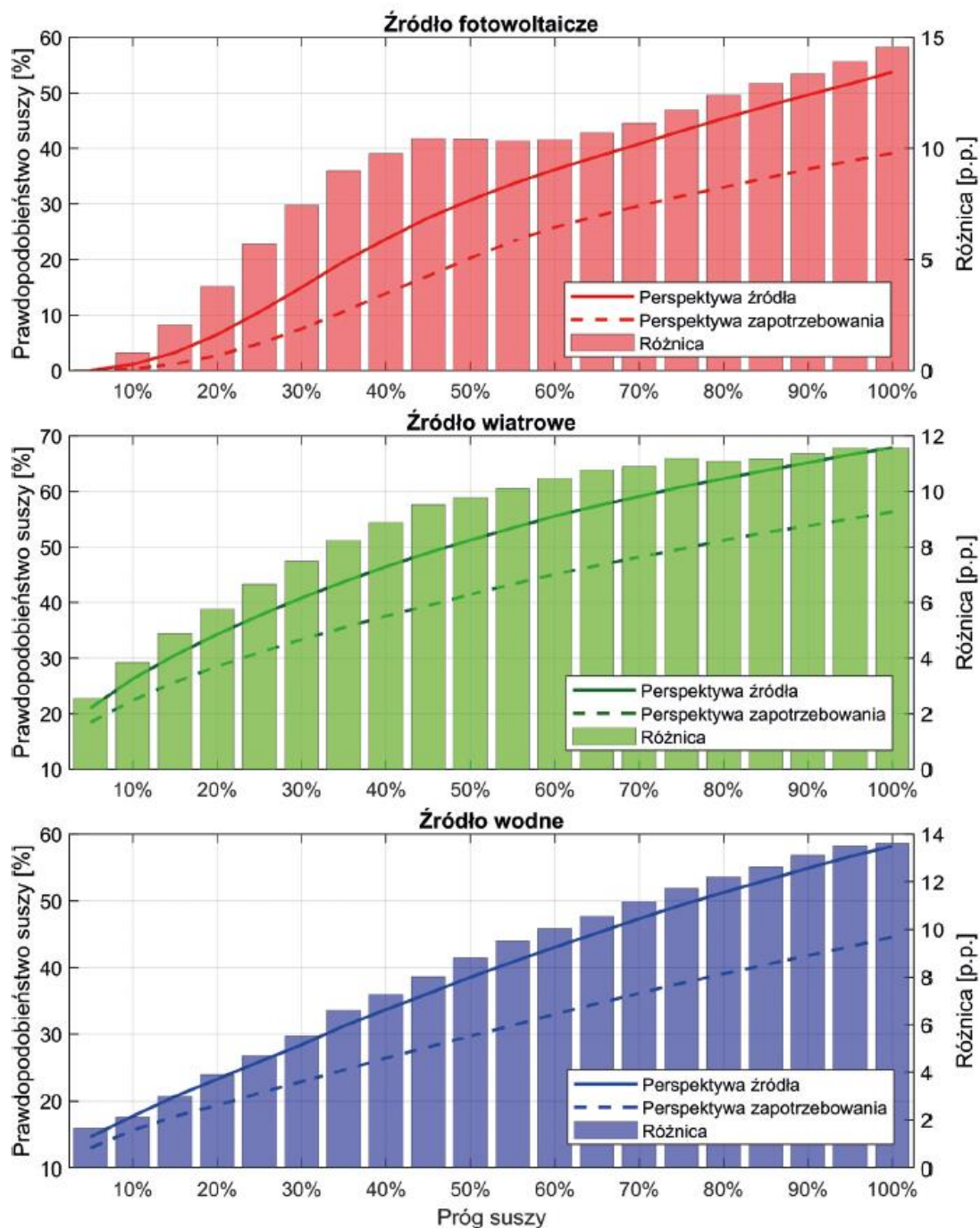
(Rozdział 4.3.4 wzór 4.5). Na Rys. 14 przedstawiono prawdopodobieństwo wystąpienia suszy trwającej jeden dzień. Za próg suszy przyjęto arbitralnie wartości będące procentem średniej wieloletniej generacji z danego źródła. Najkorzystniejszy rozkład prawdopodobieństwa występowania generacji określanej mianem suszy energetycznej jest charakterystyczny dla źródła PV. W wieloleciu prawdopodobieństwo wystąpienia generacji poniżej 20% średniej wieloletniej wynosi w przypadku generacji PV 6,5%, generacji wodnej 23,3% i generacji wiatrowej 34,3%. W przypadku generacji wodnej warto zwrócić uwagę, że chociaż jej potencjał energetyczny (w przeliczeniu na kW mocy zainstalowanej) jest zdecydowanie większy, to prawdopodobne jest jej wystąpienie na bardzo niskim poziomie, co jest równoznaczne z wystąpieniem suszy energetycznej. Jest to o tyle niekorzystne, że w obecnej sytuacji (spowodowanej wysokim kosztem magazynowania energii) istotne jest nie tylko to, ile energii może zostać wyprodukowane, ale też to, jak długo potrwa ten proces (oraz gdzie energia zostanie zmagazynowana). W związku z tym konieczne jest odniesienie mocy generowanej do chwilowego zapotrzebowania. Wyniki takiej analizy zaprezentowano na Rys. 15



Rys. 14. Prawdopodobieństwo skumulowane wystąpienia suszy energetycznej.

Różnica między prawdopodobieństwem z perspektywy źródła a z perspektywy zapotrzebowania wynika głównie z istniejącej korelacji między zapotrzebowaniem a generacją. Należy podkreślić, iż moc źródeł została dobrana tak by w ujęciu wieloletnim generacja była równa zapotrzebowaniu. W dalszej części analizy (zaprezentowanej w monografii) przeanalizowano wpływ hybrydyzacji źródeł energii na prawdopodobieństwo suszy energetycznej (Rys. 2.24). Wyniki analizy wskazują na mniejsze prawdopodobieństwo wystąpienia suszy dla układów hybrydowych nawet przy naiwnym założeniu, iż moc generatorów winna być tak dobrana by każdy z nich pokrywał dokładnie 1/3 zapotrzebowania w ujęciu wieloletnim. Ze względu na niski potencjał energetyki wiatrowej (jej dużą zmienność i sporadycznie występujące okresy o wysokiej generacji) obserwuje się **stosunkowo często znaczące przekroczenie zapotrzebowania**. W konsekwencji próba wykorzystania takiego

układu wymuszałyby zastosowanie zasobnika energii zdolnego w krótkim czasie zaabsorbować wysokie nadwyżki energii.

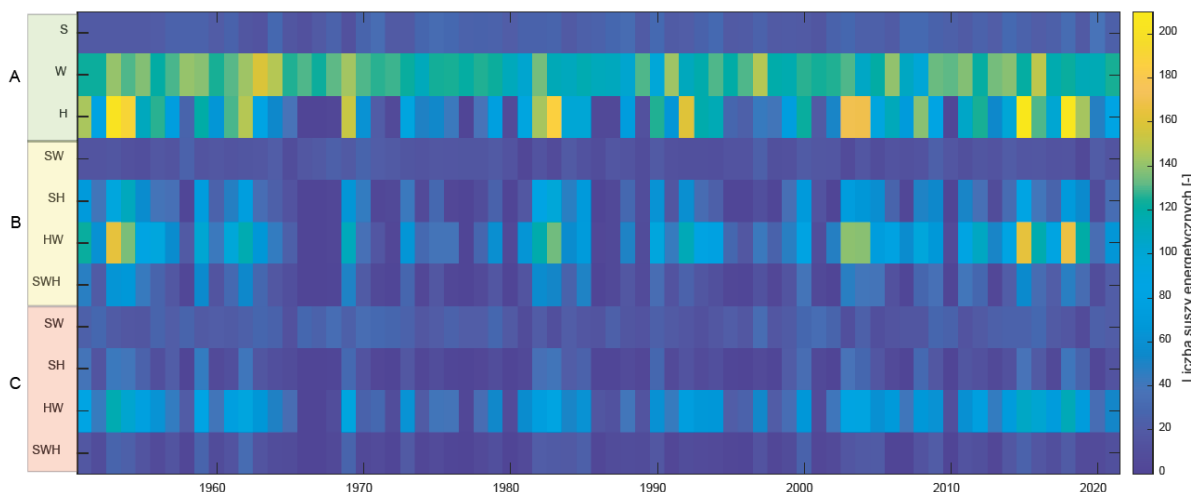


Rys. 15. Prawdopodobieństwo wystąpienia suszy energetycznej z uwzględnieniem kontekstu zapotrzebowania na energię elektryczną.

W rozdziale 4.3.5 przeprowadzono analizę pod kątem optymalizacji mocy zainstalowanej w układzie hybrydowym pod kątem minimalizacji prawdopodobieństwa suszy energetycznej. Po przeprowadzeniu optymalizacji okazało się, że moc optymalnego układu hybrydowego powinno składać się w 52% z mocy generacji PV, w 9% z mocy generacji wodnej i w 39% z mocy generacji wiatrowej. Pod względem ilości generowanej energii 48, 31 i 20% powinna stanowić odpowiednio energia z generatorów PV, wodnych i wiatrowych. Różnice między strukturą mocy a strukturą energii wynikają bezpośrednio z potencjału źródła na danym

obszarze. Tak zwymiarowany układ nie pokrywa około 22% zapotrzebowania w ujęciu wieloletnim – ze względu na brak doskonałej korelacji (1) dodatniej między zapotrzebowaniem a generacją. Ze względu na zmienność podaży energii odnawialnej obserwuje się więc lata charakteryzujące się mniejszym bądź większym stopniem niepokrycia zapotrzebowania (co zaprezentowano na Rys. 4.28 w monografii).

W ramach podsumowania analizy dotyczącej susz energetycznych na Rys. 16 zwiualizowano liczbę tych zdarzeń z uwzględnieniem trzech źródeł energii (A) oraz ich kombinacji. Rozrózniono układy hybrydowe o równej mocy (B) oraz równym udziale w ilości energii generowanej (C). Można zaobserwować, iż pod względem wieloletniej zmienności liczby susz energetycznych najbardziej stabilne źródło PV, za nim lokują się kolejno układ PV-wiatrowy o równych mocach i układ PV-wiatrowo-wodna o takim samym udziale źródeł w sumie energii generowanej. Z przeprowadzonej powyżej analizy dotyczącej susz energetycznych wynika, iż hybrydyzacja źródeł energii obniża prawdopodobieństwo wystąpienia deficytu energii lub okresu o niskiej generacji. **Koncepcja suszy energetycznych jest więc przydatna w ocenie komplementarności odnawialnych źródeł energii.**



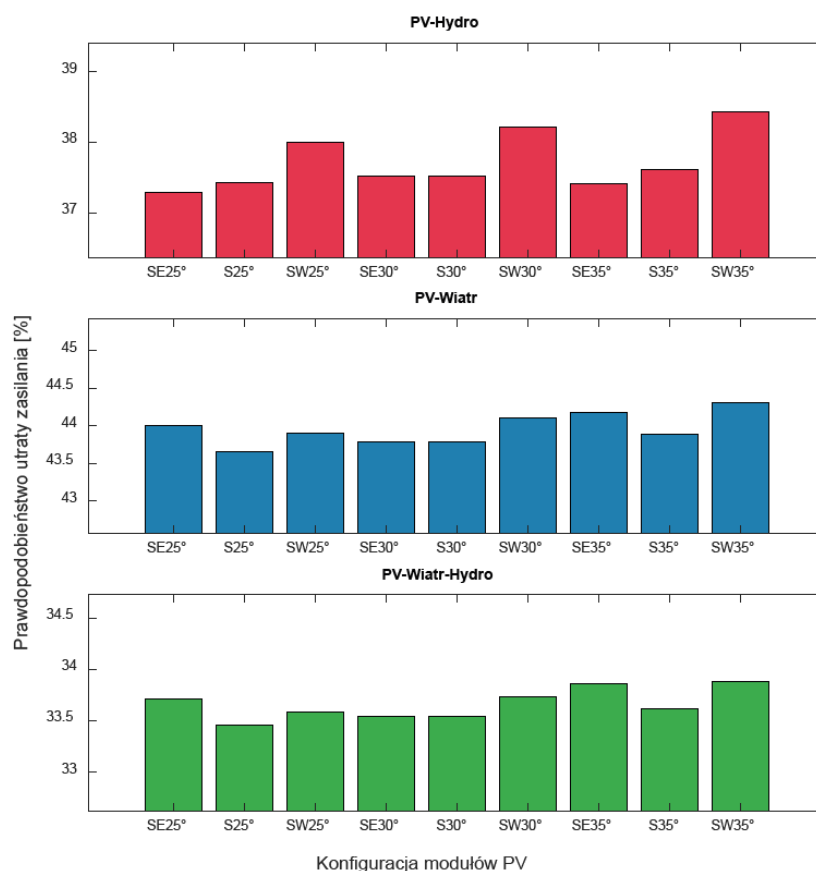
Rys. 16. Liczba susz energetycznych dla różnych źródeł energii. Oznaczenia: S – źródło słoneczne, W – źródło wiatrowe, H – źródło wodne.

Uzupełnieniem analizy susz energetycznych jest wyznaczenie udziału poszczególnych źródeł energii elektrycznej w pokrywaniu zapotrzebowania – w praktyce ich dodatniej korelacji z zapotrzebowaniem. Zmienność generacji ze źródeł odnawialnych w czasie jest główną przyczyną ograniczającą ich efektywne wykorzystanie. W szczególności staje się to problematyczne, gdy profil generacji nie pokrywa się z zapotrzebowaniem. W monografii w oparciu o równanie 4.9 wyznaczono **stopień pokrycia zapotrzebowania ze źródeł OZE** w funkcji parametru lambda będącego określającym iloraz średniej energii pochodzącej ze źródła A w stosunku do średniej zapotrzebowania. Analiza danych dotyczących generacji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych w okresie 1951–2020 wskazuje, że $\lambda < 0,2$ oznacza wykorzystanie generacji ze źródeł odnawialnych w całości na pokrycie zapotrzebowania. W odniesieniu do źródeł wodnych i PV to stwierdzenie jest prawdziwe również przy założeniu, że $\lambda < 0,4$. W sytuacji, gdy $\lambda = 0,6$, można już zaobserwować znaczne różnice między źródłami energii. I tak udział źródła PV, wiatrowego i wodnego wynosi odpowiednio 36, 37 i 43% (wyniki szczegółowe przedstawiono na Rys. 4.34 w monografii).

Czy **hybrydyzacja** źródeł energii może **zmniejszyć wahania mocy** generowanej (ang. ramp rate)? Maksymalny wzrost wartości analizowanych szeregów czasowych dotyczących generacji wodnej, PV i wiatrowej wyniósł odpowiednio 45, 35 i 38%/h, natomiast maksymalny

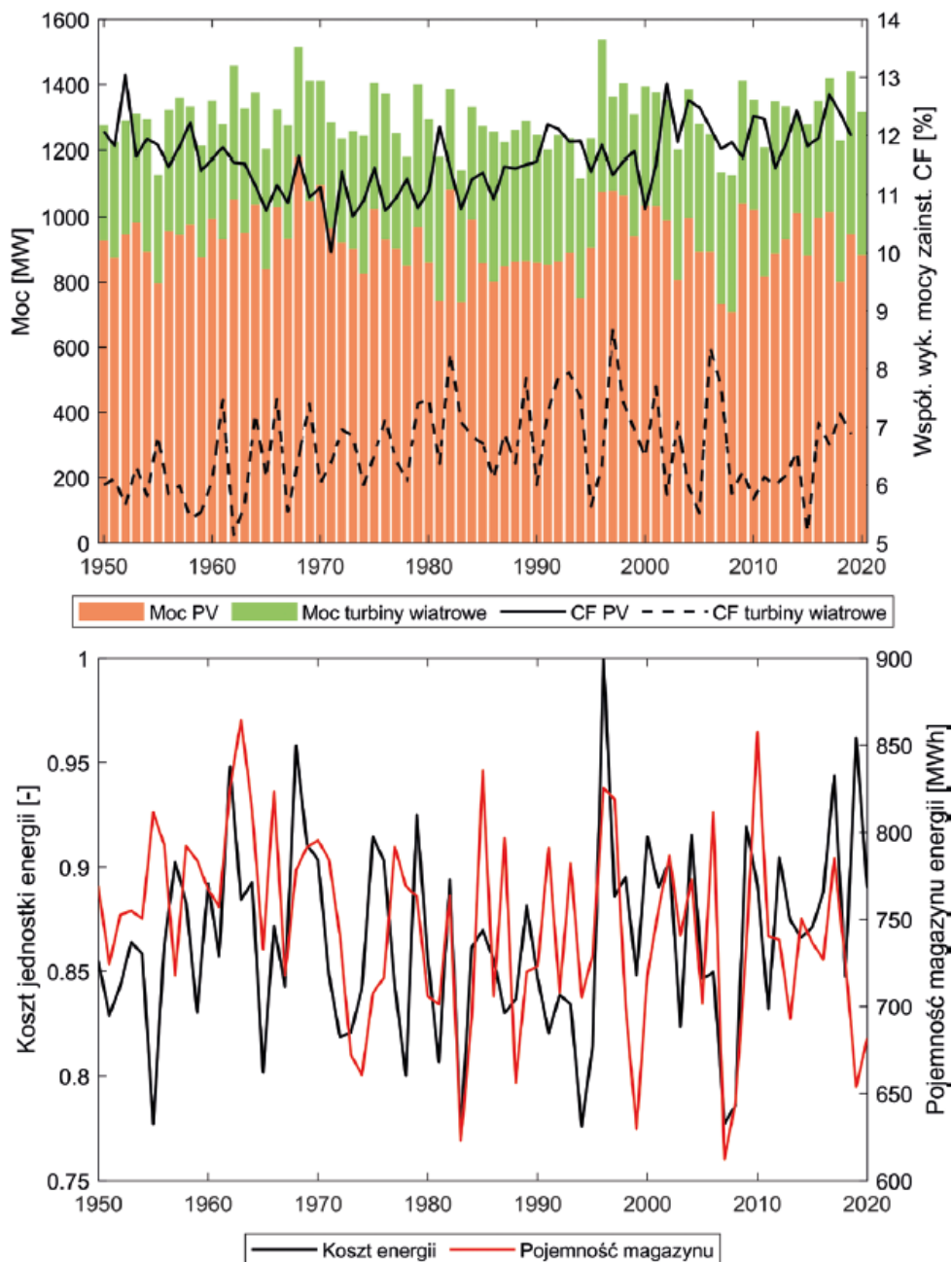
spadek odpowiednio 13, 25 i 36%/h. Zaobserwowano zasadniczą redukcję wartości maksymalnych badanego parametru – połączenie generacji wodnej i PV spowodowało jej zmniejszenie z 45 do 28%/h. Aby wyrazić tę zmianę w jednostkach należałoby stwierdzić, że elektrownia wodna o mocy 2 kW zanotowałaby maksymalny wzrost mocy generowanej na poziomie 900 W/h, natomiast elektrownia wodno- PV (w której każdy z generatorów tego układu osiągałby po 1 kW) wzrost na poziomie 560 W/h. Pozostałe układy cechował podobny poziom redukcji. Maksymalny nagły wzrost generacji układu trójźródłowego wyniósł 18%/h, natomiast spadek 14%/h. Reasumując **hybrydyzacja źródeł sprzyja zmniejszeniu ogólnej zmienności** z punktu widzenia dynamiki zmian sumarycznego szeregu generacji. Dalsze badania konieczne są z uwzględnieniem danych o wyższej rozdzielczości czasowej np. minutowej.

Generatory źródeł odnawialnych posiadają pewne cechy/ parametry które można tak zmieniać by maksymalizować realizację założonych funkcji celu. W monografii analizie poddano **wpływ kąta nachylenia i orientacji** modułów fotowoltaicznych na ich komplementarność z źródłami wiatrowymi oraz wodnymi w kontekście zasilania odbiornika w energię elektryczną. Komplementarność oszacowano na podstawie **prawdopodobieństwa utraty zasilania**. Wyniki analizy przedstawiono na Rys. 17. W analizie przyjęto, że udział źródeł w miksie energetycznym w skali roku jest taki sam. Suma generacji z wszystkich źródeł i jest równa zapotrzebowaniu w ujęciu rocznym. Na tej podstawie odpowiednio dobrano moc każdego ze źródeł. Analiza wyników wskazuje, iż zmiana orientacji modułów PV przyczynia się więc do poprawy niezawodności zasilania o około 0,5 punktu procentowego. Należy jednak zastanowić się, czy korzyść taka jest współmierna do kosztu, jakim może być mniejszy wolumen energii generowanej w skali roku, a więc większy koszt jednostkowy energii elektrycznej z danej instalacji PV.



Rys. 17. Prawdopodobieństwo utraty zasilania w układach hybrydowych składających się z systemów PV o różnym ustawieniu modułów.

Komplementarność w wymiarze ekonomicznym – w zasadniczej części pracy analizę oparto na czystym bilansie podaży i popytu na energię. Konieczne jest jednak rozszerzenie analizy o aspekt ekonomiczny. Wprawdzie w analizie wykazano, iż źródła PV i wiatrowe cechują się komplementarnością to jednak podkreślono, iż na wybranym obszarze źródła generacji wiatrowej charakteryzują się niewielkim potencjałem energetycznym (wyznaczone koszt jednostkowy energii jest znacznie wyższe niż raportowany w literaturze przedmiotu). Tak więc decyzja dotycząca hybrydyzacji winna również uwzględniać aspekt ekonomiczny. Na **podstawie modelu programowania liniowego** zoptymalizowano wiatrowo-słoneczno-baterijny układ hybrydowy. Optymalizację wykonano dla okresu 1950-2020, dla każdego z lat osobno. Przyjęto prawdopodobieństwo utraty zasilania na poziomie 5%. Wyniki analizy (Rys. 18) wskazują, że średnia moc zainstalowana generacji PV to 926 MW natomiast wiatrowej 374 MW przy średniej pojemności magazynu na poziomie 745 MWh.



Rys. 18. Podstawowe parametry układu hybrydowego w zależności od roku, dla którego wykonano analizę.

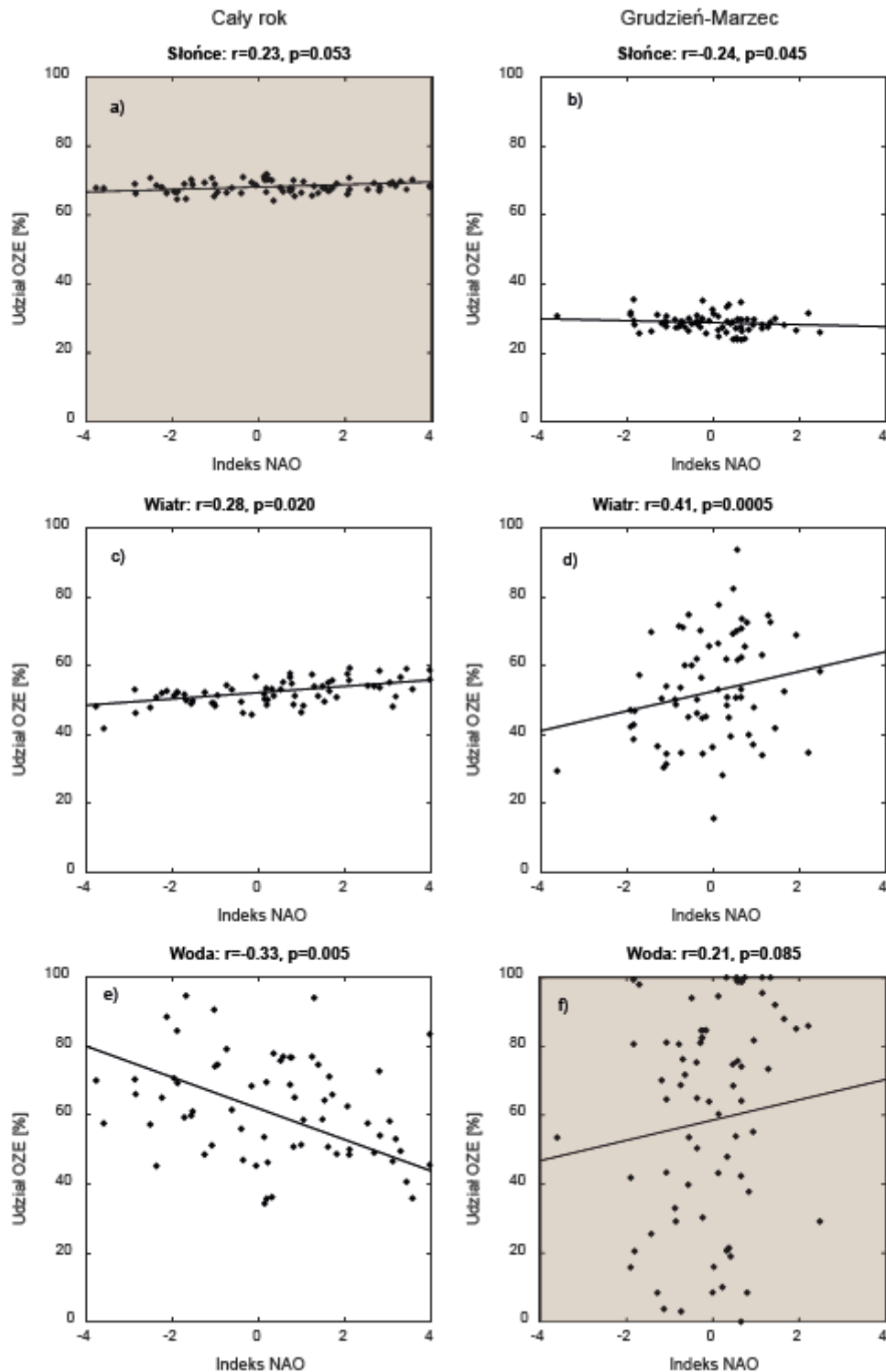
Pomimo niewielkiego potencjału źródeł generacji wiatrowej (niska wartość współczynnika wykorzystania mocy znamionowej) przeprowadzona analiza wykazała ekonomiczną zasadność zainstalowania w układzie zarówno źródeł generacji wiatrowej, jak i PV. Uzasadnione ekonomicznie (system o najniższym koszcie) zastosowanie w układzie obu źródeł generacji energii dowodzi więc wprost bezpośredniego wykorzystaniu efektu czasowej komplementarności źródeł wiatrowych i PV. Należy podkreślić, iż tego typu rozwiązanie dopuszczalne byłoby jedynie wtedy, gdyby nie było możliwości pokrycia zapotrzebowania z innych źródeł energii. W czasie pisania monografii (okres styczeń-lipiec) szacowany koszt jednostkowy energii z takiego układu oscylował na poziomie 2,78 PLN/kWh dla przyjętych założeń (Tabela 5.1 w monografii) – odbiegając znacząco od ówczesnych rynkowych cen energii. I to z pominięciem nakładów na infrastrukturę przesyłową i dystrybucyjną. Przy obecnych cenach energii (lipiec 2023) w taryfach B oraz C koszt ten nie wydaje się już tak nierealistyczny.

Przedstawiony w tym rozdziale przypadek można nazwać skrajnym. W praktyce (w kontekście całego systemu elektroenergetycznego) potencjał energetyki wiatrowej (GWh/MW/rok) nie byłby brany pod uwagę jako możliwy do wykorzystania w analizowanym rejonie (CF oscylujący w zakresie 6–8%), ponieważ jest zbyt mały i nieatrakcyjny pod względem ekonomicznym. Próba optymalizacji struktury układu hybrydowego wykazała jednak, iż również generacja wiatrowa pozwala zmniejszyć koszt jednostki energii. Przeprowadzono dodatkową analizę w oparciu o wyłącznie źródło PV-bateria. zaobserwowano wzrost średniej mocy systemu PV z poziomu 926 (w układzie hybrydowym) do poziomu 1436 MW. Natomiast średnia pojemność magazynu energii wzrosła z 745 do ponad 856 MWh. Średni jednostkowy koszt energii wzrósł o około 2 % z 2,78 PLN/kWh w przypadku układu hybrydowego do 2,82 PLN/kWh w przypadku układu wyłącznie słonecznego. **Układ wiatrowo-PV pozwala więc na nieznaczną redukcję kosztu jednostkowego energii i znaczące ograniczenie pojemności magazynu energii.**

Ostatni przywołany aspekt badań zawarty w monografii to wpływ oscylacji północnoatlantycznej (NAO) na odnawialne źródła energii w analizowanym obszarze. NAO jest zjawiskiem meteorologicznym, które występuje na obszarze północnego Atlantyku i wpływa na klimat obserwowany na pobliskich kontynentach. Zjawisko to jest wynikiem globalnej cyrkulacji powietrza i wód oceanicznych, a jego istnienie i zmienność objawia się fluktuacjami ciśnienia atmosferycznego, temperatury powietrza, prędkości wiatru i ilości opadów. Poddano analizie **zależność między wartością indeksu NAO a udziałem OZE w pokrywaniu zapotrzebowania.** Wyniki zawarto na Rys. 19. Z przeprowadzonej analizy uzyskano szereg interesujących wniosków: z perspektywy wartości indeksu NAO w ujęciu całorocznym zaobserwowano istotną statystycznie korelację między tymże indeksem a generacją wiatrową i wodną. W przypadku źródła generującego energię z wiatru dodatnia faza NAO utożsamiana jest z większym udziałem OZE, natomiast odwrotna zależność okazała się charakterystyczna dla źródła wodnego. Przyjmując za próg negatywnej i pozytywnej fazy NAO wartości odpowiednio -0,5 i 0,5, zaobserwowane znaczące różnice w potencjale energii ze źródła wodnego. W fazie pozytywnej było to o 3,5 punktu procentowego mniej, a w fazie negatywnej o 6,4 punktu procentowego więcej w stosunku do średniej wieloletniej. Pozostałe źródła w zależności od fazy NAO wykazywały różnice nieprzekraczające 0,5 punktu procentowego.

Dodatkowo indeks NAO ani ten dla całego roku, ani ten dla GSLM nie wykazał statystycznie istotnej korelacji z liczbą wystąpień susz energetycznych. Można więc stwierdzić, iż zmienność oscylacji północnoatlantycznej w kontekście zoptymalizowanego układu hybrydowego nie koreluje z występowaniem zjawisk ekstremalnych. Obserwacja ta może wynikać z pewnego uzupełniania się generatorów źródeł odnawialnych w zależności od fazy NAO. **A więc hybrydyzacja i czasowa komplementarność źródeł odnawialnych obniżają**

wpływ globalnej cyrkulacji powietrza na zwiększone prawdopodobieństwo wystąpienia zjawisk ekstremalnych.



Rys. 19. Udział poszczególnych OZE w pokrywaniu zapotrzebowania w funkcji wartości indeksu NAO; pojedyncza kropka – jeden rok, wykresy z zacienionym tłem – brak istotnej statystycznie wartości współczynnika korelacji (r), tj. gdy $p < 0,05$, a, c, e) – zależności dla indeksu NAO dla całego roku, b, d, f) – zależności wyłącznie w okresie zimowym, tj. w miesiącach grudzień–marzec

iii. Podsumowanie

Badanie zasobów energii odnawialnej w kontekście komplementarności: W monografii habilitacyjnej przedstawiono w sposób kompleksowy kwestie związane z badaniem komplementarności odnawialnych źródeł energii. Jako studium przypadku wybrano region o wysokim potencjale energetyki wodnej, typowym dla Polski potencjale energetyki słonecznej i stosunkowo niewielkim potencjale energetyki wiatrowej. Analizy oparto o rzeczywiste dane traktujące o zużyciu energii elektrycznej oraz symulowaną produkcję energii ze źródeł odnawialnych. Wyniki symulacji jak i same dane wyjściowe w postaci parametrów meteorologicznych pochodzących z reanaliz zweryfikowano z pomiarami meteorologicznymi z IMGW-PIB oraz dostępnymi informacjami na temat produkcji energii ze źródeł odnawialnych.

Podsumowanie i analiza stanu wiedzy: Wstęp teoretyczny zawiera podsumowanie obecnego stanu wiedzy na temat komplementarności odnawialnych źródeł energii, dokonuje podsumowania istniejących wskaźników oceny komplementarności wraz z przywołaniem ich zastosowania oraz ograniczeń. Na podstawie danych rzeczywistych lub symulowanych odnoszących się do polskiego lub większego systemu elektroenergetycznego. tym samym analiza nie koncentruje się tylko na rejonie zlewni Nysy Kłodzkiej, ale również wychodzi poza ten obszar.

Rozwój OZE w wybranym regionie: Przedstawione opracowanie zawiera istotne informacje z punktu widzenia rozwoju energetyki odnawialnej na wybranym obszarze. Zidentyfikowano oraz opisano czasową i przestrzenną zmienność źródeł odnawialnych oraz wyznaczono prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń ekstremalnych w postaci susz energetycznych. Metody oraz sposób interpretacji wyników i ich wykorzystania może zostać bezpośrednio przeniesiony na inne rejony kraju.

Cable pooling – łączenie źródeł OZE: Należy również podkreślić, że sama koncepcja komplementarności odnawialnych źródeł energii i analizowanej w jej kontekście zdolności do pokrycia zapotrzebowania czy ewentualnie powstających nadwyżek energii ma bezpośrednie przełożenie na obserwowane obecnie w krajowym systemie elektroenergetycznym problemy związane z zdolnością sieci elektroenergetycznej do przyłączania kolejnych nowych mocy wytwórczych źródeł odnawialnych. Ze względu na czasową komplementarność i źródeł wiatrowych i słonecznych możliwe jest budowanie parków hybrydowych które będą korzystać z jednego przyłącza do sieci elektroenergetycznej o określonej mocy (np. 10 MW) natomiast moc zainstalowana z samej farmy hybrydowej będzie większa (np. 20 MW) niż moc przyłącza. Im wyższa będzie komplementarność źródeł odnawialnych w danej lokalizacji tym rzadziej dochodzić będzie do przekroczenia mocy przyłącza a w praktyce ograniczenia generacji. Z tego względu potencjalne lokalizacje pod parki hybrydowe można analizować z punktu widzenia komplementarności źródeł odnawialnych również biorąc pod uwagę na przykład różny kąt nachylenia modułów fotowoltaicznych czy też ich orientacje względem kierunków świata

Charakterystyka OZE: Zastosowanie podejścia zaproponowanego przez autora pozwala na dokładniejsze i kompleksowe analizowanie charakterystyki odnawialnych źródeł energii a konsekwencji ich przyszłej współpracy z krajowym system elektroenergetycznym lub też pracujących w trybie wyspowym. Analiza szeregów czasowych, analiza komplementarności oraz wystąpienia zjawisk ekstremalnych w kontekście niedyspozycyjnych źródeł odnawialnych stanowi zdaniem autora bardzo istotny i nowatorski kierunek rozwoju obszaru badawczego należącego do dyscypliny „Inżynieria środowiska, Górnictwo i Energetyka”.

d. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych (okres po uzyskaniu stopnia naukowego doktora)

Poniżej zestawiono listę prac istotnych autorskich i współautorskich, które z punktu widzenia habilitanta, które przedstawiają uzupełnienie i szerszy kontekst badań i wyników opisanych w punktach 4a-c. Prace w załączniku Z3 *Wykaz osiągnięć naukowych...* wylistowano wg ich kolejności chronologicznej z bazy Google Scholar. Przedstawiono w formie tabelarycznej główne kierunki badawcze wraz z przynależącymi do nich publikacjami. W zestawieniu pominięto doniesienia konferencyjne.

Tabela 1. Tabelaryczne omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Obszar badań	Skrócone omówienie badań	Prace poświęcone danej tematyce
Układy słońce-wiatr-woda	Hybrydyzacji źródeł niedyspozycyjnych (głównie źródła słoneczne i wiatrowe) z generatorami dyspozycyjnymi w postaci elektrowni wodnych zbiornikowych stanowi udokumentowane w literaturze i praktyce (Longyangxia – Chiny) rozwiązanie pozwalające na zmniejszenie zmienności i zwiększenie niezawodności produkcji energii. W zrealizowanych badaniach pochyłono się głównie nad: wymiarowaniem układów PV-woda; rolą elektrowni wodnych pracujących w kaskadzie w połączeniu ze źródłami niedyspozycyjnymi w kontekście dekarbonizacji systemu elektroenergetycznego; potencjale elektrowni zbiornikowych do kompensacji zmienności generacji źródeł wiatrowych ze szczególnym uwzględnieniem błędów prognoz generacji; pracy hybrydowego układu elektrowni wodnej zbiornikowej i fotowoltaicznej na rynku dnia następnego w kontekście zmienności zasobów energii i cen teŹe w Polsce – dzięki hybrydyzacji zaobserwowano zwiększenie zysku elektrowni ze sprzedaży energii oraz wyższą wydajność generacji wodnej w przeliczeniu na kWh/m ³ .	A2, A5, A7, A11, A42, A43, A60 i A69
Układy słońce-wiatr-elektrownia szczytowo-pompowa	Alternatywną technologią, która znajduje coraz powszechniejsze zastosowanie w kompensacji zmienności źródeł odnawialnych są elektrownie szczytowo-pompowe (ESP). Dzięki swojej wysokiej sprawności oraz elastyczności pracy mogą pełnić rolę zarówno magazynów krótko jak i długookresowych – w zależności od pojemności zbiornika górnego. Badania zrealizowane dotyczyły hybrydyzacji układów wiatrowo/słonecznych z ESP w kontekście układów podłączonych do systemu elektroenergetycznego oraz układów wyspowych. Analizie poddano kwestie ekonomiczne oraz techniczne funkcjonowania ESP z szczególnym naciskiem na zakres pracy pomp i turbin. Zbadano możliwość hybrydyzacji	A9, A37, A38, A41, A49, A51, A54, A57, A66, A68, A71 i A72

Obszar badań	Skrócone omówienie badań	Prace poświęcone danej tematyce
	magazynu bateryjnego z ESP dla układu wyspowego wskazując na komplementarność charakterystyki pracy obu technologii.	
Elastyczność-magazyny bateryjne – EV	System elektroenergetyczny, w którym obserwuje się coraz większą zmienność strony popytowej i podażowej potrzebuje coraz więcej elastyczności. W przyszłości sektor ciepłowniczy będzie odgrywał istotną rolę jako dostawca usług elastyczności dla systemu elektroenergetycznego. W szczególności tyczy się to elektrociepłowni (EC), sieci ciepłowniczych jak i również małych instalacji opierających się na pompach ciepła i magazynach ciepła – elektryfikacja sektora ciepłowniczego jest poważnym wyzwaniem dla istniejącego sektora energetycznego, ale jak podkreślono stwarza również dodatkowe możliwości. W realizowanych badaniach skupiono się między innymi na usługach elastyczności oferowanych przez elektrociepłownię (studium przypadku w Szwecji) gdzie EC brała aktywny udział w rynku dnia następnego i bieżącego energii elektrycznej jak i również świadczyła usługi z zakresu regulacji trójnej (mFRR). Dodatkowo należy podkreślić, iż dla EC rośnie konkurencja w postaci indywidualnych systemów ciepłowniczych, dodatkowo w zależności od charakteru EC (produkcja ciepła jest priorytetem, energia elektryczna jest produktem ubocznym (Szwecja) lub odwrotnie), w okresie niskiego zapotrzebowania na ciepło pojawia się problem jak zagospodarować jego nadwyżkę. W jednej z prac przeanalizowano możliwość integracji procesu pyrolizy (produkcji oleju popirolitycznego). W kolejnych pracach przeanalizowano: możliwość świadczenia usług systemowych przez agregatorów stacji ładowania pojazdów elektrycznych przy jednoczesnej redukcji kosztów ich funkcjonowania na skutek aktywnego uczestnictwa w rynkach energii; potencjał usług elastyczności w różnych systemach multienergetycznych w Europie – jako podsumowanie projektu Magnitude; oraz wykorzystanie bateryjnych zasobników energii w budynkach biurowych w celu maksymalizacji konsumpcji własnej z PV, arbitrażu cenowego oraz ograniczenia zapotrzebowania maksymalnego wskazując, iż ceny z poziomu 250 \$/kWh są dla obecnych (2021) cen energii graniczne dla ekonomicznej zasadności bateryjnych zasobników energii.	A21, A28, A30, A31 i A35
Wykorzystanie fotowoltaiki	Źródła fotowoltaiczne odgrywają i będą odgrywać coraz większą rolę w systemie elektroenergetycznym. Źródła o małej mocy instalacje przydomowe lub przyzakładowe (do kilku MW) a duże farmy fotowoltaiczne o mocach rzędu dziesiątek lub setek MW to	A6, A25, A33, A52 i A58

Obszar badań	Skrócone omówienie badań	Prace poświęcone danej tematyce
	<p>całkowicie odmienne przypadki biznesowe. Dla obu kluczowe są założenia uwarunkowań prawnych w szczególności dotyczące rozliczania energii wyprodukowanej. Niezależnie jednak od rozmiaru systemu „cierpią” one na podobną przypadłość mianowicie efekt kanibalistyczny (malejące zyski) wraz z rosnącą mocą źródeł zainstalowanych. W pracach poświęconych tej tematyce skupiono się głównie na: narzędziach grupowego inwestowania w źródła odnawialne (np. YieldCos); integracji źródeł PV z budynkami biurowymi w Polsce z perspektywy redukcji zapotrzebowania maksymalnego na moc elektryczną na poziomie budynku oraz kraju z uwzględnieniem różnych kątów nachylenia i azymutu modułów PV; synergii płynącej z wykorzystaniem modułów fotowoltaicznych jako przykrycia kanałów irygacyjnych i płynących z tego oszczędności w postaci ograniczonego parowania wody; samowystarczalności miasta (Wrocław) w oparciu o źródła PV, których potencjał wyznaczono w oparciu o narzędzia GIS i dane Lidar-owe; wpływie taryf energii elektrycznej z komponentem zmienności ceny w czasie oraz opłaty za moc maksymalną za potencjalne oszczędności płynące z wykorzystania systemów PV w budynkach biurowych.</p>	
Synergia źródeł odnawialnych	<p>Wzajemne uzupełnianie się źródeł odnawialnych generacji niedyspozycyjnej jest jednym z kluczowych czynników wpływających na zainteresowanie układami hybrydowymi. W przeprowadzonych badaniach skoncentrowano się na: ocenie komplementarności źródeł odnawialnych w skali globalnej w oparciu o współczynnik korelacji Spearmana na bazie danych MERRA-2 (NASA); analizie komplementarności źródeł wiatrowych i słonecznych w Algierii ze specjalnym naciskiem położonym na wpływ technologii PV (rodzaj modułów PV) na komplementarność; budowy wskaźnika komplementarności dla trzech źródeł odnawialnych jednocześnie; przeglądzie literaturowym zagadnienia synergii i komplementarności źródeł odnawialnych; wpływie komplementarności na niezawodność zasilania oraz wyborze lokalizacji pod parki wiatrowe i fotowoltaiczne z perspektywy minimalizacji zmienności mocy generowanej.</p>	A26, A32, A40, A50, A53, A63 i A70
System elektroenergetyczny	<p>Modelowanie pracy systemu elektroenergetycznego jest procesem wymagającym nie tylko świadomości istniejących ograniczeń oraz zależności pomiędzy poszczególnymi jego komponentami, ale również wprowadzonych do modelu danych. Posługując się znaną w domenie wszelakich modeli maksymą <i>garbage in – garbage out</i> w części realizowanych skoncentrowano się na danych wykorzystywanych w modelach. Zrealizowane działa</p>	A10, A14, A23, A47, A56 i A59

Obszar badań	Skrócone omówienie badań	Prace poświęcone danej tematyce
	dotyczyły między innymi: budowy otwartej bazy danych o kanadyjskim systemie elektroenergetycznym; analizy przestrzennej w oparciu o narzędzia GIS i analizę wielokryterialną potencjału rozwoju źródeł wiatrowych i słonecznych; wpływie baz danych meteorologicznych na optymalną strukturę mocy zainstalowanych w europejskim systemie elektroenergetycznym oraz konieczne do poniesienia nakłady inwestycyjne; wpływie zmian temperatury na funkcjonowanie źródeł odnawialnych oraz polskiego systemu elektroenergetycznego wskazując na potencjalne korzyści i zagrożenia płynące z rosnących temperatur powietrza.	
Magazynowanie energii	Magazynowanie energii jest kluczowym elementem transformacji systemu elektroenergetycznego. Jako źródło elastyczności w systemie jest jednak postrzegane jako najdroższe. Niewątpliwie rosnąca rola źródeł niedyspozycyjnych skłania nas ku poszukiwaniu technologii magazynowania potrafiących gromadzić jej nadwyżki z OZE w różnych horyzoncie czasowym. W badaniach poświęconych tej tematyce główny nacisk położony został na rozwiązania o charakterze niekonwencjonalnym wykorzystujące istniejące (najczęściej o pochodzeniu antropogenicznym) lokalizacje takie jak szyby kopalniane, dachy oraz windy budynków, kopalnie odkrywkowe oraz drogi górskie. W analizach oszacowano koszt jednostkowy magazynowania energii oraz potencjał globalny.	A8, A15, A19, A20, A27
Prognozowanie	Dokładne modele prognostyczne są niezbędne by podejmować decyzje możliwie bliskie rozwiązaniu optymalnemu, które miałyby miejsce w środowisku deterministycznym. Prace poświęcone tej tematyce dotyczyły: prognozowania stanu pracy stacji ładowania pojazdów elektrycznych; budowie modelu prognostycznego generacji ze źródeł wiatrowych w Polsce w horyzoncie dnia następnego w oparciu o modele numeryczne pogody oraz uczenie maszynowe; symulacji zagregowanego uzysku energii elektrycznej z farm fotowoltaicznych w Polsce na bazie siatki stacji pomiarowych IMGW-PIB. Kierunkiem badań realizowanym we współpracy z UMK w Toruniu była tematyka prognozowania i symulacji poziomu wody w jeziorach, zapotrzebowania na wodę w sieciach wodociągowych oraz dopływu ścieków do sieci kanalizacyjnej.	A17, A36, A46, A62, A64 i A67
Mikrosieci	Mikrosieci (µsieci) energetyczne to postulowane rozwiązanie w dobie intensyfikacji wykorzystanie zdecentralizowanych źródeł energii. Układy takie mogą funkcjonować w trybie sieciowym (on-grid) lub wyspowym (off-grid). Projektowanie takich układów jest	A1, A3, A4, A13, A16, A18, A44, A48 i A61

Obszar badań	Skrócone omówienie badań	Prace poświęcone danej tematyce
	<p>wyzwaniem nie tylko z technologicznego punktu widzenia, ale również z perspektywy zmienności zasobów energii ze źródeł odnawialnych. W badaniach poświęconych temu zagadnieniu główny nacisk położony został na: wpływ wieloletniej zmienności potencjału źródeł odnawialnych na funkcjonowanie układu wyspowego; projektowaniu układów multienergetycznych podłączonych do sieci elektroenergetycznych przy założeniu różnych celów emisji dwutlenku węgla oraz ekonomicznej zasadności przedsięwzięcia; hybrydyzacji źródeł wiatrowych z elektrownią na skoncentrowane promieniowanie słoneczne; wpływie wykorzystania profili standardowych na dokładność otrzymanych wyników w przypadku wymiarowania układu wyspowego typu PV-bateria wskazując, iż przykładowo szacowany koszt energii może odbiegać od rzeczywistego aż o 15%; wpływie degradacji komponentów układu wyspowego PV-bateria na niezawodność zasilania oraz emisji CO₂ z punktu widzenia analizy cyklu życia pochodzących z wysoce niezawodnego (LOLP <5%) układu wyspowego PV-bateria, który na skutek przewymiarowania cechuje się bardzo niską konsumpcją własną i wysokimi stratami (<i>curtailment</i>).</p>	
Systemy i urządzenia ciepłownicze	<p>System ciepłowniczy w dobie transformacji systemu energetycznego znajduje się na ścieżce dynamicznej dekarbonizacji i częściowej elektryfikacji. Oprócz potencjalnych usług systemowych świadczonych chociażby przez elektrociepłownie dodatkowym badaniom poddano również zagadnienia związane ze sprawnością pomp ciepła oraz wpływem miksu energetycznego na klimatyczną (CO₂) zasadność wykorzystania pomp ciepła. Dodatkowe analizy poświęcone były wpływowi czynników klimatycznych (zmienności wieloletniej) na zasadność wykorzystania ciepłownictwa geotermalnego w Polsce południowo-wschodniej oraz możliwości wykorzystania źródeł wiatrowych jako źródła wspierającego w ciepłowniach geotermalnych.</p>	A22, A24, A29, A34, A39 i A55
Centra danych	<p>Centra danych (CD) zużywają w skali świata około 1-1,3% energii elektrycznej (240-340 TWh). Zużycie energii dzieli się na dwie główne składowe: procesy związane z przetwarzaniem/przechowywaniem informacji oraz zapewnienie odpowiednich warunków klimatycznych w pomieszczeniach, gdzie są serwery. Branża posługuje się terminem <i>power usage effectiveness</i> (PUE), który wyznacza się jako całkowite zużycie energii przez CD dzielone przez zużycie energii przez infrastrukturę IT. Wartości bliższe jedności przyjmuje się jako korzystniejsze. W przeprowadzonych badaniach zaproponowano modyfikację</p>	A12, A45

Obszar badań	Skrócone omówienie badań	Prace poświęcone danej tematyce
	<p>wskaźnika PUE tak by uwzględniał on aspekt lokalizacji centrum danych pod kątem strefy klimatycznej, w której się ono znajduje tak by efektywność energetyczna różnych CD była porównywalna. Innym kierunkiem realizowanych badań była koncepcja zielonych centrów danych w oparciu o umowy zakupu energii (<i>power purchase agreement</i>). Analizie poddano CD znajdujące się w Singapurze uwzględniając dynamiczną strukturę obecnego i przyszłego miksu energetycznego. Uwzględniono podejście <i>net-zero Energy</i> oraz <i>net-zero emissions</i> wskazując, że to pierwsze nie prowadzi do uniknięcia emisji i CD nie powinno w takim rozwiązaniu określać się mianem <i>zielonego</i>.</p>	

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

W okresie 01.10.2018 – 30.09.2020 zrealizowałem staż podoktorski na MDH University w Västerås (**Szwecja**) pracując w grupie profesora Jinyue Yana (Future Energy Center – School of Business, Society and Engineering). W ramach stażu realizowałem zadania związane z realizacją projektów poświęconych sektorowi energii. Projekty: **World-class energy solutions** (kierownik: dr Fredrik Wallin), finansowanie: Norwegian Agency for Growth, European Regional Development Fund oraz **Magnitude** (kierownik: Jinyue Yan), finansowanie: Horyzont 2020. W trakcie pobytu na MDH (obecnie MDU) realizowałem dwa projekty finansowane ze środków wydziałowych poświęcone dekarbonizacji centrów danych, oraz konkurencji pomiędzy sieciami ciepłowniczymi a indywidualnymi pompami ciepła powietrze-woda w Szwecji. W trakcie stażu uczestniczyłem w pracach poświęconych przygotowaniu wniosku projektowego zatytułowanego **FLEXERGY**, który został ostatecznie sfinansowany przez szwedzkie The Knowledge Foundation. Ze względu na pandemię Covid-19 wróciłem do kraju nie podejmując prac w tym projekcie od października 2020. W ramach stażu byłem współautorem następujących prac:

- Li, J., Jurasz, J., Li, H., Tao, W. Q., Duan, Y., & Yan, J. (2020). *A new indicator for a fair comparison on the energy performance of data centers*. Applied Energy, 276, 115497.
- Gao, S., Jurasz, J., Li, H., Corsetti, E., & Yan, J. (2022). *Potential benefits from participating in day-ahead and regulation markets for CHPs*. Applied Energy, 306, 117974.
- Wang, F., Nian, V., Campana, P. E., Jurasz, J., Li, H., Chen, L., ... & Yan, J. (2022). *Do 'green' data centres really have zero CO2 emissions?*. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 53, 102769.
- Belhomme, R., Corsetti, E., Gutsch, C., Kessels, K., Virag, A., Qadrdan, M., ... & Jurasz, J. (2021). *Bottom-up flexibility in multi-energy systems: real-world experiences from Europe*. IEEE Power and Energy Magazine, 19(4), 74-85.
- Yang, Y., Jurasz, J., Li, H., Syrri, A. L. A., & Yan, J. (2019). *Key performance indicators on flexibility of a multi-energy system*. In CUE 2019-Applied Energy Symposium 2019, Xiamen, China.

Po powrocie ze Szwecji kontynuowałem pracę na AGH w Krakowie i jednocześnie zaaplikowałem na kolejny staż podoktorski na University of Victoria (**Kanada**) w grupie profesor Madeleine McPherson (Department of Civil Engineering). Po pozytywnym przejściu procesu rekrutacyjnego, biorąc pod uwagę trwającą pandemię Covid-19 rozpoczęliśmy współpracę zdalną. Pierwszy etap pracy poświęcony był budowie otwartej bazy danych dotyczącej kanadyjskiego systemu elektroenergetycznego. W trakcie tych prac kierowałem działaniami dwóch studentów/stażystów oraz uczestniczyłem regularnie w seminariach grupy prof. McPherson. Wyniki pierwszego (zdalnego etapu) mojego stażu opublikowaliśmy w poniższych pracach:

- McPherson, M., Monroe, J., Jurasz, J., Rowe, A., Hendriks, R., Stanislaw, L., ... & Grieco, J. (2022). *Open-source modelling infrastructure: Building decarbonization capacity in Canada*. Energy Strategy Reviews, 44, 100961.
- Hendriks, R. M., Jurasz, J., Cusi, T., Aldana, D., Monroe, J., Kiviluoma, J., & McPherson, M. *EMI-2020 CODERS: Introducing an open access dataset for decarbonizing Canada's energy system*.

Ze względu na przeciągającą się sytuację związaną z pandemią Covid-19 (brak możliwości wyjazdu) oraz konieczność podjęcia decyzji co do dalszego zatrudnienia w Polsce podjąłem decyzję o rezygnacji ze stażu na University of Victoria.

Reasumując od początku mojej kariery naukowej datowanej od obrona doktoratu (październik 2016)) do dzisiaj odbyłem dwuletni staż podoktorski na MDU University w Szwecji oraz zostałem zaakceptowany na dwuletni staż podoktorski na University of Victoria (Kanada), który ze względu na pandemię Covid-19 ograniczył się do blisko 9 miesięcznej współpracy zdalnej.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

a. Popularyzacja nauki

1. Publikacje popularnonaukowe: jestem autorem bądź współautorem publikacji o charakterze popularnonaukowym publikowanych na łamach czasopisma GlobEnergia oraz stronach internetowych Enerad (<https://enerad.pl/>), oraz IMGW-PIB (<https://cmm.imgw.pl/>). Poniżej lista tematów jakie poruszałem w publikacjach:

- **Enerad:** *Wyzwania Europejskiego Systemu Energetycznego w grudniu 2021*
- **Enerad:** *Awaria w Belchatowie – co uratowało nas przed blackoutem?*
- **Enerad:** *Odkrywanie potencjału Małej Energetyki Wiatrowej w Polsce: AMEW-PL jako przewodnik dla Inwestorów i Ekologów*
- **Enerad:** *Małe turbiny wiatrowe a pompy ciepła – potencjał oraz możliwości pokrycia zapotrzebowania na ciepło*
- **Enerad:** *Instalacja fotowoltaiczna – wzrost napięcia w sieci a straty w produkcji.*
- **Enerad:** *Zmienność generacji źródeł odnawialnych – historycznie i w kontekście zmian klimatu*
- **GlobEnergia:** *Samowystarczalność energetyczna gminy*
- **GlobEnergia:** *Chimeryczność generacji wiatrowej i słonecznej*
- **GlobEnergia:** *Prognozowanie uzysku z instalacji PV*
- **GlobEnergia:** *Układy hybrydowe*
- **GlobEnergia:** *Fotowoltaika-emisja substancji szkodliwych na tle innych źródeł energii elektrycznej*
- **GlobEnergia:** *Fotowoltaika w Niemczech w pytaniach i odpowiedziach*
- **GlobEnergia:** *Analiza możliwości recyklingu zużytych/uszkodzonych modułów PV*
- **GlobEnergia:** *Analizy cyklu życia ogniw PV*
- **GlobEnergia:** *Sytuacja na rynku PV po roku 2013*
- **GlobEnergia:** *Wykorzystanie PV w celu podniesienia konkurencyjności przedsiębiorstwa produkcyjnego*
- **GlobEnergia:** *Wpływ technologii PV na środowisko*
- **GlobEnergia:** *Pierwszy cyfrowy Atlas dla każdego kto inwestuje w mikro turbinę wiatrową- AMEW-PL*
- **IMGW-PIB:** *Promieniowanie słoneczne a produkcja energii w systemie PV*
- **IMGW-PIB:** *Wpływ zaćmienia Słońca na produkcję energii w systemach fotowoltaicznych*

2. Kanał YouTube: prowadzę kanał YouTube (*Jakub Jurasz on Energy and not only*), na którym umieszczam część materiałów dydaktycznych dla studentów (np. nagrania audio i video wykładów) oraz analizy i wizualizacje dotyczące badanej przeze mnie tematyki. Kanał zawiera również pojedyncze instruktażowe filmy z wykorzystania MS Excel oraz Matlab-a.

3. Wykłady dla liceum i kół naukowych: w latach 2021-2022 przeprowadziłem kilka wykładów z zakresu transformacji systemu elektroenergetycznego mających na celu przybliżenie tego zagadnienia uczniom podwrocławskich liceów oraz dla koła naukowego Grzała (AGH).

b. Osiągnięcia dydaktyczne

1. Kurs o OZE: obecnie w ramach działalności dydaktycznej prowadzę autorski kurs (*OZE w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym*) na Wydziale Inżynierii Środowiska (PWt) poruszający tematykę integracji odnawialnych źródeł energii do krajowego systemu elektroenergetycznego. Kurs ma za zadanie przedstawić studentom wady oraz zalety poszczególnych rozwiązań oraz umożliwić im krytyczną analizę informacji na temat sektora energetycznego docierających do nich ze środków masowego przekazu.
2. W edytowanej przeze mnie monografii na temat komplementarności odnawialnych źródeł energii uczestniczyłem oraz nadzorowałem pracę poświęconą opracowaniu rozdziału dedykowanego nauczaniu na temat komplementarności odnawialnych źródeł energii z wielu różnych perspektyw.
Acuña, G. J., Berger, M., Campana, P. E., Campos, R. A., Canales, F. A., Cantor, D., ... & Jurasz, J. (2022). Teaching about complementarity—proposal of classes for university students—including exercises. In *Complementarity of Variable Renewable Energy Sources* (pp. 687-713). Academic Press.
3. Summer School – od trzech lat jestem współorganizatorem oraz wykładowcą szkoły letniej International Summer School on Sustainable Energy (<http://www.issse.eu/>) organizowanej we współpracy z Shandong University, MDU University oraz University of Florence. Zajęcia odbywają się w formie zdalnej i są otwarte dla wszystkich zainteresowanych.
4. Opiekun prac mgr i inżynierskich: w latach 2016-2023 byłem opiekunem, na AGH w Krakowie 7 prac inżynierskich, oraz 2 prac magisterskich, MDU University (Szwecja) 1 pracy magisterskiej, Politechnice Wrocławskiej 4 prace magisterskiej.

c. Osiągnięcia organizacyjne

1. W roku 2019 współorganizowałem konferencję International Conference on Applied Energy (<https://applied-energy.org/icae2019/wp-content/uploads/2019/08/18.pdf>). W latach 2020-2023 byłem członkiem komitetu naukowego konferencji Eko-Dok (<http://www.eko-dok.pl/>). Obecnie pełnię rolę członka komitetu organizacyjnego konferencji The International Conference on Energy, Ecology and Environment (<https://iceee.info/committee>). W roku 2022 pełniłem rolę przewodniczącego komitetu technicznego/naukowego konferencji International Conference on Renewable Energies and Smart Technologies pod auspicjami IEEE (<https://ic-rest.org/>). Obecnie pełnię tę samą funkcję dla kolejnej edycji IC-REST, która ma odbyć się w 2024 roku.
- 7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.**
- a. Promotor pomocniczy obronionych (i-ii) oraz w toku (iii) rozpraw doktorskich**
 1. doktorant Mohammed Guezgouz, University of Mostaganem, Mostaganem, Algieria. Doktorat obroniono w 2020. Jako część rozprawy doktorskiej opublikowano następujące artykuły:
 - Guezgouz, M., Jurasz, J., Bekkouche, B., Ma, T., Javed, M. S., & Kies, A. (2019). Optimal hybrid pumped hydro-battery storage

scheme for off-grid renewable energy systems. *Energy Conversion and Management*, 199, 112046.

- Guezgouz, M., Jurasz, J., & Bekkouche, B. (2019). Techno-economic and environmental analysis of a hybrid PV-WT-PSH/BB standalone system supplying various loads. *Energies*, 12(3), 514.
2. doktorant Alaaeldin Mohamed Abdelshafy, Egypt-Japan University of Science and Technology, Aleksandra, Egipt. Doktorat obroniono w 2020. Jako część rozprawy doktorskiej opublikowano następujące artykuły:
- Abdelshafy, A. M., Hassan, H., & Jurasz, J. (2018). Optimal design of a grid-connected desalination plant powered by renewable energy resources using a hybrid PSO–GWO approach. *Energy conversion and management*, 173, 331-347.
 - Abdelshafy, A. M., Jurasz, J., Hassan, H., & Mohamed, A. M. (2020). Optimized energy management strategy for grid connected double storage (pumped storage-battery) system powered by renewable energy resources. *Energy*, 192, 116615.
3. doktorantka Weronika Rosińska, PWr Wydział Inżynierii Środowiska. Rozprawa doktorska poświęcona wpływowi zmian klimatu na funkcjonowanie przedsiębiorstw wodociągowych z punktu widzenia zużycia energii elektrycznej.

b. Nagrody i wyróżnienia

1. W roku 2019 zostałem laureatem stypendium Fundacji na rzecz Nauki Polskiej (FNP) Start w dziedzinie elektrotechnika.
2. W roku 2020 przyznano mi stypendium Ministra Edukacji i Nauki dla wybitnych młodych naukowców.
3. W latach 2017-2019 byłem 3-krotnie laureatem nagrody 1-stopnia JM Rektora AGH za osiągnięcia naukowe.
4. W roku 2019 przyznano mi wyróżnienie Best Reviewer za recenzje sporządzone w poprzednim roku kalendarzowym dla czasopisma *Applied Energy* (Elsevier).
5. W roku 2022 otrzymałem nagrodę Rektora PWr za osiągnięcia naukowe.
6. W roku 2021 oraz 2022 zostałem wyróżniony jako należący do 2% najczęściej cytowanych naukowców w roku ubiegłym w rankingu sporządzonym przez Stanford University, Elsevier oraz SciTech Strategies.

c. Granty kierowane

1. W ramach stażu podoktorskiego w Szwecji zrealizowałem dwa projekty finansowane ze środków własnych uczelni poświęcone tematyce dekarbonizacji centrów danych oraz konkurencji pomiędzy zcentralizowanymi systemami ciepłowniczymi a indywidualnymi pompami ciepła.
2. Od lipca 2021 pełnię rolę kierownika w projekcie pod tytułem *Metoda kwantyfikacji susz energetycznych źródeł odnawialnych w oparciu o dane historyczne i projekcje zmian klimatu* finansowanego w ramach konkursu **Opus** przez Narodowe Centrum Nauki.

d. Udział w projektach

1. **oBEMS (2015-2016)** Office Building Energy Management System finansowany przez Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego realizowany we współpracy VPPlant z AGH w Krakowie. Rola w projekcie: wykonawca.
2. **Magnitude (2018-2020)** finansowany z programu Horyzont 2020. Rola w projekcie: wykonawca.

3. **Worldclass energy solutions** (2018-2020) finansowany przez Europejski Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz Szwedzką Agencję Rozwoju Gospodarczego i Regionalnego. Rola w projekcie: wykonawca.
4. **AMEW Atlas Małej Energetyki Wiatrowej**, nieformalny projekt realizowany we współpracy IMGW-PIB z Politechniką Wrocławską. Brak finansowania. Rola w projekcie: wykonawca/kierownik z ramienia PWr.

e. Recenzent wniosków

1. Wykonałem na zaproszenie dwie recenzje wniosków projektowych zgłoszonych do European Science Foundation (ESF).

f. Recenzent prac naukowych

1. W latach 2016-2023 pełniłem aktywną rolę recenzenta w czasopismach naukowych o następujących tytułach: **Elsevier**: Energy Conversion and Management, Renewable Energy, Solar Energy, Energy, Applied Energy, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Journal of Cleaner Production; **Wiley**: Progress in Photovoltaics, International Journal of Energy Research. AIMS Energy; Clean Energy (**Oxford University Press**); E3S (**EDP Sciences**); Przegląd Elektrotechniczny (**SigmaNot**); **MDPI**: Water, Energies, Sustainability; Archives of Environmental Protection (**IPIS PAN**); **Springer**: Energy, Ecology and Environment, Soft Computing, SN Applied Sciences.
2. W latach 2020-2023 wykonałem na zaproszenie dwie recenzje propozycji książek zgłoszonych do wydawnictwa Academic Press (Elsevier).

g. Recenzent rozpraw doktorskich

1. 17.12.2021¹⁰ pełniłem rolę recenzenta rozprawy doktorskiej pod tytułem: *Siting Strategies for Variable Renewable Generation Assets in Capacity Expansion Planning Frameworks* autorstwa David Radu (University of Liege, Belgia).
2. 16.09.2022¹¹ pełniłem rolę oponenta podczas seminarium licencjackiego (w Szwecji 1/2 rozprawy doktorskiej) pod tytułem *Analysis and Forecasting of Utility-Scale Hybrid Wind and PV Power Parks*

h. Opiekun naukowy

1. Pełnię rolę opiekuna merytorycznego dla Prof. Fausto Canales (Kolumbia), który realizuje na Politechnice Wrocławskiej dwu-letnie stypendium w ramach Programu Ulam finansowanego przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej (NAWA).

i. Redaktor (edytor)

1. Jestem redaktorem monografii poświęconej komplementarności odnawialnych źródeł energii, którą współredagowałem z Profesorem Alexandre Beluco (Brazylia). Jurasz, J., & Beluco, A. (Eds.). (2022). Complementarity of variable renewable energy sources. Academic Press.
2. Pełniłem rolę redaktora w pięciu numerach specjalnych czasopism wydawanych przez Elsevier (Energy and AI oraz International Communications in Heat and Mass Transfer) oraz MDPI (Energies oraz Sustainability).
 1. <https://www.sciencedirect.com/journal/energy-and-ai/special-issue/10VMRN8V6MQ>

¹⁰ <https://orbi.uliege.be/handle/2268/264638>

¹¹ <https://uu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1687501&dswid=9934>

2. https://www.mdpi.com/journal/energies/special_issues/REST_22
 3. https://www.mdpi.com/journal/energies/special_issues/Sustainable_Energy_Technologies_Power_System_Transformation
 4. https://www.mdpi.com/journal/sustainability/special_issues/machine_energy
 5. <https://www.sciencedirect.com/journal/international-communications-in-heat-and-mass-transfer/vol/142/suppl/C>
3. Od września 2023 dołączę do czasopisma Journal of Energy Storage (Elsevier) jako *associate editor*.

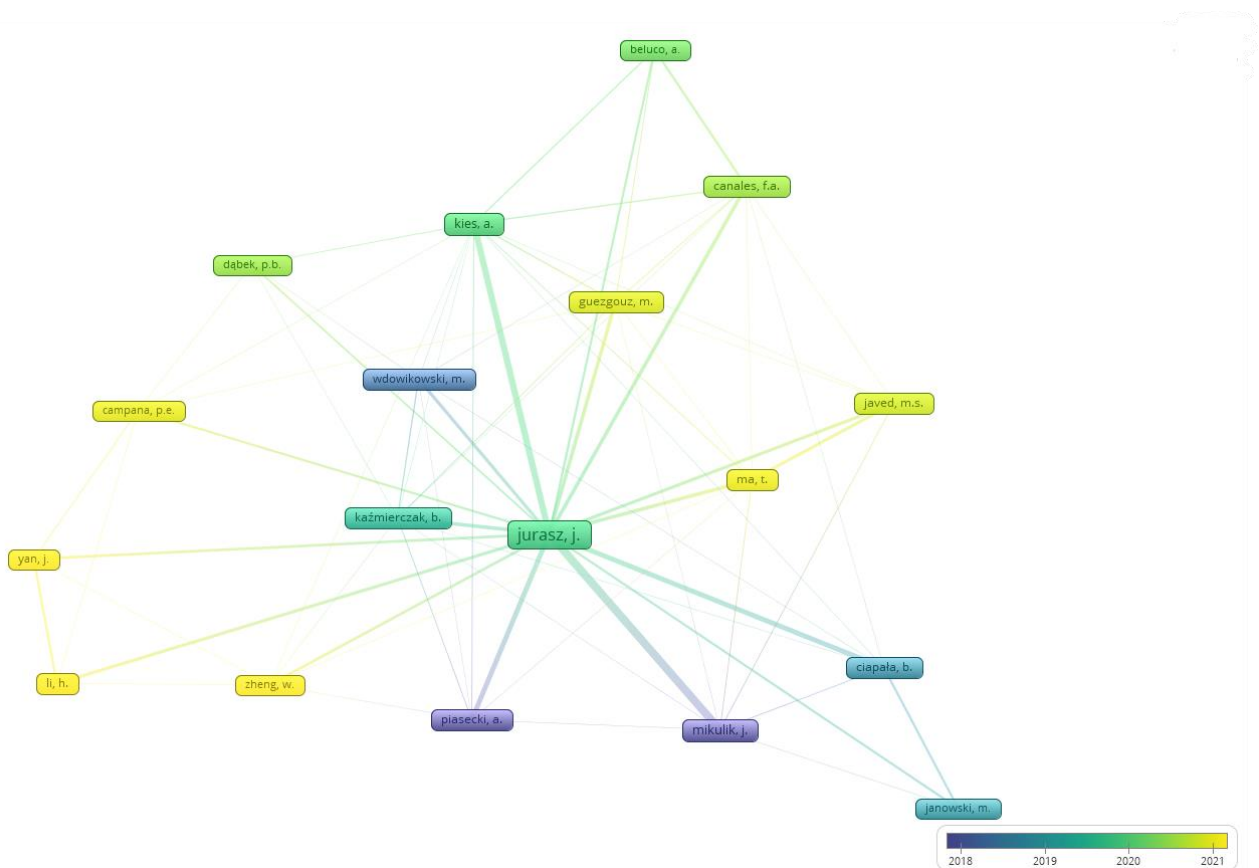
j. Współpraca naukowa z innymi badaczami

Aktywnie rozwijam swoją aktywność naukową w formie współpracy krajowej i zagranicznej. Wg bazy Scopus liczba naukowców, z którymi wspólnie uczestniczyłem w badaniach zwieńczonych opublikowaniem artykułu naukowego to: 213. W na reprezentowane przez nich jednostki naukowe:

Xi'an Jiaotong University (Chiny), Mälardalen University (Szwecja), Xi'an University of Technology (Chiny), Tsinghua University (Chiny), Manchester Metropolitan University (UK), Beijing Institute of Technology (Chiny), Wuhan University (Chiny), Henan Agricultural University (Chiny), International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg (Austria), Northwest A&F University (Chiny), King Abdullah University of Science and Technology (Arabia Saudyjska), The University of Tokyo (Japonia), Egypt-Japan University of Science and Technology (Egipt), Nanyang Technological University (Singapur), University of International Business and Economics (Chiny), Texas A&M University (Stany Zjednoczone), Faculty of Engineering (Egipt), Shanghai Jiao Tong University (Chiny), Goethe-Universität Frankfurt am Main (Niemcy), CERIS – Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability (Portugalia), Aarhus Universitet (Dania), Tianjin University (Chiny), North China Electric Power University (Chiny), Dalian University of Technology (Chiny), Cardiff University (UK), Beijing Jiaotong University (Chiny), Daneshgah Tarbiat Modares (Iran), Politecnico di Milano (Włochy), Kobelco Construction Machinery Co., Ltd. (Japonia), China University of Petroleum-Beijing (Chiny), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Brazylia), Università degli Studi e-Campus (Włochy), University North (Chorwacja), Hebei University of Technology (Chiny), Universitat Politècnica de Catalunya (Hiszpania), King Fahd University of Petroleum and Minerals (Arabia Saudyjska), Harbin Institute of Technology (Chiny), Ningbo University (Chiny), National University of Singapore (Singapur), Universidade Federal do Rio de Janeiro (Brazylia), European Commission Joint Research Centre (Belgia), International Water Management Institute (IWMI) Colombo (Sri Lanka), Chinese Research Academy of Environmental Sciences (Chiny), Universidade Estadual de Campinas (Brazylia), Universidad de la Costa (Kolumbia), China Academy of Building Research (Chiny), Frankfurt Institute for Advanced Studies (Niemcy), Universidade Federal de Itajubá (Brazylia), Newcastle University (UK), University of Victoria (Kanada), University of Massachusetts Amherst (Stany Zjednoczone), Universidad de Málaga (Hiszpania), Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (Włochy), Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (Belgia), Ricerca Sul Sistema Energetico - RSE SpA (Włochy), University of Strathclyde (UK), Uppsala Universitet (Szwecja), eCampus University (Włochy), The Royal Institute of Technology (KTH) (Szwecja), Carnegie Institution of Washington (Stany Zjednoczone), Vytautas Magnus university (Litwa), Shanxi University of Finance and Economics

(Chiny), Oulun Yliopisto (Finlandia), China Yangtze Power Co., Ltd (Chiny), Yanbu Industrial College (Arabia Saudyjska), Universidad Nacional de Colombia Medellin (Kolumbia), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) (Niemcy), Universidad Pontificia Bolivariana (Kolumbia), ENTSO-E (Belgia), Aalto University (Finlandia), cyberGRID GmbH & Co KG (Austria), Université de Liège (Belgia), Universidade Federal de Santa Catarina (Brazylia), Assiut University (Egipt), Laboratorio Nacional de Computacao Cientifica, Petropolis (Brazylia), Tianjin Eco-city Green Building Research Institute (Chiny), University of Oxford (UK)

Na Rysunku poniżej przedstawiono graf współpracy wg bazy Scopus zrealizowany w programie VOSviewer.



Rys. 20. Graf współpracy naukowej

k. Współpraca z otoczeniem gospodarczym

Jestem współautorem następujących opracowań zleconych przez podmioty gospodarcze:

1. *Opracowanie audytu technologicznego obejmującego wytyczne do sposobu zarządzania magazynem energii, dobór jego wielkości oraz dobór wielkości farmy PV lub turbiny wiatrowej dla osiedla 6 bloków oraz sposoby wskazania sterowanie magazynu aby obniżyć koszty energii elektrycznej w ramach projektu „SPIN – Małopolskie Centra Transferu Wiedzy Wsparciem dla Przedsiębiorców” w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Małopolskiego*

na lata 2014-2020, współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego. Autorzy: Jakub Jurasz, Bartłomiej Ciapała.

2. *Unlocking Missed Opportunities Realising the untapped potential of UAE Nuclear Power Plants*. Autorzy: Simon Wakter, Jakub Jurasz, Enzo Diependaal, Staffan Qvist.
3. *Leiston Lido A techno-economical pre-feasibility study*. Autorzy: Davi Damasceno, Jakub Jurasz, and Staffan Qvist.
4. *Nuclear Energy in the UNECE study and extrapolation to the non-UNECE regions*. Autorzy: Lukas Lundstrom, Jakub Jurasz, Staffan Qvist.
5. *Biała Księga możliwości obniżenia śladu węglowego zakładów Volvo Polska przy ulicy Mydlanej we Wrocławiu*. Autorzy: Piotr Jadwiszczak, Elżbieta Niemierka, Jakub Jurasz, Bartosz Kaźmierczak.
6. *Nowa izolacja poprawiająca efektywność magazynowania gazów, w tym wodoru, w warunkach kriogenicznych*. Autorzy: Bartosz Babiarczuk, Justyna Krzak, Jakub Jurasz.

I. Wskaźniki bibliometryczne

Tabela 1. Liczba cytowań i indeks Hirscha wg głównych baz danych (na: 01.08.2023)

	Web of Science	Scopus	Google Scholar
Cytowania*	1860 (1684)	2400 (2156)	3153
Indeks Hirscha	23**	27 (25)	28**

* w nawiasie podano liczbę cytowań bez cytowań własnych.

** Indeks Hirscha bez oraz z uwzględnieniem cytowań własnych pozostaje bez zmian.

.....
(podpis wnioskodawcy)