

ANALIZA ROZWOJU ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII ELEKTRYCZNEJ Z PERSPEKTYWY ZAPOTRZEBOWANIA NA ENERGIĘ ELEKTRYCZNĄ ORAZ ELASTYCZNOŚCI KRAJOWEGO SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO I WYMIANY TRANSGRANICZNEJ

Streszczenie:

Na podstawie przeprowadzonej analizy danych charakteryzujących funkcjonowanie Krajowego Systemu Elektroenergetycznego, przedstawiono obecny wpływ generacji odnawialnych źródeł energii na pracę Krajowego Systemu Elektroenergetycznego. Autor skupia się na odpowiedzi na pytanie czy generacja z odnawialnych źródeł energii jest zauważalna w pracy systemu energetycznego i wymusza charakterystyczne zachowania w zarządzaniu siecią. W następstwie tych obserwacji autor podjął próbę zdefiniowania zjawisk jakie będą efektem dalszego rozwoju odnawialnych źródeł energii.

Słowa kluczowe: odnawialne źródła energii, krajowy system elektroenergetyczny, transgraniczna wymiana energii.

WPROWADZENIE

Rozwój odnawialnych źródeł energii w polskim systemie energetycznym zapoczątkowany został pod koniec lat 90, ubiegłego tysiąclecia. W pierwszej kolejności zauważalny był rozwój energetyki wiatrowej, który w dużej mierze oparty był o elektrownie wiatrowe o mocach na poziomie 2MW każda. Dynamiczny rozwój tej technologii, z różnymi wyzwaniami po drodze, doprowadził do zainstalowania w Polsce elektrowni wiatrowych o łącznej mocy na poziomie 8800 MW¹ na koniec 2022 roku. Znacznie później bo dopiero w drugiej dekadzie obecnego stulecia nastąpił rozwój fotowoltaiki. Najdynamiczniejszy okres rozwoju nastąpił od 2017 roku. W pierwszej kolejności instalacje prosumenckie, oraz niewielkie instalacje przemysłowe o mocach do 1MWp, następnie duże farmy fotowoltaiczne o mocach sięgających 200MWp, wspólnie stworzyły na koniec 2023 roku łączną moc zainstalowaną na poziomie 14,5 GWp².

Jak można zauważyć stanowi to znaczącą moc zainstalowaną, łącznie na poziomie ponad 23GW. W tym miejscu należy zauważyć, że krajowe zapotrzebowanie na energię elektryczną w okresie od października 2022 roku do września 2023 roku wahało się w przedziale od 11,4 GW do 22,6 GW³.

Zestawiając powyższe liczby ze sobą możnaby stwierdzić, że mamy więcej zainstalowanej mocy generacji ze źródeł odnawialnych niż faktycznego zapotrzebowania, ale gdy uwzględnimy specyfikę pracy generacji, sprawa przestaje być tak oczywista. Z jednej strony należy mieć na względzie, że energetyka wiatrowa oraz fotowoltaika to źródła stochastyczne, czyli ich generacja ma charakter

1 <https://www.rynekelektryczny.pl/moc-zainstalowana-farm-wiatrowych-w-polsce/>, [data dostępu: 11/10/2023].

2 <https://www.rynekelektryczny.pl/moc-zainstalowana-fotowoltaiki-w-polsce/>, [data dostępu: 11/10/2023].

3 <https://www.pse.pl/dane-systemowe/funkcjonowanie-kse/raporty-dobowe-z-pracy-kse>, [data dostępu: 11/10/2023].

losowy i uzależniona jest od warunków pogodowych. W praktyce oznacza to, że rzadko kiedy źródła te generują z pełną mocą (jeżeli w ogóle kiedykolwiek). Należy również pamiętać, że w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym mamy szereg elektrowni konwencjonalnych, zasilanych węglem, gazem czy też elektrowni wodnych, które de facto stanowią podstawę dla bezpiecznej pracy systemu elektroenergetycznego. Również niezwykle ważnym elementem pracy systemu jest wymiana transgraniczna z sąsiadującymi krajami.

Najważniejszym jednak czynnikiem definiującym pracę systemu jest krajowe zapotrzebowanie na energię elektryczną, które jest zmienne w czasie, zarówno w ujęciu dobowym jak i rocznym.

W trybie ciągłym prowadzone są dyskusje i debaty na temat bezpiecznej pracy systemu elektroenergetycznego. Poruszane zagadnienia wynikają z kwestii technicznych (starzejące się elektrownie konwencjonalne, rozwoju technologicznego), kwestii politycznych (ograniczenie importu paliw kopalnianych, unijna polityka przyjazna środowisku). Niekwestionowanym kierunkiem zmian jest przyłączanie nowych źródeł energii elektrycznej opartych na wietrze i słońcu. Dyskusja nie odbywa się nad samą ideą włączania tego rodzaju generacji tylko w jakiej ilości i tempie te przyłączenia powinny się odbywać. Oczywiście powinno być to realizowane z zachowaniem dbałości o bezpieczeństwo systemu, stąd niezbędny jest ciągły monitoring parametrów pracy systemu zarówno statyczny jak i dynamiczny. Mając na uwadze znaczącą moc obu technologii OZE w krajowym parytecie generacji pojawia się pytanie, czy ich praca jest zauważalna w ogóle generacji, czy wymuszają one konkretne zachowania w zarządzaniu Krajowym Systemem Energetycznym, i czy mogą rodzić niepożądane konsekwencje w przyszłości.

CEL BADANIA I PRZYJĘTE METODY BADAWCZE

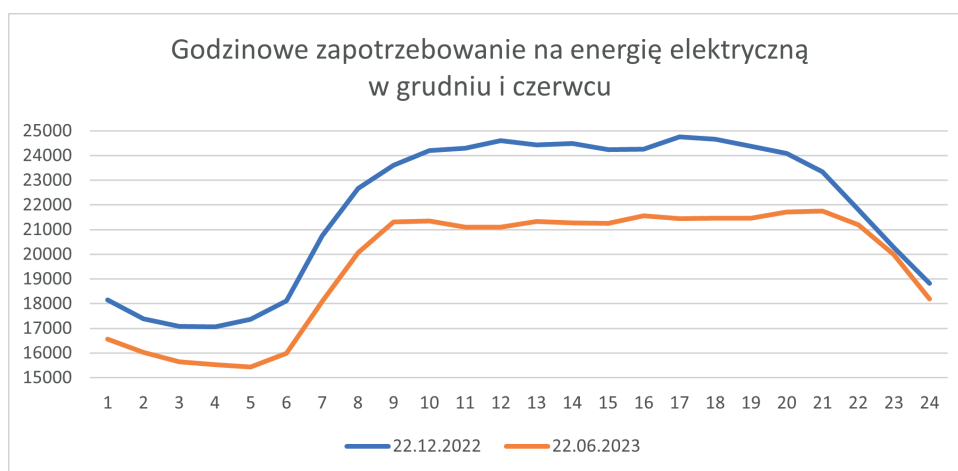
Omawiane zjawisko, jakim jest funkcjonowanie odnawialnych źródeł energii w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym jest samowsobie trudne do wyodrębnienia, ponieważ funkcjonowanie systemu jest zjawiskiem wielokryterialnym. Taki stan rzeczy utrudnia prowadzenie badań, ponieważ trudne jest określenie zależności przyczynowo – skutkowych, pomiędzy wybranymi czynnikami. Dlatego też, celem badania była próba zidentyfikowania znaczących zależności pomiędzy różnymi aspektami funkcjonowania systemu, tudzież powiązania generacji OZE na różne elementy pracy systemu. Posłużono się metodami statystycznymi, z głównym naciskiem na badanie współczynnika korelacji.

FUNKCJONOWANIE KRAJOWEGO SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO

Najważniejszym czynnikiem determinującym pracę Krajowego Systemu Elektroenergetycznego jest zapotrzebowanie kraju na energię elektryczną. Odpowiada to najbardziej fundamentalnym zasadom gospodarki i ekonomii, tj. że o poziomie produkcji decyduje podaż, w tym wypadku na energię elektryczną. W tym miejscu należy wskazać, że zapotrzebowanie na energię nie jest stałe w czasie. Uzależniona jest od zasad funkcjonowania gospodarki jak również zwyczajów społecznych. Obszary, dla których można wyróżnić charakterystyczną zmienność to:

1. Zmienne zapotrzebowanie na energię w ciągu doby,
2. Zmienne zapotrzebowanie w różnych okresach roku (amplituda zmian pomiędzy szczytem letnim i zimowym),
3. Zmiana zapotrzebowania pomiędzy dniem roboczym, a weekendem (w rozróżnieniu na sobotę i niedzielę) i dniem świątecznym, wolnym od pracy.

Na wykresie nr 1 zaprezentowano zmienność zapotrzebowania na energię elektryczną w Polsce w reżimie godzinowym dla dnia przesilenia zimowego i letniego. Jak można zauważyć zapotrzebowanie na energię elektryczną latem jest niższe aniżeli zimą, co wynika z tak prozaicznych przyczyn jak dłuższy dzień, czy wyższe temperatury. Średnia wartość zapotrzebowania na energię w dniu przesilenia zimowego wyniosła 21 869 MW i jest o ponad 11% większe niż średnie zapotrzebowanie w dniu przesilenia letniego, które wynosi 19 615 MW. Należy zaznaczyć, że oba przedstawione dni stanowiły dni robocze.



Rys. 1. Zapotrzebowanie na energię elektryczną w Polsce w ciągu jednej doby w dniu przesilenia zimowego i letniego

Źródło: PSE.pl, [data dostępu: 11/10/2023].

Jednocześnie można zaobserwować znaczącą zmienność zapotrzebowania na energię w ciągu doby.

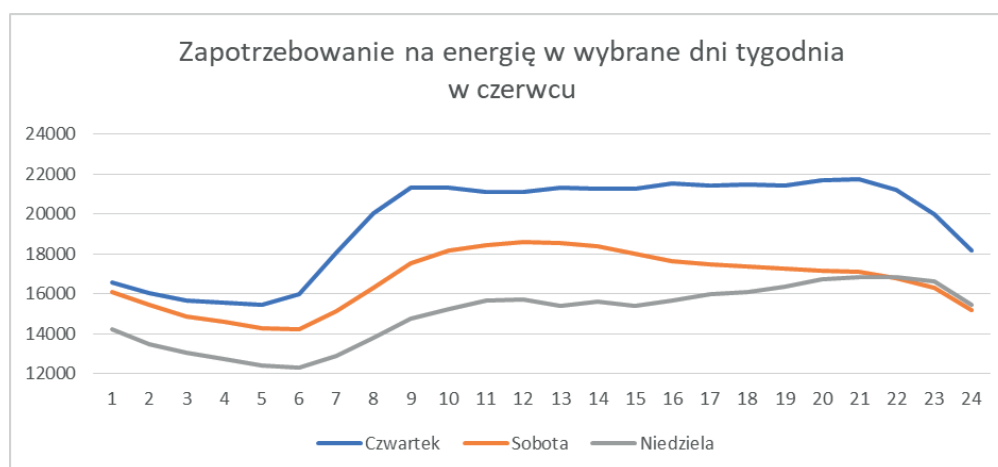
Tab. 1. Parametry charakteryzujące dobową zmienność zapotrzebowania na energię elektryczną w Polsce

		22.12.2022	22.06.2023
		MWh	MWh
Zapotrzebowanie na energię elektryczną	Max	24 754	21 758
	Średnia	21 870	19 615
	Min	17 064	15 428

Źródło: opracowanie własne.

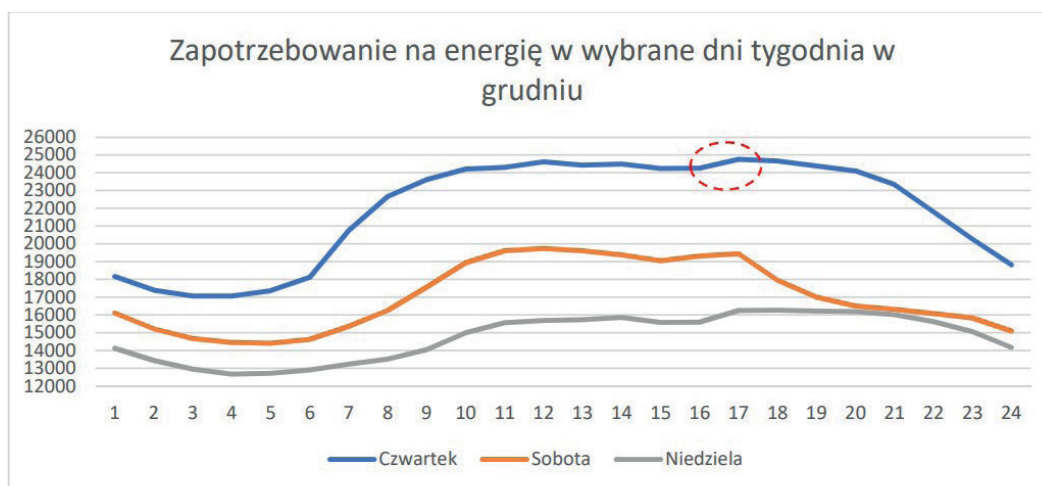
Standardowe odchylenie dla interwałów godzinowych w zimie wyniosło 2 979 MWh, gdzie dla dnia przesilenia letniego wyniosło one 2 414 MWh.

Na wykresie nr 2 przedstawiono zapotrzebowanie na energię elektryczną w wybrane dni tygodnia (czwartek, sobotę i niedzielę) w miesiącu czerwcu. Średnie zapotrzebowanie na energię w dzień roboczy jest o 31% wyższe niż średnie zapotrzebowanie energii w niedzielę. Również zauważalna jest zmienność zapotrzebowania, charakteryzowana odchyleniem standardowym, które w weekend jest stosunkowo mniejsze niż w dni robocze. Zapotrzebowanie na energię w sobotę plasuje się pomiędzy dniem roboczym i niedzielą, co wynika z faktu częściowego ograniczenia przez przedsiębiorstwa i przemysł, co wynika z charakteru ich działalności.

**Rys. 2. Zapotrzebowanie na energię elektryczną w Polsce w wybrane dni tygodnia w grudniu 2022 roku**

Źródło: PSE.pl, [data dostępu: 11/10/2023].

Na wykresie nr 3 zaprezentowano zapotrzebowanie na energię elektryczną w wybrane dni tygodnia w grudniu 2022 roku. Na szczególną uwagę zasługuje gwałtowna zmiana trendu dla soboty o godzinie 17.00. Należy wskazać, że jest to zapotrzebowanie na energię elektryczną w Wigilię, stąd krzywa uwzględnia ograniczenie działalności biznesowych i rozpoczęcie świętowania przy wigilijnym stole. Również to co jest zauważalne to wzrost zapotrzebowania na energię w dzień roboczy w okolicach godziny 17.00, co nie jest zauważalne w analogicznym dniu w okresie letnim. Wynika to z faktu sposobu funkcjonowania społeczeństwa w sezonie zimowym, gdy szybko robi się ciemno, a głównym obszarem przebywania po pracy jest miejsce zamieszkania, wszelkie prace domowe itp.



Rys. 3. Zapotrzebowanie na energię elektryczną w Polsce w wybrane dni tygodnia w czerwcu 2023 roku

Źródło: PSE.pl, [data dostępu: 11/10/2023].

W tabeli nr 2 porównano parametry charakteryzujące zmienność zapotrzebowania na energię elektryczną w wybranych dniach tygodnia, w różnym okresie roku kalendarzowego.

Tab. 2. Parametry charakteryzujące dobową zmienność zapotrzebowania na energię elektryczną w wybrane dni tygodnia w grudniu i czerwcu w Polsce

	Czwartek	Sobota	Niedziela	Czwartek	Sobota	Niedziela
	22.06.2023	24.06.2022	25.06.2023	22.12.2022	24.12.2022	25.12.2022
	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Max	21 758	18 613	16 850	24 754	19 740	16 266
Średnia	19 615	16 704	14 967	21 870	17 027	14 774
Min	15 428	14 197	12 307	17 064	14 413	12 684
Odchylenie standardowe	2 414	1 432	1 486	2 979	1 926	1 290

Źródło: opracowanie własne.

Jak można zauważyć w tabeli nr 2, w ciągu roku następuje znacząca zmienność zapotrzebowania energii elektrycznej w kraju zarówno porównując różne okresy roku, jak również w ciągu jednej doby, czy w ciągu tygodnia. Niezależnie jednak od specyfiki tych zmian, wyżej przedstawione zapotrzebowanie jest główną determinantą określającą zapotrzebowanie na energię i co w konsekwencji powyższego, sposobów zaspokojenia tego zapotrzebowania.

Zaspokojenie krajowego zapotrzebowania na energię elektryczną jest jednym z priorytetów funkcjonowania kraju. Działania mają oparcie w krajowych przepisach prawnych, a jednym z głównych nośników tej polityki jest bezpieczeństwo energetyczne kraju. Aktualne funkcjonowanie państwa, mając na względzie zaawansowanie technologiczne, w kierunku zapewnienia bezpieczeństwa społeczeństwa, zarówno przed zagrożeniami wewnętrznymi (np. katastrofalne zjawiska pogodowe) czy też zagrożeniami zewnętrznymi (agresja innych państw) jest mocno uzależnione od gwarancji ciągłości dostaw energii elektrycznej.

Wychodząc naprzeciw powyższemu Krajowy System Elektroenergetyczny realizuje swoje działania w oparciu o cztery kluczowe mechanizmy, tj.:

- krajowe źródła generacji energii elektrycznej,
- magazyny energii w postaci elektrowni szczytowo – pompowych,
- wymianę transgraniczną energii,
- awaryjne wyłączenia źródeł energii.

Zadaniem jednostek wytwórczych jest zapewnienie zdolności generacji energii elektrycznej w pełnym zakresie jego wymagalności, natomiast mechanizm wymiany transgranicznej energii służy do dynamicznego zarządzania poziomem energii elektrycznej w sieci. Zgodnie ze strategią przyjętą przez Polskie Sieci Elektroenergetyczne, poziom aktywnej mocy generującej energię elektryczną powinien uwzględniać odpowiednią nadwyżkę mocy⁴, chwilowe zapotrzebowanie krajowe, co pozwala zapewnić zapotrzebowanie z niezbędną rezerwą na nieprzewidziane sytuacje. Analizując możliwość zapewnienia wymaganej energii elektrycznej należy wziąć pod uwagę specyfikę technologiczną poszczególnych źródeł energii elektrycznej. Te możemy podzielić na sterowalne i niesterowalne, ale i w tym podziale możemy wyróżnić jednostki dynamiczne, czyli takie które szybko reagują na wymuszane zmiany generacji i jednostki o dużej inercji reagowania.

Tab. 3. Podział źródeł generacji energii elektrycznej ze względu na charakter i dynamikę pracy

Źródła wytwórcze energii		
Sterowalne		niesterowalne (generacja losowa)
Z dużą inercją	Dynamiczne	Elektrownie wiatrowe
Elektrownie węglowe	elektrownie gazowe	Fotowoltaika
	Elektrownie wodne	
	Elektrownie szczytowo - pompowe	

Źródło: opracowanie własne.

Na chwilę obecną łączna moc źródeł wytwórczych energii elektrycznej w Polsce wynosi ponad 64GW. W tabeli 4 przedstawiono wartości mocy elektrycznych w podziale na technologie.

⁴ [https://www.pse.pl/podcast „Pod najwyższym napięciem, odc. 7: Konrad Purchała o bilansowaniu systemu elektroenergetycznego”](https://www.pse.pl/podcast_„Pod_najwyzszym_napieniem,_odc._7:_Konrad_Purchala_o_bilansowaniu_systemu_elektroenergetycznego”), [data dostępu: 11/10/2023].

Tab. 4. Wartości zainstalowanych mocy generacji w różnych technologiach

Źródło generacji	Zainstalowana moc [MW]
Węgiel kamienny	24 900
Węgiel brunatny	9 300
Gaz	3 200
El. Wodne	2 400
Biomasa	1 200
Wiatr	8 800
Fotowoltaika	14 400
Łącznie:	64 200

Źródło: <https://wysokienapiecie.pl/35674-moc-elektrowni-w-polsce-przekroczyła-50-gw/>, [data dostępu: 11/10/2023].

Mając na względzie uwarunkowania techniczne pracy poszczególnych źródeł za oczywiste należy uznać, że ogrywają one różne role w procesie planowania zapewnienia generacji energii elektrycznej zgodnej z zapotrzebowaniem. Jednostki regulacyjne z wolną inercją stanowią będą podstawę planowania (zapewnienie składowej stałej), jednostki szybkie regulacyjne będą odpowiadać za zapewnienie zgodności generacji do zmiennej dynamiki zapotrzebowania.

W powyższym należy jednak uwzględnić politykę zmian jaką realizuje kraj od wielu lat, która polega na wdrażaniu odnawialnych źródeł energii. Mając na względzie ich charakter pracy jako stochastyczny, nie powinny one stanowić podstawy planowania, ale lata doświadczenia pokazują, że z powodzeniem uwzględnia się ich generację w systemie i osiąga zamierzony cel, jakim jest zaspokojenie krajowego zapotrzebowania na energię elektryczną. Odbywa się to w oparciu o prognozowanie generacji w nadchodzących dniach, co pozwala z wyprzedzeniem planować parytet generacji w sieci.

Kolejnym mechanizmem stosowanym do regulacji pracy systemu elektroenergetycznego są elektrownie szczytowo – pompowe, które stanowią magazyny energii. Na dzień dzisiejszy w polskim systemie funkcjonuje sześć takich obiektów o łącznej mocy 1 877 MW (Żarnowiec 780 MW, Porąbka Żar 552 MW, Solina 198 MW, Żydowo 165 MW, Niedzica 92 MW i Dychów 90 MW)⁵. W stosunku do maksimum zapotrzebowania na energię na poziomie 25 GW, stanowią one możliwość regulacji na poziomie 7,5%.

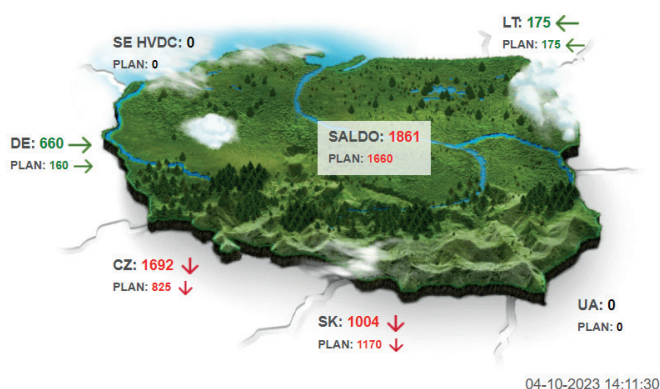
Dodatkowym mechanizmem pozwalającym na dynamiczne zarządzanie pracą Krajowego Systemu Elektroenergetycznego jest system połączeń międzynarodowych, który umożliwi wymianę transgraniczną energii (zarówno import jak i eksport).

⁵ <https://www.wnp.pl/energetyka/wchodzi-w-zycie-specustawa-pod-wielkie-inwestycje-energetyczne,726778.html>, [data dostępu: 11/10/2023].

MAPA KSE

Mapa prezentuje planowe i chwilowe przepływy mocy na przekrojach handlowych

ZAPOTRZEBOWANIE [MW]	21 200
GENERACJA [MW]	23 057
el. ciepłe	11 940
el. wodne	124
el. wiatrowe	6 825
el. fotowoltaiczne	4 168
el. inne odnawialne	0
SALDO WYMIANY CAŁKOWITEJ [MW]	1 861 EKSPORT
CZĘSTOTLIWOŚĆ [Hz]	50,001



Rys. 4. Prezentacja chwilowej generacji krajowej oraz wymiany z krajami sąsiadującymi z Polską

Źródło: PSE.pl, [data dostępu: 4/10/2023].

Polska posiada połączenia z sieciami elektroenergetycznymi Litwy, Szwecji, Niemiec, Czech, Słowacji i Ukrainy. W okresie od października 2022 roku do września 2023 roku chwilowy (w interwałach godzinowych) bilans wymiany transgranicznej oscylował w przedziale od 3424 MW eksportu do 3087 MW importu.

Kolejnym mechanizmem zarządzania pracy systemu, który był dwukrotnie wykorzystany w bieżącym roku były wyłączenia źródeł odnawialnych w związku z chwilową nadpodażą energii. Sytuacja ta wynikała z faktu, że całkowity poziom krajowej generacji przewyższył krajowe zapotrzebowanie oraz możliwość eksportu energii do krajów sąsiadujących i w efekcie wymusił odłączenie wybranych źródeł generacji od systemu elektroenergetycznego. Obie te sytuacje miały miejsce w niedziele (dni o najmniejszym zapotrzebowaniu) gdzie ze względu na uwarunkowania pogodowe nastąpiła duża generacja ze źródeł odnawialnych (zarówno wiatrowych jak i słonecznych). Zdarzenia te miały miejsce odpowiednio 23 i 30 kwietnia 2023 roku.

Powyższewynikałozbrakumożliwościzagospodarowaniaenergiielektrycznejwyprodukowanej w systemie, a sama produkcja wynikała z uwarunkowań technologicznych i specyfiki pracy urządzeń różnych technologii. W ramach jednego komunikatu PSE poinformowały o generacji ze źródeł odnawialnych na rekordowych poziomach generacji (fotowoltaika na poziomie 13GW, energetyka wiatrowa blisko 9 GW), oraz wskazały że dla zapewnienia bezpieczeństwa pracy konwencjonalnych jednostek wytwórczych, ich generacji musi odbywać się z mocą nie mniejszą niż 9 GW.

ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII W KRAJOWYM SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM

Od wielu lat w Polsce realizowana jest polityka promowania odnawialnych źródeł energii, jako wiodącego kierunku transformacji energetycznej. Na chwilę obecną łączna moc zainstalowanych źródeł wiatrowych i fotowoltaicznych wynosi 23 200 MW, co w odniesieniu do zmiennego zapotrzebowania na energię elektryczną, często stanowi więcej niż jest niezbędne. Jak już wskazano na rysunkach 1, 2 i 3, profil generacji tych źródeł jest jednak na tyle specyficzny, że realna generacja przez większość czasu odbywa się na niższym poziomie.

Obserwując aktualną politykę oraz zapowiedzi inwestycyjne, można spodziewać się znaczącego przyrostu mocy tych technologii w najbliższych latach. Pojawia się zatem pytanie jak energia elektryczna generowana przez te źródła wpływa na pracę Krajowego Systemu Elektroenergetycznego, oraz czy możliwe są do przewidzenia przyszłe efekty rozwoju tych technologii.

Dla tak postawionego zadania za stosowne wydaje się określenie przestrzeni pracy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego, w których możliwe jest zweryfikowanie czy którakolwiek z w/w technologii wymusza zachowania na systemie. Za taką przestrzeń wskazano wymianę transgraniczną z krajami ościennymi, która stanowi również jeden z mechanizmów bezpieczeństwa dla znaczących wahań różnicy pomiędzy produkcją a zapotrzebowaniem na energię elektryczną. Dlatego też zrealizowano badania polegające na weryfikacji zbieżności pomiędzy generacją energii z poszczególnych technologii a wymianą transgraniczną z poszczególnymi krajami bądź kilkoma jednocześnie.

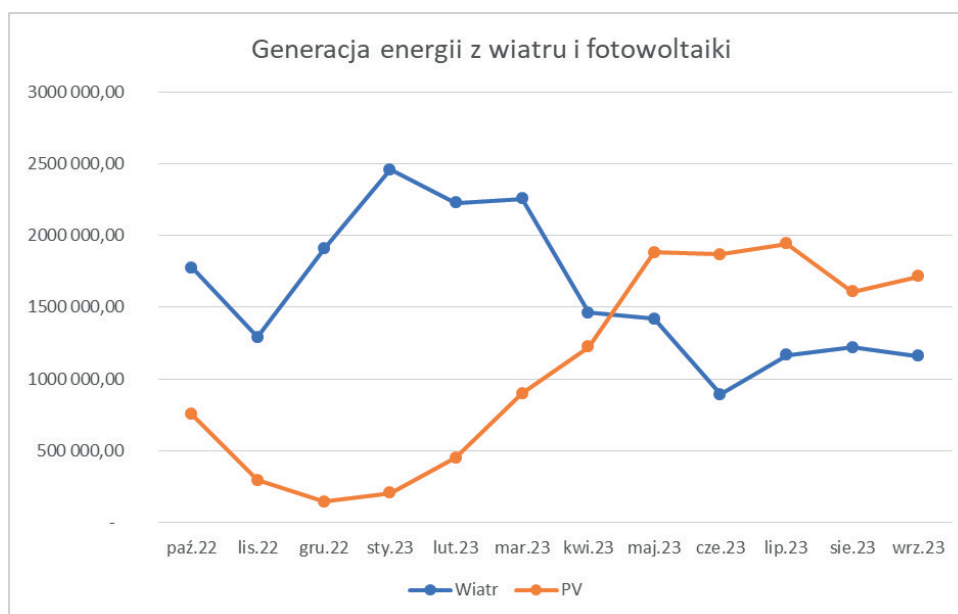
Zjawiskiem poszukiwanym była zbieżność pomiędzy produkcją energii a eksportem (bądź zmniejszeniem importu) energii z krajów ościennych. Jak już wskazano na rysunku nr 4 wymiana transgraniczna stanowi kolejny mechanizm regulacji pracy systemu, gdy rodzima generacja nie jest w stanie zapewnić wymaganej ilości energii, lub gdy tej energii produkuje się zbyt dużo.

Jak również wykazano w tabeli nr 4, moc rodzimej generacji znacząco przewyższa chwilowe maksyma, stąd skupiono się na identyfikacji zjawisk obserwowalnych w eksporcie energii, jako awaryjnym zrzuć nadwyżek produkcyjnych. W celu przeprowadzenia badań, zdefiniowano różne przedziały czasowe pracy systemu, które charakteryzują się różnym poziomem zapotrzebowania na energię elektryczną. Największy poziom zapotrzebowania na energię występuje dla okresu pełnego roku, w którym dominują dni robocze, charakteryzujące się największym zapotrzebowaniem. Ograniczenie okresu do weekendów, a następnie wyłącznie do niedziel miało na celu wyodrębienie okresów o zmniejszonym zapotrzebowaniu na energię.

I tak badania prowadzono dla następujących szeregów czasowych:

1. Pełny rok kalendarzowy od 23.09.2022 do 22.09.2023 roku,
2. Dni weekendowe dla okresu od 23.09.2022 do 22.09.2023 roku,
3. Niedziele dla okresu od 23.09.2022 do 22.09.2023 roku.

W badaniu uwzględniono również naturę generacji energetyki wiatrowej i fotowoltaiki. Mając na względzie uwarunkowania pogodowe można wskazać, że energetyka wiatrowa jest najbardziej efektywna w okresie na przełomie jesieni i zimy, oraz zimy i wiosny, gdy prędkości wiatru są najsilniejsze. Natomiast praca elektrowni fotowoltaicznych jest najefektywniejsza w okresie między przesileniem wiosennym i jesiennym. Na wykresie nr 5 można zaobserwować generację energii ze źródeł wiatrowych i fotowoltaiki w Polsce w podziale na miesiące. Zauważalna jest charakterystyczna przemienność efektywności generacji obu technologii.



Rys. 5. Generacja energii elektrycznej przez elektrownie wiatrowe i fotowoltaikę w Polsce w podziale na poszczególne miesiące

Źródło: PSE.pl, [data dostępu: 11/10/2023].

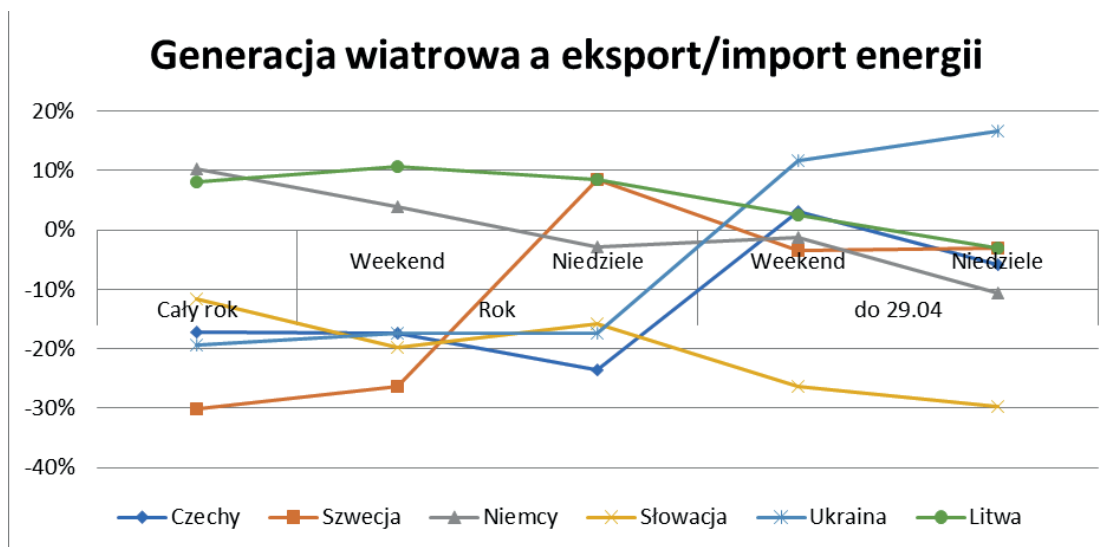
Dla tak wyodrębnionych okresów zbadano zbieżność generacji wiatrowej i wymiany transgranicznej z sąsiadami. Z przeprowadzonej analizy wynika, że nie zidentyfikowano zbieżności dla jakichkolwiek wątków, przez co można stwierdzić, że na chwilę obecną, niezależnie od poziomu krajowego zapotrzebowania, nie zaobserwowano zachowań zbieżnych polegających na redukcji importu, tudzież eksporcie energii do krajów ościennych. Oznacza to, że charakter generacji wiatrowej jest w pełni konsumowany przez Krajowy System Elektroenergetyczny na poziomie zapewnienia energii dla krajowych odbiorców. W tabeli nr 5 przedstawiono wartości współczynnika korelacji dla wybranych okresów krajowej generacji wiatrowej i wymiany transgranicznej z poszczególnymi krajami.

Tab. 5. Wartości współczynnika korelacji wymiany transgranicznej z poszczególnymi krajami a generacji z elektrowni wiatrowych dla wybranych okresów

	Cały rok	Rok		Od 23.09 do 29.04	
		Weekend	Niedziele	Weekend	Niedziele
Czechy	-17%	-17%	-24%	3%	-6%
Szwecja	-30%	-26%	8%	-4%	-3%
Niemcy	10%	4%	-3%	-1%	-11%
Słowacja	-12%	-20%	-16%	-26%	-30%
Ukraina	-19%	-17%	-17%	12%	17%
Litwa	8%	11%	8%	2%	-3%

Źródło: Opracowanie własne.

Na wykresie nr 6 zaprezentowano wartości współczynnika korelacji dla wybranych okresów krajowej generacji wiatrowej i wymiany transgranicznej z poszczególnymi krajami. Jak można zauważyć wyniki oscylują w przedziale od -0,3 do 0,2 co stanowi brak zbieżności. Innymi słowy generacja wiatrowa nie wymusza żadnych zauważalnych i znaczących działań w obszarze wymiany transgranicznej.



Rys. 6. Korelacja generacji wiatrowej i wymiany transgranicznej dla wybranych okresów czasowych

Źródło: Opracowanie własne.

W dalszej kolejności zweryfikowano zbieżność dla wybranych okresów krajowej generacji fotowoltaiki i wymiany transgranicznej z poszczególnymi krajami. Z uzyskanych wyników na szczególną uwagę zasługują wartości uzyskane dla wymiany transgranicznej z Litwą i Słowacją. W miarę ograniczania krajowego zapotrzebowania na energię zaobserwowano znaczący wzrost współczynnika korelacji do wartości na poziomie 60-70%.

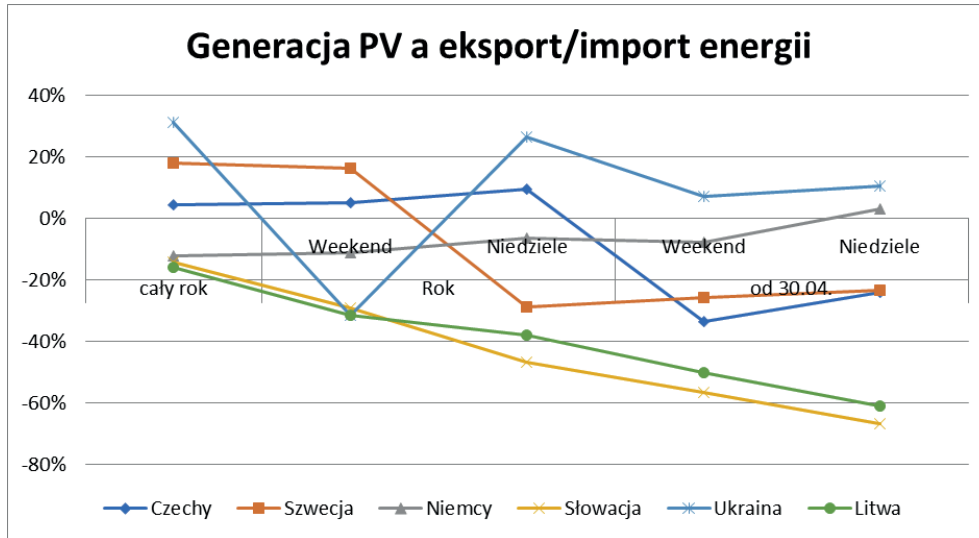
Tab. 6. Wartości współczynnika korelacji wymiany transgranicznej z poszczególnymi krajami a generacji z fotowoltaiki dla wybranych okresów

	cały rok	Rok		od 30.04.	
		Week-end	Nie-dziele	Week-end	Nie-dziele
Czechy	5%	5%	9%	-33%	-24%
Szwecja	18%	16%	-29%	-26%	-23%
Niemcy	-12%	-11%	-6%	-8%	3%
Słowacja	-14%	-29%	-47%	-56%	-67%
Ukraina	31%	-31%	26%	7%	11%
Litwa	-16%	-31%	-38%	-50%	-61%

Źródło: Opracowanie własne.

Na wykresie nr 7 zaprezentowano wartości współczynnika korelacji dla wybranych okresów krajowej generacji fotowoltaiki i wymiany transgranicznej z poszczególnymi krajami. Zwizualizowano na nim zjawisko pogłębiającej korelacji, a wartość ujemna odpowiada w tym przypadku redukcji importu

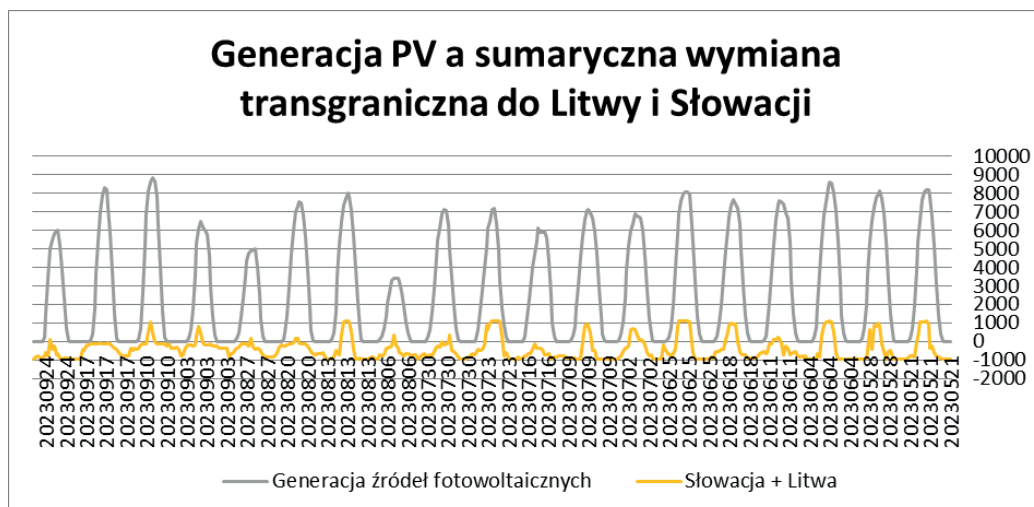
i dalej eksportowi energii z Polski do Litwy i Słowacji. W przypadku pozostałych krajów sąsiadujących związek między generacją a wymianą transgraniczną można uznać za obojętny. W tym miejscu należy jednak zwrócić uwagę, że zarówno Litwa jak i Słowacja mają niewielkie ilości źródeł fotowoltaicznych we własnych krajowych systemach elektroenergetycznych, przez co nie występuje zbieżność profili generacji pomiędzy sąsiadującymi krajami.



Rys. 7. Korelacja generacji fotowoltaiki i wymiany transgranicznej dla wybranych okresów czasowych

Źródło: Opracowanie własne.

W związku z tak wyraźnym wzrostem wartości współczynnika korelacji zweryfikowano korelację pomiędzy krajową generacją fotowoltaiczną a sumaryczną wymianą transgraniczną z Litwą i Słowacją. Dla niedziel w okresie od 30.04. do 30.09. wartość współczynnika korelacji wyniosła 74%. Wynik ten stanowi ścisłą korelację. Również na uwagę zasługuje fakt, że amplituda zmian sumarycznej wymiany transgranicznej z Litwą i Słowacją sięga 2 GW mocy. Dla porównania stanowi to więcej niż łączna moc krajowych magazynów energii, w postaci elektrowni szczytowo – pompowych.



Rys. 8. Generacja fotowoltaiki i wymiany transgranicznej z Litwą i Słowacją dla niedziel w okresie od 23.04. do 22.09

Źródło: Opracowanie własne.

Można stwierdzić, że o stabilności pracy systemu elektroenergetycznego stanowi pogodzenie podaży i popytu energii elektrycznej, natomiast miarodajnym parametrem obrazującym to zjawisko jest np. cena energii elektrycznej notowana na Towarowej Giełdzie Energii, oraz to co jest ostatecznym działaniem, komunikaty operatora o odłączeniu generacji ze względu na nadprodukcję energii.

W tym miejscu należy wskazać, że w 2023 roku miały miejsce właśnie takie zdarzenia. Dwukrotnie pojawiły się ujemne ceny energii elektrycznej na fixingu II Towarowej Giełdy Energii w notowaniach Rynku Dnia Następnego (dla dostawy 11 czerwca oraz 3 października). Również dwukrotnie Operator Sieci Przesyłowych podjął decyzję o odłączeniu generacji OZE z systemu ze względu na nadprodukcję energii względem zapotrzebowania (23 i 30 kwietnia).

Powyższe wskazuje kształtowanie się pierwszych okoliczności dla jakich można spodziewać się nadpodaży energii ponad możliwości KSE. Występują one w okresie przesilenia wiosennego i jesiennego, gdy zarówno wietrzność jak i nasłonecznienie charakteryzują się wysokimi wartościami.

PERSPEKTYWY ROZWOJU ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII W KRAJOWYM SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM

Rozwój energetyki odnawialnej w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym odbywa się w trybie ciągłym. Właściwym zatem pytaniem jest nie czy OZE będą się rozwijać, tylko w jakim tempie. Aby to ocenić, należy uwzględnić zarówno kwestie realizacji samych inwestycji w odnawialne źródła energii, ale również czynniki motywujące do dalszego rozwoju. Takimi czynnikami jest niewątpliwie rentowność tego typu inwestycji i co za tym idzie kluczowe pytanie o ceny energii po jakich producenci energii z OZE będą mogli ją sprzedawać.

W tym celu należy uwzględnić zarówno stronę popytu na energię, jak również podażową, czyli ile energii z poszczególnych technologii jest produkowanej i jaki wpływ na pracę KSE będzie miało zwiększenie tej generacji.

Od strony popytu na energię należy wskazać, że PSE wskazuje średnioroczny wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną na poziomie 1,5%⁶. Jednocześnie ważnym jest wskazanie, że w obecnym roku notowany jest spadek zapotrzebowania na energię przez zwalniającą tempo gospodarkę. Z danych publikowanych przez Agencję Rynku Energii można zauważyć spadek w pierwszym kwartale 2023 roku na poziomie 3% r/r⁷. Powyższe nie sugeruje dynamicznych zmian po stronie popytu, ze wskazaniem na stagnację. Oczywiście można podnieść argument elektryfikacji transportu, aczkolwiek na dzień dzisiejszy wciąż można pozwolić sobie na stwierdzenie, że losy tych działań nie są do końca przesądzone, przez co niezwykle trudno je prognozować.

6 <https://wysokienapiecie.pl/90177-przemysl-ograniczyl-zuzycie-pradu-o-11/>, [data dostępu: 11/10/2023].

7 Ministerstwo Energii, „Wnioski z analiz prognostycznych dla sektora energetycznego – załącznik nr 1 do polityki energetycznej Polski do 2040 roku (PEP 2040)” Warszawa 2018 rok, [data dostępu: 11/10/2023].

Z drugiej strony notowany jest bardzo dynamiczny wzrost nowych mocy fotowoltaiki. Tylko w okresie pierwszego półrocza 2023 roku, moc zwiększyła się z poziomu 12 GWp⁸ do 14,5 GWp.

Energetyka wiatrowa na chwilę obecną rozwija się dzięki projektom z poprzedniej ery technologicznej (turbiny o mocach 2-3MW realizowane w ramach przepisów z przed okresu ustawy „10h”), ale z racji nowelizacji przepisów w przeciągu najbliższych kilku lat wzrost mocy energetyki wiatrowej będzie istotnie rósł. Do tego należy uwzględnić zaawansowanie projektów offshore, których moc liczona jest w GW.

Powyżej przywołane zagadnienia będą przyczyną pogłębienia się sytuacji w których występować będzie znacząca nadpodaż energii ze źródeł odnawialnych, co w ujęciu generacji całego systemu będzie wymuszać nie tylko pogłębienie się profilu cen energii, tzw. „krzywej kaczk”, ale coraz częściej odłączania źródeł OZE od systemu.

Pozostaje jednak pytanie o skalę tych zjawisk. Tak jak w przypadku fotowoltaiki, zauważalne są już wymuszone działania w zarządzaniu pracą KSE, tak w przypadku energetyki wiatrowej takich zjawisk jeszcze nie widać. Jednak moc projektów offshore może budzić obawy.

Dla samych instalacji OZE kolejne wzrosty zainstalowanej mocy wiązać się będą z niższymi cenami energii w związku z charakterystyką profili generacji, oraz okazjonalnie z odłączeniami. Te zjawiska będą coraz odbijać swoje piętno w rentowności tego typu inwestycji.

Od ponad 20 lat rozwoju odnawialnych źródeł energii, za jedną z głównych barier rozwoju uznawano słabą kondycję sieci energetycznych, która nie pozwalała na swobodą dystrybucję energii po kraju. Jednak aktualnie rysuje się nowe zagadnienie jakim jest chwilowa nadpodaż energii w systemie.

Od strony technicznej naturalną konsekwencją jest wprowadzenie mechanizmów magazynujących energię, co pozwoliłoby zapanować nad swobodną generacją OZE i poprawiłoby wypełnianie podstawowego zadania jakim jest zapewnienie energii w systemie w ilości wymaganej przez odbiorców w danym momencie. Niestety na chwilę obecną zagadnienie magazynowania jest wciąż dużym wyzwaniem technologicznym i ekonomicznym, przez co przyszłość nie jest oczywista.

BIBLIOGRAFIA:

1. B. Poskrobko, T. Borys, S. Czaja, T. Poskrobko, „Warsztat naukowy ekonomisty”, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok 2020 r.
2. D. Yergin, „Nowa mapa – jak energetyka zmienia geopolitykę”, Wydawnictwo Sonia Draga sp. z o.o., Katowice 2021
3. <https://www.rynekelektryczny.pl/moc-zainstalowana-farm-wiatrowych-w-polsce/>, [data dostępu: 11/10/2023].
4. <https://www.rynekelektryczny.pl/moc-zainstalowana-fotowoltaiki-w-polsce/>, [data dostępu: 11/10/2023].
5. <https://www.pse.pl/dane-systemowe/funkcjonowanie-kse/raporty-dobowe-z-pracy-kse>, [data

⁸ <https://www.gramzielone.pl/energia-sloneczna/20147406/spowolnienie-w-polskiej-fotowoltaice-ten-rok-ma-byc-rekordowy>, [data dostępu: 11/10/2023].

dostęp: 11/10/2023].

6. <https://www.pse.pl/podcast> „Pod najwyższym napięciem, odc. 7: Konrad Purchała o bilansowaniu systemu elektroenergetycznego”, [data dostępu: 11/10/2023].
7. <https://www.wnp.pl/energetyka/wchodzi-w-zycie-specustawa-pod-wielkie-inwestycje-energetyczne,726778.html>, [data dostępu: 11/10/2023].
8. <https://wysokienapiecie.pl/90177-przemysl-ograniczyl-zuzycie-pradu-o-11/>, [data dostępu: 11/10/2023].
9. Ministerstwo Energii, „Wnioski z analiz prognostycznych dla sektora energetycznego – załącznik nr 1 do polityki energetycznej Polski do 2040 roku (PEP 2040)” Warszawa 2018 rok, [data dostępu: 11/10/2023].
10. <https://www.gramzielone.pl/energia-sloneczna/20147406/spowolnienie-w-polskiej-fotowoltaice-ten-rok-ma-byc-rekordowy>, [data dostępu: 11/10/2023].

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY SOURCES FROM THE PERSPECTIVE OF ELECTRICITY DEMAND AND THE FLEXIBILITY OF THE NATIONAL POWER SYSTEM AND CROSS-BORDER EXCHANGE

Abstract:

Based on the analysis of data characterizing the functioning of the National Power System, the current impact of the generation of renewable energy sources on the operation of the National Power System is presented. The author focuses on answering the question whether generation from renewable energy sources is noticeable in the operation of the energy system and forces characteristic behaviors in network management. Following these observations, the author attempted to define the phenomena that will result from the further development of renewable energy sources.

Keywords: renewable energy sources, national power system, cross-border energy exchange.