

doi:10.15199/48.2024.07.25

Analiza wybranych aspektów pracy KSE pod kątem zapotrzebowania mocy

Streszczenie. W artykule zaprezentowano analizę wybranych aspektów pracy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego pod kątem zapotrzebowania mocy. Przedstawiono wyniki analiz i obliczeń z wykorzystaniem programu komputerowego Statistica dla dobowej prognozy zapotrzebowania mocy i rzeczywistego zapotrzebowania mocy, a także zaprezentowano model wyrównywania wykładniczego i predykcji.

Abstract. The article presents an analysis of selected aspects of the operation of the National Power System in terms of power demand. The results of analysis and calculations using the Statistica computer software for daily power demand forecast and actual power demand are presented, and an exponential equalization and forecasting model is presented. (**Analysis of selected aspects of NPS operation in terms of power demand**).

Słowa kluczowe: sieć elektroenergetyczna, Krajowy System Elektroenergetyczny, szereg czasowy, prognozowanie.

Keywords: electricity grid, National Electricity System, time series, forecasting.

Wstęp

Powszechność dostępu i korzystanie z zalet energii elektrycznej wymaga sprawnego działania rozbudowanego układu urządzeń do jej wytwarzania, ale także do jej przesyłania i rozdziału. Nie ma możliwości magazynowania energii elektrycznej, co oznacza że w każdym momencie ilość energii wytwarzanej w elektrowniach musi być równa energii zużywanej przez odbiorców. Prawidłowo funkcjonujący system elektroenergetyczny musi być zdolny do zmiany kierunków i ilości przesyłanej energii. Jest to możliwe dzięki licznym połączeniom pomiędzy elektrowniami, stacjami elektroenergetycznymi oraz grupami odbiorców energii elektrycznej [3,5,16]. Połączenia takie zapewnia sieć linii elektroenergetycznych, które pracują na różnych poziomach napięć. Im bardziej sieć ta jest rozbudowana, a linie przesyłowe nowoczesne, tym jest większa szansa na niezawodną dostawę energii elektrycznej do każdego odbiorcy. Natomiast zagadnienia związane z prognozowaniem krótkoterminowego zapotrzebowania na moc elektryczną w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym (KSE), zwłaszcza w horyzoncie następnej doby, mają istotne znaczenie dla zapewnienia jego bezpiecznego i prawidłowego funkcjonowania. W konsekwencji ma też istotne znaczenie dla zapewnienia ciągłości dostaw energii elektrycznej do odbiorców.

Coraz większe zapotrzebowanie na energię elektryczną związane jest z różnymi czynnikami, do których zaliczyć należy postęp technologiczny, zmiany klimatyczne i społeczne. Ma to także duży wpływ na modyfikację dobowych profili obciążenia systemów elektroenergetycznych. Do obserwowanych w ostatnich latach zmian klimatycznych zalicza się m.in. zwiększenie średniej temperatury otoczenia, zmniejszenie odczuwalnych różnic temperatury otoczenia pomiędzy porami roku oraz długie i zmienne okresy upałów [6]. Takie zmiany wpływają na zwiększenie zapotrzebowania na moc elektryczną w okresach wysokich temperatur otoczenia, rosnące wykorzystanie urządzeń klimatyzacyjnych i innych urządzeń obniżających temperaturę i poprawiających jakość powietrza. Powodują także wzrost obciążenia systemu elektroenergetycznego, zwłaszcza w godzinach nocnych oraz w szczytach zapotrzebowania na moc i energię elektryczną. Dodatkowym skutkiem może być przenoszenie zapotrzebowania na moc elektryczną w obszar godzin nocnych głównie przez odbiorców przemysłowych. Rosnący udział wytwarzania energii elektrycznej w odnawialnych źródłach skutkuje zmniejszeniem dynamiki przyrostów

zapotrzebowania na energię elektryczną w systemie elektroenergetycznym wobec rosnącego uniezależniania się części odbiorców energii elektrycznej (zwanymi często prosumentami), od dostaw energii elektrycznej z sieci elektroenergetycznej. Odbiorniki (odbiór z punktu widzenia KSE), będące urządzeniami przyłączanymi do sieci elektroenergetycznych od poziomu najniższych napięć wzwyż, posiadają różne przeznaczenie użytkowania ze względu na indywidualny rytm pracy i odpoczynku odbiorców. Obciążenie KSE, wynikające z poboru mocy przez zbiór wielu odbiorów, wynika także z oddziaływania czynników zewnętrznych, do których zalicza się najczęściej: zmiany warunków pogodowych, zmiany pór roku, czy zmiany nawyków społeczeństwa. Należy także uwzględnić rozwój technologii zwiększających poziom zapotrzebowania i zmniejszających ten poziom, w tym zmienne tempo rozwoju instalacji wytwórczych prosumenckich. Można przyjąć, że istnieje wzajemna korelacja między tymi zmiennymi składnikami wymienionych czynników. Różne funkcjonowanie odbiorników w czasie, odzwierciedlanych przebiegami ich obciążenia, na które wpływ mają także czynniki losowe, wpływa poprzez ich złożenie na sumaryczne obciążenie KSE. Natomiast czynnikami posiadającymi właściwości nieprzypadkowe, które wpływają na sumaryczne obciążenie KSE, są czynniki wynikające z właściwości położenia geograficznego danego KSE [11,13]. Do czynników tych zalicza się: typ klimatu i jego zmiany, wysokość położenia słońca i związane z nim padanie promieni słonecznych, godziny wschodów i zachodów słońca i wynikająca z nich długość trwania dnia i nocy. Cykl funkcjonowania społeczeństwa tym samym użytkowanych przez nich odbiorów energii elektrycznej, określa kształtowanie ostatecznej postaci profilu obciążenia KSE i ma mniejszy ładunek losowości niż kwestie zmiany warunków pogodowych wynikających ze zmian klimatu.

Zmiany społeczne, w tym zwiększenie dobrobytu społecznego, czy okresy jego zmniejszenia, wpływają na okresowe przyrosty lub spadki zapotrzebowania na energię elektryczną. Czynnikiem, którego ryzyko materializacji systematycznie rośnie, jest możliwość zakłócenia ciągłości komunikacji elektronicznej, która jest głównym środkiem zapewniania danych wejściowych do opracowywania prognoz zapotrzebowania na moc elektryczną w systemie elektroenergetycznym [7,8]. Danymi wejściowymi do modeli prognozowania zapotrzebowania na moc elektryczną są zazwyczaj prognozy i dane historyczne dotyczące parametrów pogodowych oraz prognozy i dane historyczne

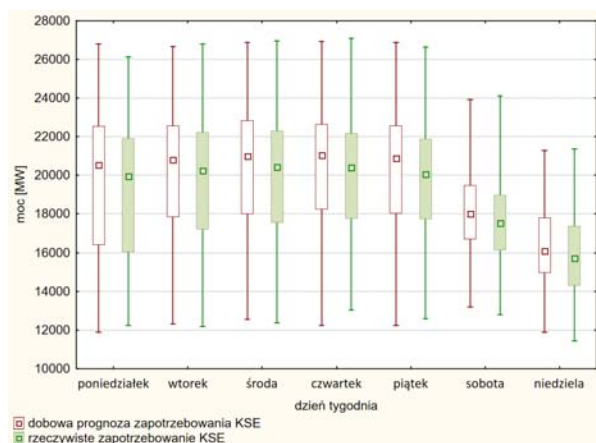
dotyczące generacji w źródłach odnawialnych. Wpływają one bezpośrednio na zmiany w kształtowaniu profilu obciążeń dobowych systemów elektroenergetycznych.

Zapotrzebowanie na moc elektryczną KSE

Ze względu na specyfikę energii elektrycznej jako towaru, który cechuje się brakiem możliwości bezpośredniego substytuowania oraz ograniczoną możliwością akumulowania w systemie, wytwórcy wielkoskalowi, przedsiębiorstwa przesyłowe i dystrybucyjne zajmują się prognozowaniem wielkości zapotrzebowania na moc elektryczną z odpowiednim wyprzedzeniem i dokładnością. Wspomniane podmioty dzięki zastosowaniu urządzeń pomiarowych, systemów sterowania i nadzoru na bieżąco oceniają obciążenie systemów elektroenergetycznych mocą czynną, i porównują z chwilowym zapotrzebowaniem na moc elektryczną. Wynikiem takiego porównania jest informacja, że obciążenie systemu jest za małe lub za duże w odniesieniu do chwilowego zapotrzebowania na moc elektryczną [12,16]. Jest to poprzedzone wieloletnim gromadzeniem danych, ich analizą i wnioskowaniem. Dzięki zastosowaniu strategicznego zarządzania w energetyce i prognozowania do planowania pracy systemów elektroenergetycznych możliwe jest zminimalizowanie odchyłań pomiędzy obciążeniem systemu elektroenergetycznego mocą czynną elektryczną i zapotrzebowaniem na tę moc. Drugą ważną zaletą zastosowania technik prognostycznych jest pozyskanie informacji o niezbędnym do wytworzenia wolumenie mocy elektrycznej ze stosownym wyprzedzeniem.

Statystyczna analiza zapotrzebowania mocy KSE

Do analizy wykorzystano informacje dostępne na stronie PSE, które obejmują dane od 1 stycznia do 31 grudnia 2023 roku [2]. Aby wykorzystać te dane do zbudowania odpowiedniego modelu regresji zaprezentowano wybrane wyniki analiz i obliczeń danych dotyczących dobowej prognozy zapotrzebowania mocy KSE i rzeczywistego zapotrzebowania mocy KSE. Dane te są danymi średnioważonymi z krokiem co 1 godzinę. Analizę i obliczenia przeprowadzono z wykorzystaniem programu komputerowego Statistica. Dane obejmują raporty dobowe z pracy KSE, a ich wartości do analizy statystycznej zaczerpnięto z [2].



Rys. 1. Wykres ramka-wąsy dla dobowej prognozy zapotrzebowania KSE i dla rzeczywistego zapotrzebowania KSE dla poszczególnych dni tygodnia

Na rys.1 przedstawiono wykres ramka-wąsy dla dobowej prognozy zapotrzebowania KSE i dla rzeczywistego zapotrzebowania KSE dla poszczególnych dni tygodnia, na

którym widać kształtowanie się kwartyli. Wartości te są wartościami z całego analizowanego okresu, od 1 stycznia do 31 grudnia 2023 roku. W przypadku sobót i niedziel wartości kwartyli są niższe niż dla pozostałych dni tygodnia. Dokładne wartości wybranych statystyk (średnia, minimum, maksimum i mediana) zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości statystyk opisowych: średnia, minimum, maksimum i mediana: a) dla dobowej prognozy zapotrzebowania KSE, b) rzeczywistego zapotrzebowania KSE – dla poszczególnych dni tygodnia

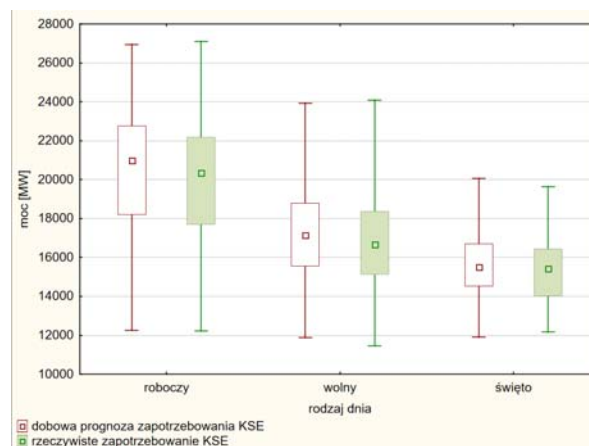
a)

Tabela przekrojów statystyk opisowych - dobowa prognoza zapotrzebowania KSE – moc [MW], N=8760 (Zmienne zależne nie zawierają BD)				
dzień tygodnia	Średnia	Minimum	Maksimum	Mediana
poniedziałek	19768	11908	26809	20544
wtorek	20316	12311	26681	20800
środa	20492	12558	26885	21000
czwartek	20522	12250	26943	21050
piątek	20454	12250	26889	20881
sobota	18165	13200	23918	18000
niedziela	16320	11887	21274	16100

b)

Tabela przekrojów statystyk opisowych - rzeczywiste zapotrzebowanie KSE – moc [MW], N=8760 (Zmienne zależne nie zawierają BD)				
dzień tygodnia	Średnia	Minimum	Maksimum	Mediana
poniedziałek	19268	12233	26132	19936
wtorek	19888	12183	26795	20241
środa	20027	12379	26951	20431
czwartek	20051	13031	27106	20402
piątek	19902	12588	26652	20054
sobota	17736	12802	24098	17515
niedziela	15914	11454	21370	15742

Analogicznie na rys. 2 zaprezentowano wykres ramka-wąsy, a w tabeli 2 wartości wybranych statystyk w zależności od typu dnia tygodnia (dzień roboczy, dzień wolny (sobota, niedziela), święto (dzień świąteczny przypadający w dzień roboczy lub wolny) zgodnie z kalendarzem dla 2023 roku. Dla dni świątecznych wartości statystyk są niższe niż w przypadku dni roboczych i dni wolnych. W dni świąteczne jest znacznie mniejsze zapotrzebowanie na moc w systemie elektroenergetycznym.



Rys. 2. Wykres ramka-wąsy dla dobowej prognozy zapotrzebowania KSE i dla rzeczywistego zapotrzebowania KSE dla poszczególnych typów dni tygodnia

Tabela 2. Wartości statystyk opisowych: średnia, minimum, maksimum i mediana: a) dla dobowej prognozy zapotrzebowania KSE, b) rzeczywistego zapotrzebowania KSE – dla poszczególnych typów dni tygodnia

a)

Tabela przekrojów statystyk opisowych - dobowa prognoza zapotrzebowania KSE – moc [MW], N=8760 (Zmienne zależne nie zawierają BD)				
rodzaj dnia	Średnia	Minimum	Maksimum	Mediana
roboczy	20493	12250	26943	20999
wolny	17247	11887	23918	17150
święto	15610	11908	20047	15500

b)

Tabela przekrojów statystyk opisowych - rzeczywiste zapotrzebowanie KSE – moc [MW], N=8760 (Zmienne zależne nie zawierają BD)				
rodzaj dnia	Średnia	Minimum	Maksimum	Mediana
roboczy	19997	12237	27106	20349
wolny	16825	11454	24098	16661
święto	15454	12183	19651	15416

Tabela 3. Wartości statystyk opisowych: średnia, minimum, maksimum i mediana: a) dla dobowej prognozy zapotrzebowania KSE, b) rzeczywistego zapotrzebowania KSE – dla poszczególnych godzin doby.

a)

Tabela przekrojów statystyk opisowych – dobowa prognoza zapotrzebowania KSE – moc [MW], N=8760 (Zmienne zależne nie zawierają BD)				
godzina	Średnia	Minimum	Maksimum	Mediana
1	16378	13440	19873	16350
2	15718	12729	19222	15650
3	15338	12258	18820	15212
4	15327	11908	18969	15202
5	15624	11966	19622	15500
6	16628	11887	21227	16468
7	18913	12123	24382	19216
8	20180	12033	25680	20650
9	20940	11945	26691	21300
10	21131	12375	26585	21350
11	21115	12980	26757	21282
12	21166	13533	26896	21321
13	21210	14068	26914	21353
14	21290	14421	26943	21457
15	20937	14330	26277	21200
16	20905	14600	26716	21280
17	21069	14479	26889	21300
18	21191	14671	26782	21226
19	21270	15300	26245	21269
20	21456	15560	26153	21474
21	21302	15588	25663	21450
22	20465	15265	24273	20798
23	18977	14839	22382	19064
24	17695	14011	21039	17700

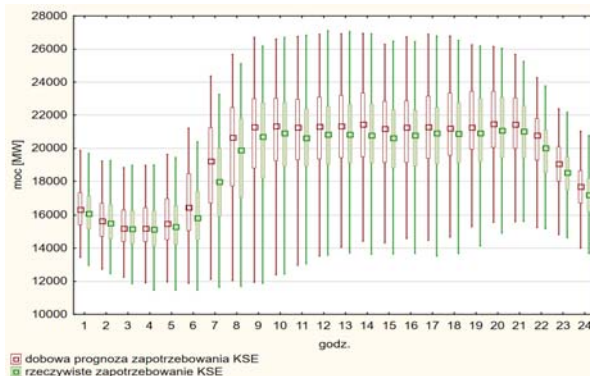
b)

Tabela przekrojów statystyk opisowych - rzeczywiste zapotrzebowanie KSE – moc [MW], N=8760 (Zmienne zależne nie zawierają BD)				
godzina	Średnia	Minimum	Maksimum	Mediana
1	16140	12973	19681	16092
2	15560	12477	19244	15507
3	15250	11845	18968	15172
4	15199	11462	19003	15135
5	15371	11454	19453	15312
6	15911	11469	20392	15842
7	17786	11651	23268	17977
8	19373	11707	25119	19881
9	20336	11897	26179	20722
10	20674	12449	26696	20929
11	20567	13042	26822	20646
12	20700	13588	27106	20848
13	20736	13703	27048	20839
14	20732	13641	26918	20790
15	20469	13657	26459	20631
16	20501	13689	26426	20803
17	20662	13530	26779	20928
18	20803	13701	26513	20901
19	20888	14147	26181	20912
20	21083	14904	26032	21088
21	20861	15634	25252	21021
22	19809	15169	23755	20031

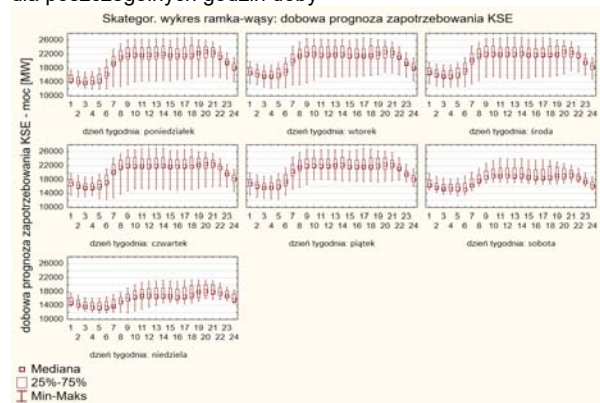
Tabela przekrojów statystyk opisowych - rzeczywiste zapotrzebowanie KSE – moc [MW], N=8760 (Zmienne zależne nie zawierają BD)				
godzina	Średnia	Minimum	Maksimum	Mediana
23	18480	14636	22179	18547
24	17180	13700	20766	17172

Na rysunku 3 przedstawiono wykres ramka-wąsy dla dobowej prognozy zapotrzebowania KSE i dla rzeczywistego zapotrzebowania KSE dla poszczególnych godzin doby. Analizując dane przedstawione na rys. 3 można wnioskować, że są mniejsze wartości kwartyli w godzinach nocnych i większe wartości kwartyli w ciągu dnia. Dokładne wartości statystyk zamieszczono w tabeli 3. Na rysunku 4 i rysunku 5 zaprezentowano skategoryzowany wykres ramka-wąsy dla poszczególnych dni tygodnia i 24 godzin dla dobowej prognozy zapotrzebowania KSE i dla rzeczywistego zapotrzebowania KSE. Wartości poszczególnych kwartyli mają różne wartości dla dni tygodnia i godzin w ich ciągu, co świadczy o zmiennym charakterze analizowanych wielkości.

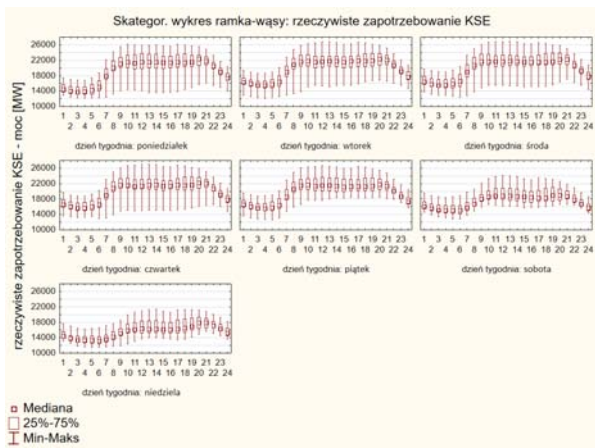
Na rysunku 6 i rysunku 7 przedstawiono skategoryzowane wykresy ramka-wąsy dla analizowanych danych, na których widać różnice w wielkości poszczególnych pozycyjnych miar położenia. W nawiązaniu do dokładnych wartości statystyk zamieszczonych w tabeli 2 dla tej analizy przekrojowej można wnioskować o nieznacznym niedoszacowaniu lub o nieznacznym przeszacowaniu wartości dobowej prognozy zapotrzebowania KSE. Ma to istotne znaczenie z punktu widzenia prawidłowego funkcjonowania systemu KSE i jest jednym z ogniw właściwego strategicznego zarządzania w energetyce. Poziom referencyjny między dobową prognozą zapotrzebowania KSE a rzeczywistym zapotrzebowaniem KSE jest monitorowany i zgodny z polityką energetyczną państwa.



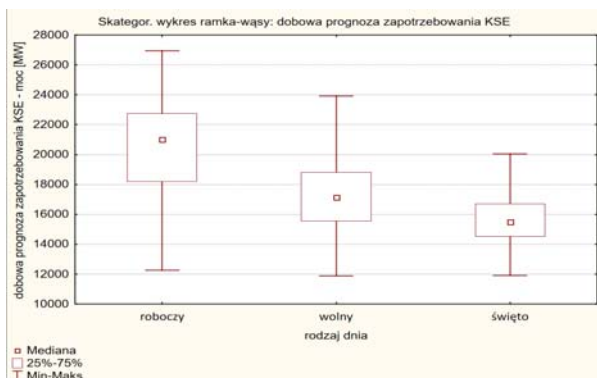
Rys. 3. Wykres ramka-wąsy dla dobowej prognozy zapotrzebowania KSE i dla rzeczywistego zapotrzebowania KSE dla poszczególnych godzin doby



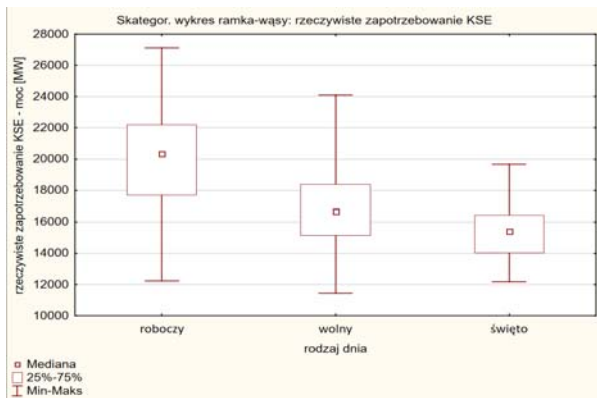
Rys. 4. Skategoryzowany wykres ramka-wąsy dla dobowej prognozy zapotrzebowania KSE dla poszczególnych dni tygodnia i poszczególnych godzin doby



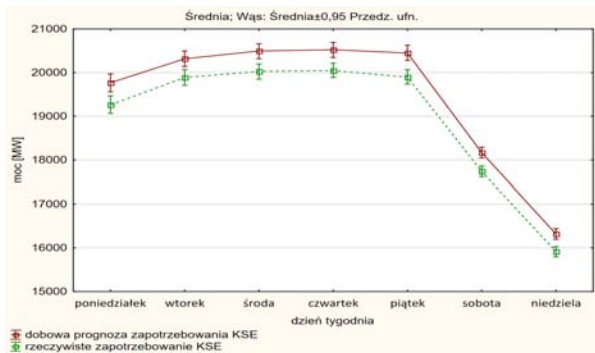
Rys. 5. Skategoryzowany wykres ramka-wąsy dla rzeczywistego zapotrzebowania KSE dla poszczególnych dni tygodnia i poszczególnych godzin doby



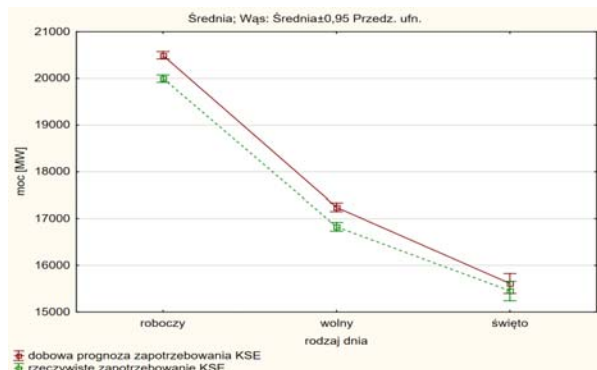
Rys. 6. Skategoryzowany wykres ramka-wąsy dla dobowej prognozy zapotrzebowania KSE dla poszczególnych typów dni tygodnia



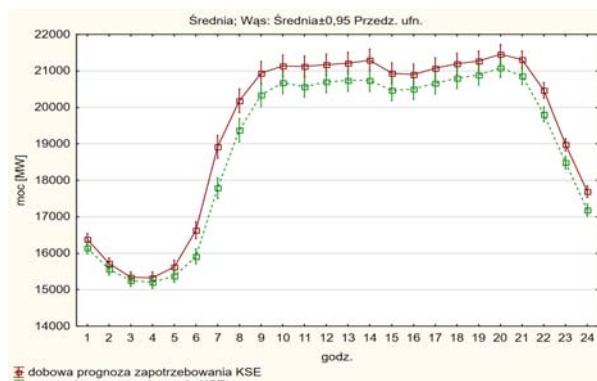
Rys. 7. Skategoryzowany wykres ramka-wąsy dla rzeczywistego zapotrzebowania KSE dla poszczególnych typów dni tygodnia



Rys. 8. Wykres średnich wartości wraz z 95% przedziałem ufności dla dobowej prognozy zapotrzebowania KSE i dla rzeczywistego zapotrzebowania KSE dla poszczególnych dni tygodnia



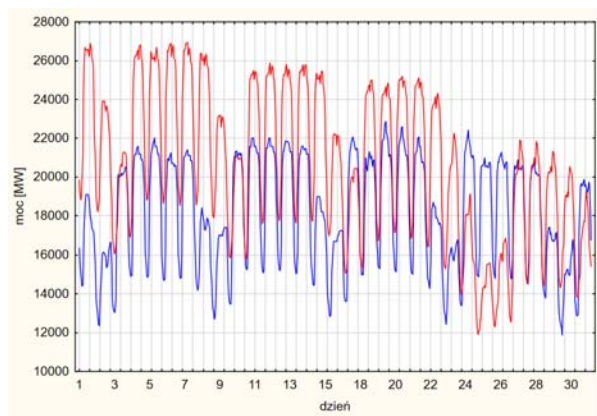
Rys. 9. Wykres średnich wartości wraz z 95% przedziałem ufności dla dobowej prognozy zapotrzebowania KSE i dla rzeczywistego zapotrzebowania KSE dla poszczególnych typów dni tygodnia



Rys. 10. Wykres średnich wartości wraz z 95% przedziałem ufności dla dobowej prognozy zapotrzebowania KSE i dla rzeczywistego zapotrzebowania KSE dla poszczególnych godzin doby

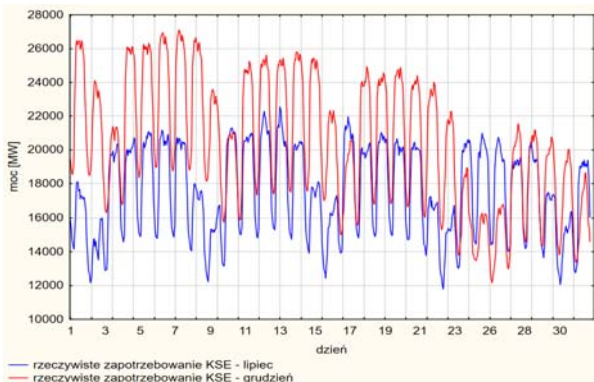
Na rysunkach 8-10 w celu porównania analizowanych zmiennych zamieszczono wykresy wartości średniej typu średnia i 95% przedział ufności z podziałem na dzień tygodnia, typ dnia i godzina doby.

Na rysunku 11 przedstawiono przebiegi dobowej prognozy zapotrzebowania mocy KSE dla miesiąca lipca (miesiąc letni) i miesiąca grudnia (miesiąc zimowy). Widać większe wartości mocy dla miesiąca grudnia.



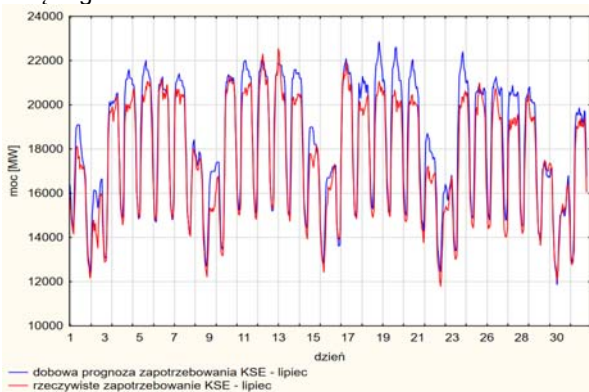
Rys. 11. Przebiegi dobowej prognozy zapotrzebowania na moc elektryczną w KSE dla miesiąca lipca i grudnia 2023 roku

Na rysunku 12 przedstawiono przebiegi rzeczywistego zapotrzebowania mocy KSE dla miesiąca lipca (miesiąc letni) i miesiąca grudnia (miesiąc zimowy). Widać także większe wartości mocy dla miesiąca grudnia.

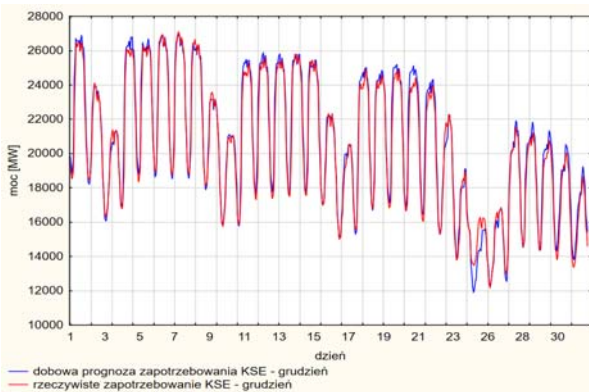


Rys. 12. Przebiegi rzeczywistego zapotrzebowania na moc elektryczną w KSE dla miesiąca lipca i grudnia 2023 roku

Na rysunku 13 przedstawiono przebiegi dobowej prognozy zapotrzebowania mocy KSE i rzeczywistego zapotrzebowania dla miesiąca, natomiast na rysunku 14 dla miesiąca grudnia.



Rys. 13. Przebiegi dobowej prognozy zapotrzebowania i rzeczywistego zapotrzebowania na moc elektryczną w KSE w lipcu 2023 roku



Rys. 14. Przebiegi dobowej prognozy zapotrzebowania i rzeczywistego zapotrzebowania na moc elektryczną w KSE w grudniu 2023 roku

Podstawowym celem analizy szeregów czasowych jest uzyskanie możliwości prognozowania przebiegu rozważanej zmiennej lub zmiennych. Szeregi czasowe, które obserwujemy w praktyce, są realizacjami pewnych procesów stochastycznych [1,4,9,10]. Najczęściej szereg czasowy jest próbą z procesu stochastycznego.

Wybór metody analizy szeregu czasowego jest najczęściej zdeterminowany jednostką czasu, według której mierzono dane zjawisko (daną zmienną lub zmiennę). Typowe elementy składowe procesu generującego szereg to trend, wahania okresowe, interwencje w proces (najczęściej nagłe zmiany spowodowane czynnikami

zewnętrznymi) oraz wahania losowe (zakłócenia przypadkowe).

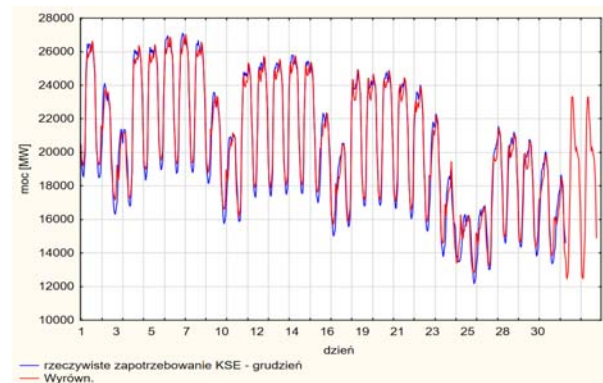
W toku budowy modelu szeregu czasowego można traktować szereg czasowy całościowo i próbować od razu modelować wszystkie jego składowe – co wykorzystane zostało w niniejszym artykule. Przykładem takiego podejścia jest wyrównywanie wykładnicze. Rozważane dane dotyczące dobowej prognozy zapotrzebowania mocy KSE i rzeczywistego zapotrzebowania mocy KSE obejmują okres całego roku 2023 i są to dane godzinowe. Na rysunkach 11-14 wyraźnie widać wahania okresowe o okresie 7, czyli wahania tygodniowe [2].

Analizę przeprowadzono w programie Statistica z wykorzystaniem opcji *Wyrównywanie wykładnicze i prognozowanie* w module *Analiza szeregów czasowych i prognozowanie*.

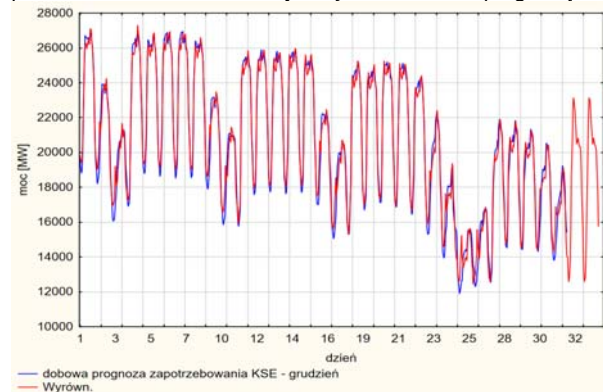
Podstawową metodę wyrównywania wykładniczego zapisać można przy pomocy równania:

$$(1) \quad y_{t+1}^P = \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot y_t^P$$

gdzie: y_t^P jest prognozą szeregu czasowego na okres t , α – jest stałą wygładzania z przedziału (0,1).



Rys. 15. Przebieg rzeczywistego zapotrzebowania na moc elektryczną w KSE dla miesiąca grudnia 2023 roku i przebieg szeregu z wyrównywaniem wykładniczym rzeczywistego zapotrzebowania na moc elektryczną w KSE wraz z prognozą



Rys. 16. Przebieg dobowej prognozy zapotrzebowania na moc elektryczną w KSE dla miesiąca grudnia 2023 roku i przebieg szeregu z wyrównywaniem wykładniczym dobowej prognozy zapotrzebowania na moc elektryczną w KSE wraz z prognozą

Zgodnie z zależnością (1) aby wyznaczyć prognozę na kolejny okres, należy wziąć kombinację liniową ostatniej obserwacji oraz poprzedniej prognozy [2,17].

Na rysunku 15 przedstawiono przebieg rzeczywistego zapotrzebowania na moc elektryczną w KSE dla miesiąca grudnia 2023 roku i przebieg szeregu z wyrównywaniem wykładniczym rzeczywistego zapotrzebowania na moc elektryczną w KSE wraz z prognozą. Na rysunku 16 przedstawiono przebieg dobowej prognozy zapotrzebowania KSE.

Szereg wygładzony dobrze pasuje do danych empirycznych. Średni bezwzględny błąd procentowy (MAPE) wynosi 1,69% dla dobowej prognozy zapotrzebowania KSE i 1,71% dla rzeczywistego zapotrzebowania KSE. Wyniki przedstawiono w tabeli 4 i tabeli 5.

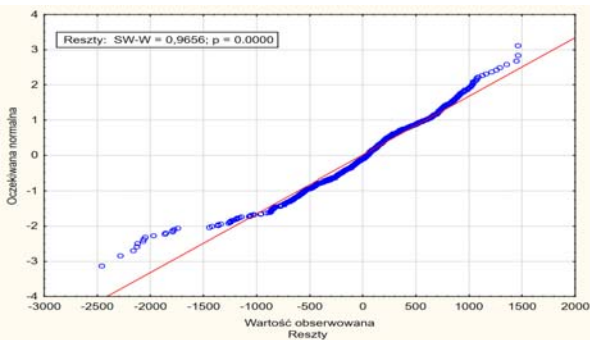
Wykres normalności składnika resztowego (Rys. 17) również świadczy o dobrym dopasowaniu modelu teoretycznego szeregu czasowego do danych empirycznych. Składnik resztowy ma rozkład normalny o czym świadczy wartość prawdopodobieństwa testowego p (p < 0,05) w teście normalności W Shapiro-Wilka.

Tabela 4. Wyniki błędów dla wyrównywania wykładniczego dla dobowej prognozy zapotrzebowania KSE

Podsumowanie błędu	Wyrówn. wykł.: Addytyw. sezon. (24) S0=142E2 T0=1,488 (Dane_KSE_2023) Trend gasnący add.sezon.; Alfa=,715 Delta=1,00 Fi=,172 dobowa prognoza zapotrzebowania KSE
	Błąd
Błąd śred.	4,58E-01
Średni błąd bezwzględny	3,10E+02
Suma kwadratów	1,59E+09
Średni kwad.	1,82E+05
Średni błąd procent.	-5,27E-02
Średni bezw. błąd proc	1,69E+00

Tabela 5. Wyniki błędów dla wyrównywania wykładniczego dla rzeczywistego zapotrzebowania KSE

Podsumowanie błędu	Wyrówn. wykł.: Addytyw. sezon. (24) S0=138E2 T0=1,290 (Dane_KSE_2023) Trend gasnący add.sezon.; Alfa=,715 Delta=1,00 Fi=,184 rzeczywiste zapotrzebowanie KSE
	Błąd
Błąd śred.	4,58E-01
Średni błąd bezwzględny	3,10E+02
Suma kwadratów	1,53E+09
Średni kwad.	1,75E+05
Średni błąd procent.	-5,47E-02
Średni bezw. błąd proc	1,71E+00



Rys.17. Wykres normalności składnika resztowego i wartości statystyki testowej Shapiro-Wilka oraz wartości prawdopodobieństwa testowego

Uwagi końcowe

Prognozowanie krótkoterminowego zapotrzebowania na moc elektryczną w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym (KSE), zwłaszcza w horyzoncie następnej doby, ma istotne znaczenie dla zapewnienia jego bezpiecznego funkcjonowania, a w konsekwencji dla ciągłości dostaw energii elektrycznej do odbiorców. Ważnym aspektem prawidłowego funkcjonowania KSE w horyzoncie krótkoterminowym jest wyznaczenie ekstremów poboru mocy, zarówno w szczycie, jak i dolinie zapotrzebowania. Poszukiwanie nowych rozwiązań z dziedziny prognozowania funkcjonowania sieci przesyłowej w aspekcie rozwoju metod i narzędzi ma kluczowe

znaczenie dla utrzymania bezpieczeństwa funkcjonowania KSE. Dodatkowymi czynnikami wpływającymi na wielkość zapotrzebowania na moc elektryczną w KSE są również: rozwój technologii wytwarzania i magazynowania energii, nowe technologie prosumenckie oraz zwiększająca elektromobilność. Aspekty te potwierdzają zasadność zapewnienia stosownego reagowania na zmianę kształtu poboru energii oraz prognozowanie zapotrzebowania na moc elektryczną z zapewnieniem jak największej skuteczności. Wykorzystanie programów komputerowych i narzędzi do prognozowania może przyczynić się do zwiększenia niezawodności funkcjonowania KSE i być elementem prawidłowego zarządzania strategicznego w energetyce.

Autor: dr inż. Wiesława Malska, Politechnika Rzeszowska, Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki, ul. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, E-mail: wmalaska@prz.edu.pl;

LITERATURA

- [1] Sokołowski A.: Analiza szeregów czasowych i prognozowanie, Statistica w badaniach naukowych i nauczaniu statystyki, StatSoft, Kraków, (2010).
- [2] <https://www.pse.pl/dane-systemowe/funkcjonowanie-kse/raporty-dobowe-z-pracy-kse/zapotrzebowanie-mocy-kse>
- [3] Kamiński J.: Power Generation And Capacity Planning Modules For Global Energy Sector Models, *Rynek Energii*, Str. 113-118 (2011).
- <https://www.pse.pl/dane-systemowe/funkcjonowanie-kse/raporty-dobowe-z-pracy-kse/zapotrzebowanie-mocy-kse>
- [4] Łyp J.: Problematyka prognozowania zapotrzebowania na letnią moc szczytową krajowego systemu elektroenergetycznego, XIII Międzynarodowa Konferencja Naukowa *Prognozowanie w Elektroenergetyce*, Podlesice 6 - 8 kwietnia, (2016).
- [5] Marchel P., Paska J.: Wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną w lecie a niezawodność zasilania odbiorców, *Rynek Energii Elektrycznej - Bezpieczeństwo energetyczne Polski, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej*, Lublin, Str. 74 – 78, (2016).
- [6] Sowiński J.: Temperatura powietrza jako dodatkowa zmienna egzogeniczna w krótkoterminowym prognozowaniu modelem ANFIS obciążeń w podsystemie elektroenergetycznym, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 97 NR 1, (2021).
- [7] Santra A.S., Lin J.-L.: Integrating Long Short-Term Memory and Genetic Algorithm for Short-Term Load Forecasting, *Energies*, 12, (2019).
- [8] Park R.-J., Song K.-B., Kwon B.-S.: Short-Term Load Forecasting Algorithm Using a Similar Day Selection Method Based on Reinforcement Learning, *Energies*, 13, (2020).
- [9] Zeliaś A.: Teoria prognozy, PWE, Wrocław, (1997).
- [10] Pietrzak M., Samotyjak T.: Koncepcja prognozowania bilansu mocy elektrycznej na potrzeby sektora energetyki, *Rynek Energii*, Nr 5, str. 12-16, (2023).
- [11] Marzecki J.: Metody prognozowania obciążeń terenowych stacji SN/nn, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 93, nr 4, s. 26-29 (2017).
- [12] Marzecki J., Saganek D.: Modelowanie obciążeń szczytowych w większych sieciach elektroenergetycznych, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 86, nr 12, str. 239-242, (2010).
- [13] Marzecki J., Drab M.: Obciążenia i rozprawy mocy w sieci terenowej średniego napięcia – problemy wybrane, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 91, nr 2, s. 192-195 (2015).
- [14] Parol M., Piotrowski P.: Metoda prognozowania wieloletniego rocznego zapotrzebowania na energię elektryczną w spółkach dystrybucyjnych, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 86, nr 8, s. 182-186 (2010).
- [15] Piotrowski P.: Prognozowanie w elektroenergetyce w różnych horyzontach czasowych, *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa, (2013).
- [16] Dołęga W.: Ocena krajowego technicznego poziomu bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej, *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, nr 111, str. 65-79, (2023)
- [17] Klóska R., Hundert M., Czyżycki R.: Wybrane zagadnienia z prognozowania, *Wydawnictwo Economicus*, Szczecin (2007).