

## Wpływ zmienności temperatury na zapotrzebowanie na moc elektryczną w Polsce w latach 2002-2015

**Streszczenie.** Zmiana bądź zmienność klimatu jest jednym z czynników kształtujących przebieg zapotrzebowania na energię. Temperatura jest tutaj postrzegana jako czynnik o największym wpływie oraz znaczeniu w prognozowaniu popytu na energię. Przeprowadzona analiza wskazuje, że przebieg zapotrzebowania na energię elektryczną w Polsce powoli się zmienia a wpływ dni cieplejszych zaczyna być coraz wyraźniej dostrzegalny.

**Abstract.** Climate change/variability is one of the factors that affects the pattern of electrical energy consumption. Where the temperature is perceived as dominant and of crucial role in demand forecasting. Conducted analysis shows that energy demand pattern in Poland is slowly changing, and the impact of warmer days becomes more distinguishable. (Variation in the temperature impact on the power demand in Poland over the years 2002-2015).

**Słowa kluczowe:** zmiana klimatu, zmienność zapotrzebowania, system energetyczny.

**Keywords:** climate change, demand variability, power system.

### Wstęp

Wzrost temperatury powoduje zazwyczaj spadek zapotrzebowania na nośniki energii w postaci: gazu, oleju opałowego czy węgla [1]. Jednak w wypadku energii elektrycznej obserwowany efekt nie jest jednoznaczny i popyt na nią może wzrosnąć zarówno w wypadku wyższych temperatur (na potrzeby chłodzenia) oraz niższych, gdy konieczne jest dogrzewanie pomieszczeń. Tym samym wpływ temperatury na popyt na energię elektryczną przyjmuje charakter nieliniowy. W celu lepszego zrozumienia tej zależności warto posłużyć się przedstawioną przez [2] klasyfikacją:

- kraje w zimnej i ciepłej strefie klimatycznej – zmienność geograficzna;
- sezonowe wahania temperatury – zmienność sezonowa;
- rodzaj wykorzystywanych paliw – zmienność dostępności źródeł energii;
- poziom dochodu – zmienność poziomu dochodu.

Dla krajów znajdujących się w ciepłej strefie klimatycznej oczekuje się, iż w lecie współczynnik korelacji pomiędzy temperaturą a zapotrzebowaniem na energię będzie dodatni. W pozostałych winien być ujemny. Jeśli dany obszar jest w strefie klimatu umiarkowanego, zależność ta w lecie powinna znajdować się w przedziale ujemny-nieznaczący.

Ostatni z wymienionych podpunktów odnosi się do sytuacji, w której średni dochód społeczeństwa pozwoli dostosować się do występujących zmian klimatycznych. Sytuację tą obserwujemy na przykład w wypadku klimatyzatorów, na które popyt ma względnie wysoką elastyczność dochodową. Jest to szczególnie istotne, ponieważ jak podaje [3] 1°C wzrost temperatury np. w wypadku Grecji oznaczać będzie 10% spadek zużycia energii elektrycznej na ogrzewanie oraz 28.4% wzrost na skutek wzmoczonego wykorzystania klimatyzacji.

Celem poniższego badania było zbadanie zmienności wpływu temperatury na kształtowanie się zapotrzebowania na moc elektryczną w wybranym okresie oraz określenie przyszłych kierunków tych zmian.

### Kontekst literaturowy

Prognozowanie zapotrzebowania na energię elektryczną jest kluczowe zarówno z punktu widzenia działań doraźnych związanych z planowaniem operacyjnym jak i strategicznym, gdzie podejmowane są decyzje dotyczące budowy nowych bloków energetycznych czy też sieci

przesyłowych. W literaturze znajdujemy liczne prace analizujące wpływ różnych czynników zewnętrznnych na kształtowanie popytu na energię elektryczną.

W artykule [3] z roku 1999 dokonano oceny wpływu zmienności klimatu oraz ekstremalnych zjawisk pogodowych na zapotrzebowanie na energię dla 9 lokalizacji w Kanadzie. Wyniki analizy wskazują, iż wysokim temperaturom będzie towarzyszyć wzrost zużycia energii elektrycznej. Podobną analizę wykonano dla czterech stacji pomiarowych w Hiszpanii [4]. Ze względu na klimat, dużą rolę w Hiszpanii odgrywają urządzenia chłodnicze, a nieliniowość zależności temperatura-zapotrzebowanie na moc jest znacznie wyraźniejsza niż ma to miejsce obecnie w Polsce (zobacz rysunek 2). Wyniki badania przeprowadzonego dla Irlandii [5] wskazują jednoznacznie, iż popyt na energię elektryczną w wypadku gospodarstw domowych jest wrażliwy na zmiany klimatyczne. Projekcje wybiegające w czasie do lat 2030 oraz 2080 wskazują na 15% i 23% spadek zapotrzebowania na energię elektryczną w okresie zimowym w storunku do roku 2005. Jednocześnie w analizach przeprowadzonych dla Tajwanu [6] stwierdzono, iż 5°C wzrost temperatury prowadzi do 22% skoku zapotrzebowania na energię elektryczną. Z punktu widzenia literatury krajowej w szczególności należy zwrócić uwagę na prace [7,8,9], gdzie dokonano kompleksowej oceny wpływu czynników atmosferycznych na kształtowanie się zapotrzebowania na energię elektryczną. Resumując, w literaturze coraz częściej podkreśla się rosnącą rolę wpływu zmienności klimatu na sytuację na rynku energii.

### Metoda i dane

Uśredniony szereg czasowy odzwierciedlający zmiany temperatury w Polsce z krokiem czasowym wynoszącym 15 minut w latach 2002-2015 stworzono bazując na siatce 160 wybranych punktów, rozmieszczonych równomiernie na powierzchni Polski. Dla każdego z tych punktów pozyskano charakterystyczne szeregi czasowe temperatury pochodzące z pomiarów satelitarnych (MERRA – Modern Era Retrospective analysis for Research and Application <http://www.soda-pro.com/>). Dane te aktualizowane są z miesięczny opóźnieniem od roku 1985 i są dostępne dla każdego punktu na kuli ziemskiej, przy czym przestrzenna rozdzielczość ograniczona jest do 50 kilometrów, a najkrótszy krok czasowy wynosi 1 minutę. Za wykorzystaniem danych satelitarnych przemawia ich wysokie skorelowanie i niewielkie odchylenia względem pomiarów prowadzonych przez IMGW (dla stacji Toruń-

Wrzosa uzyskano wartość współczynnika korelacji 0,986 i różnicę pomiędzy średnimi wieloletnimi równą  $0,1^{\circ}\text{C}$  oraz wysoka rozdzielczość czasowa. Szereg czasowy zapotrzebowania na moc elektryczną obejmujący lata 2002-2015 z krokiem czasowym 15 minut pozyskano z strony internetowej Polskich Sieci Przesyłowych (PSE <http://www.pse.pl/>). Dane dotyczące zużycia energii w poszczególnych regionach Polski nie były dostępne, stąd też konieczność posłużenia się wartościami zaagregowanymi, obejmującymi sektor: przemysłowy, gospodarstw domowych oraz usług.

Ponieważ zapotrzebowanie na energię wykazuje sezonowość dobową, tygodniową oraz roczną, wstępną analizę przeprowadzono dla różnych przedziałów czasu. W pierwszym etapie badania obliczono wartość współczynnika korelacji pomiędzy temperaturą a zapotrzebowaniem na energię, dla różnych kroków czasowych. Dla kroku dłuższego niż kwadrans posłużono się wartościami średnimi. Dalszą analizę przeprowadzono w oparciu o założenie, iż istnieje wartość temperatury, dla której zmianie ulegają zachowania konsumentów. Posłużono się w tym wypadku tzw. pojęciem stopniodni grzania oraz chłodzenia. Rozwinięcie tego zagadnienia można znaleźć między innymi w pracach [10, 11, 12]. Na potrzeby artykułu należy uściślić, iż za temperaturę bazową dla obliczenia stopniodni grzania oraz chłodzenia przyjęto  $15^{\circ}\text{C}$ . Zgodnie z metodą przedstawioną w [12], obliczenia przeprowadzono dla średnich wartości dobowych. Na podstawie przyjętej wartości bazowej (granicznej) temperatury wynoszącej  $15^{\circ}\text{C}$  dokonano podziału zbioru temperatur oraz zapotrzebowania na moc na dwa podzbiory. Jeden reprezentujący sytuację gdy potencjalnie wystąpiła konieczność grzania (temperatura  $\leq 15^{\circ}\text{C}$ ), a drugie gdy zastosowanoby chłodzenie (temperatura  $> 15^{\circ}\text{C}$ ). Analizę uzyskanych wyników przeprowadzono w oparciu o wykresy rozproszenia.

## Dyskusja wyników

Zgodnie z przedstawionym we wcześniejszej sekcji podejściem, obliczono wartości współczynnika korelacji, które następnie zebrano i przedstawiono w tabeli 1. Wartości poniżej 0,5 należy uznać za korelację słabą, nie stanowiącą przesłanek do dalszej analizy. Największe wartości współczynnika korelacji ujemnej zaobserwowano dla kroku czasowego wynoszącego dobę oraz miesiąc. Odpowiednio -0,564 oraz -0,776. Uwzględniając tylko wartości temperatury oraz nasłonecznienia w godzinach dziennych obserwowane wartości współczynników korelacji były mniejsze o 9% oraz 4%. Ujemna wartość współczynnika korelacji oznacza w tym wypadku, iż wraz z rosnącymi temperaturami maleje zapotrzebowanie na energię elektryczną. Równoznaczne jest to stwierdzeniu, iż spadek temperatury prowadzi do wzrostu zużycia energii elektrycznej. Siła tej zależności dla każdego roku, kształtuje się na innym poziomie. Zależy ona zarówno od temperatury powietrza, zmieniających się standardów wykończenia budynków oraz zapotrzebowania na chłodzenie/klimatyzację – rosnąca liczba biurowców [13].

Na rysunku przedstawiono zmiany średniej rocznej wartości współczynnika korelacji pomiędzy średnią miesięczną temperaturą a zapotrzebowaniem na moc elektryczną w latach 2002-2015. Podobnie jak przy obliczeniach w tabeli 1 dokonano rozróżnienia na wartości obejmujące: całą dobę oraz przedział czasu od wschodu do zachodu Słońca. W obu wypadkach zaobserwowano rosnący, liniowy trend. W pierwszym można opisać go równaniem  $y=0,0053x - 11,55$ , natomiast w drugim  $y=0,0061x-13,1$ . Współczynniki determinacji dla przedstawionych równań wynoszą odpowiednio 0,52 oraz

0,56. W wypadku temperatury rosnący trend jest znacznie wyraźniejszy i można go opisać równaniem  $y=0,064x-120,08$ , dla którego współczynnik determinacji  $R^2=0,12$ . Niewielkie wartości  $R^2$  są rezultatem zmienności klimatu (jak i innych czynników kształtujących popyt na energię elektryczną), który oscyluje wokół długookresowej średniej [14]. W wypadku zmienności przedstawionej na rysunku 1, na szczególną uwagę zasługują wartości zaobserwowane w latach: 2007, 2010 oraz po roku 2012. W roku 2007 mimo, iż średnia temperatura była wyższa niż w poprzednich pięciu latach, nie zaobserwowano spadku współczynnika korelacji pomiędzy temperaturą a zapotrzebowaniem na moc - zarówno dla wartości, które obliczono w oparciu o wartości całodobowe oraz te zaobserwowane w ciągu dnia. Analiza średniorocznego zapotrzebowania na moc do roku 2006 wskazywała tendencję rosnącą, w latach 2007-2008 utrzymywało się ono na stałym poziomie (średnio 17,5 GW), natomiast w roku 2009 nastąpił spadek średniego zapotrzebowania. Od roku 2012 wartość współczynnika korelacji zaczyna systematycznie maleć. Spadek ten jest silniejszy, jeśli pod uwagę wzięte zostaną godziny dzienne.

Ponieważ przedstawione wartości na rysunku 1 nie pozwalają wyciągnąć jednoznacznych wniosków, dalszą analizę przeprowadzono w sposób bardziej szczegółowy. Rysunek 2 przedstawia 8 wykresów rozrzutu, które ukazują wzajemną zależność pomiędzy temperaturą a zapotrzebowaniem na moc. W tytule wykresu, podano wartość średnią temperatury oraz zapotrzebowania na moc w wybranym roku. Dodatkowo dokonano rozróżnienia na dni robocze oraz świąteczne (łącznie z sobotami i niedzielami). Jak widać, na wykresach pojawiają się pojedyncze elementy odstające – dotyczą one najczęściej dni roboczych, które wystąpiły pomiędzy dniami świątecznymi, jak i poniedziałków, które w gospodarce można uznać za robocze. Jak wcześniej wspomniano za temperaturę bazową, pozwalającą na rozróżnienie pomiędzy dniami, gdy potencjalnie energia elektryczna może być wykorzystywana na cele grzewcze oraz gdy wzrasta jej zużycie na potrzeby chłodzenia, przyjęto  $15^{\circ}\text{C}$ . Na wykresach temperaturę tą oznaczono pionową przerywaną linią. Z analizy przedstawionych wykresów rozrzutu można wywnioskować:

- w przedziale temperatur ( $-20^{\circ}\text{C}; 15^{\circ}\text{C}$ ) obserwuje się wzrost zapotrzebowania na moc wraz z spadkiem temperatury a zależność tą można przedstawić w postaci równania liniowego;
- na przestrzeni lat 2002-2015 wartość współczynnika dopasowania trendu liniowego uległa zmniejszeniu z poziomu 0,846 do 0,49 w wypadku dni roboczych oraz z 0,69 do 0,19 w dni świąteczne. Jest to jednoznaczne z coraz częstszym występowaniem sytuacji gdy energia elektryczna wykorzystywana jest na potrzeby chłodzenia;
- po przekroczeniu temperatury  $15^{\circ}\text{C}$  nie obserwuje się w latach 2002 oraz 2006 dalszego wyraźnego spadku zapotrzebowania na moc elektryczną. Dla odróżnienia w latach 2010 i 2015 zapotrzebowanie to zaczyna rosnąć.

W związku z zauważoną zmianą relacji temperatura-zapotrzebowanie na moc, w okolicach temperatury wynoszącej  $15^{\circ}\text{C}$  wyznaczono równania liniowe opisujące te zależności dla dwóch przedziałów temperatur. Przedziały, równania oraz współczynniki determinacji dla kolejnych lat przedstawiono w tabeli 2. Otrzymane wyniki np. dla roku 2015 należy interpretować następująco: jeżeli dzisiaj wartość temperatury jest poniżej  $15^{\circ}\text{C}$ , a prognozowana jest niższa o jeden stopień to należy spodziewać się wzrostu średniego zapotrzebowania na moc o 139 MW. Na uwagę zasługuje fakt, iż od roku 2010 obserwowany jest również wzrost zapotrzebowania na moc, jeśli temperatury przekroczą  $15^{\circ}\text{C}$  – w roku 2015 każdy

kolejny stopień powyżej temperatury bazowej oznaczał wzrost popytu o 46MW. W pojedynczych latach 2005-2007 oraz 2009 ta zależność nie wystąpiła. W analizie główny nacisk położono na wartość współczynnika kierunkowego prostej, w celu wskazania na istnienie ogólnej zależności. Stąd wartości  $R^2$  w wypadku równań dla temperatur  $> 15^\circ\text{C}$  pozostają na poziomie co najmniej niezadowalającym. Należy zaznaczyć, iż lepsze dopasowanie uzyskano poprzez zastosowanie linii trendu w postaci wielomianowej.

Uzyskane wyniki mają zarówno znaczenie teoretyczne jak i praktyczne. Należy zauważyć, że w prognozowaniu zapotrzebowania na energię często wykorzystuje się właśnie parametry meteorologiczne. Odpowiedzialne są one za wyjaśnienie częściowo obserwowanej zmienności. Rezultaty tego badania posłużą do rozbudowy modelu zaproponowanego w pracy [15], gdzie wykorzystano model hybrydowy łączący sztuczne sieci neuronowe (SSN) oraz transformację falkową. SSN jak wskazuje [16] są jednym z częściej wykorzystywanych w literaturze podejść do prognozowania i stanowią bazę dla wielu współczesnych metod prognozowania zjawisk gospodarczych.

Rosnący popyt na energię elektryczną w wyniku wystąpienia wysokich temperatur jest zjawiskiem niekorzystnym. Sytuację tę można było bardzo wyraźnie zaobserwować w sierpniu 2015, kiedy to wysokie temperatury spowodowały częściową niewydolność systemu elektroenergetycznego. Wynikała ona po części ze wzrostu temperatury wody w obiegach chłodniczych elektrowni ciepłych, co doprowadziło do spadku ich sprawności. Jeżeli w kolejnych latach rosnąca temperatura będzie prowadziła do wzrostu zużycia energii elektrycznej, w systemie energetycznym konieczne stanie się wykorzystanie źródeł energii mniej wrażliwych na wysokie temperatury. Ponieważ wysokim temperaturom z reguły towarzyszą znaczne wartości nasłonecznienia, jednym z perspektywicznych rozwiązań wydaje się być wykorzystanie instalacji fotowoltaicznych (PV), które mogłyby pokrywać zapotrzebowanie generowane przez klimatyzatory. W

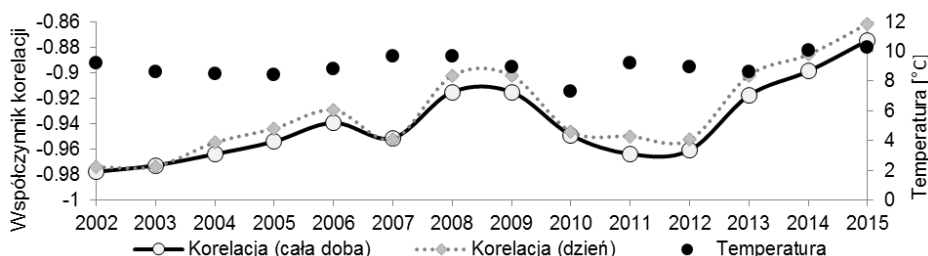
szczególności, w przypadku nowoprojektowanych biurowców powinny być zastosowane systemy PV, gdzie możliwe byłoby zastosowanie rozwiązań w postaci BIPV (ang. Building Integrated Photovoltaics), czyli fotowoltaiki zintegrowanej z budynkiem. Ponieważ w wielu wypadkach klimatyzacja/wentylacja wykorzystywana jest przez cały rok, tak powstające zapotrzebowanie można pokrywać wykorzystując tak zwane układy hybrydowe, co opisano w pracy [17] oraz dodatnie skorelowanie zapotrzebowania na moc z wartościami nasłonecznienia we wczesnych godzinach doby [18].

Tabla 1. Zależność pomiędzy temperaturą a mocą 2002-2015

Krok czasowy	Współczynnik korelacji	
	Cała doba	Dzień
15 minut	-0,285	-0,328
1 godzina	-0,286	-0,337
1 dzień	-0,564	-0,518
1 miesiąc	-0,776	-0,746
1 rok	0,193	0,309

Tabla 2. Zależność pomiędzy temperaturą a mocą 2002-2015

Rok	Temp $\leq 15^\circ\text{C}$		Temp $> 15^\circ\text{C}$	
	Równanie	$R^2$	Równanie	$R^2$
2002	$y = -0,171x + 18,01$	0,704	$y = 0,026x + 13,64$	0,020
2003	$y = -0,177x + 18,30$	0,706	$y = 0,009x + 14,67$	0,004
2004	$y = -0,176x + 18,62$	0,752	$y = 0,001x + 15,42$	0,000
2005	$y = -0,177x + 18,75$	0,680	$y = -0,004x + 15,66$	0,000
2006	$y = -0,161x + 19,22$	0,675	$y = -0,008x + 16,56$	0,003
2007	$y = -0,184x + 19,98$	0,562	$y = -0,000x + 16,89$	0,000
2008	$y = -0,150x + 19,83$	0,482	$y = 0,018x + 16,75$	0,011
2009	$y = -0,179x + 19,19$	0,649	$y = -0,011x + 16,75$	0,003
2010	$y = -0,146x + 19,52$	0,781	$y = 0,060x + 15,91$	0,161
2011	$y = -0,159x + 20,09$	0,649	$y = 0,008x + 17,49$	0,002
2012	$y = -0,154x + 20,11$	0,729	$y = 0,040x + 16,74$	0,039
2013	$y = -0,137x + 20,09$	0,566	$y = 0,062x + 16,60$	0,139
2014	$y = -0,151x + 20,46$	0,615	$y = 0,050x + 17,22$	0,086
2015	$y = -0,139x + 20,61$	0,465	$y = 0,046x + 17,61$	0,102

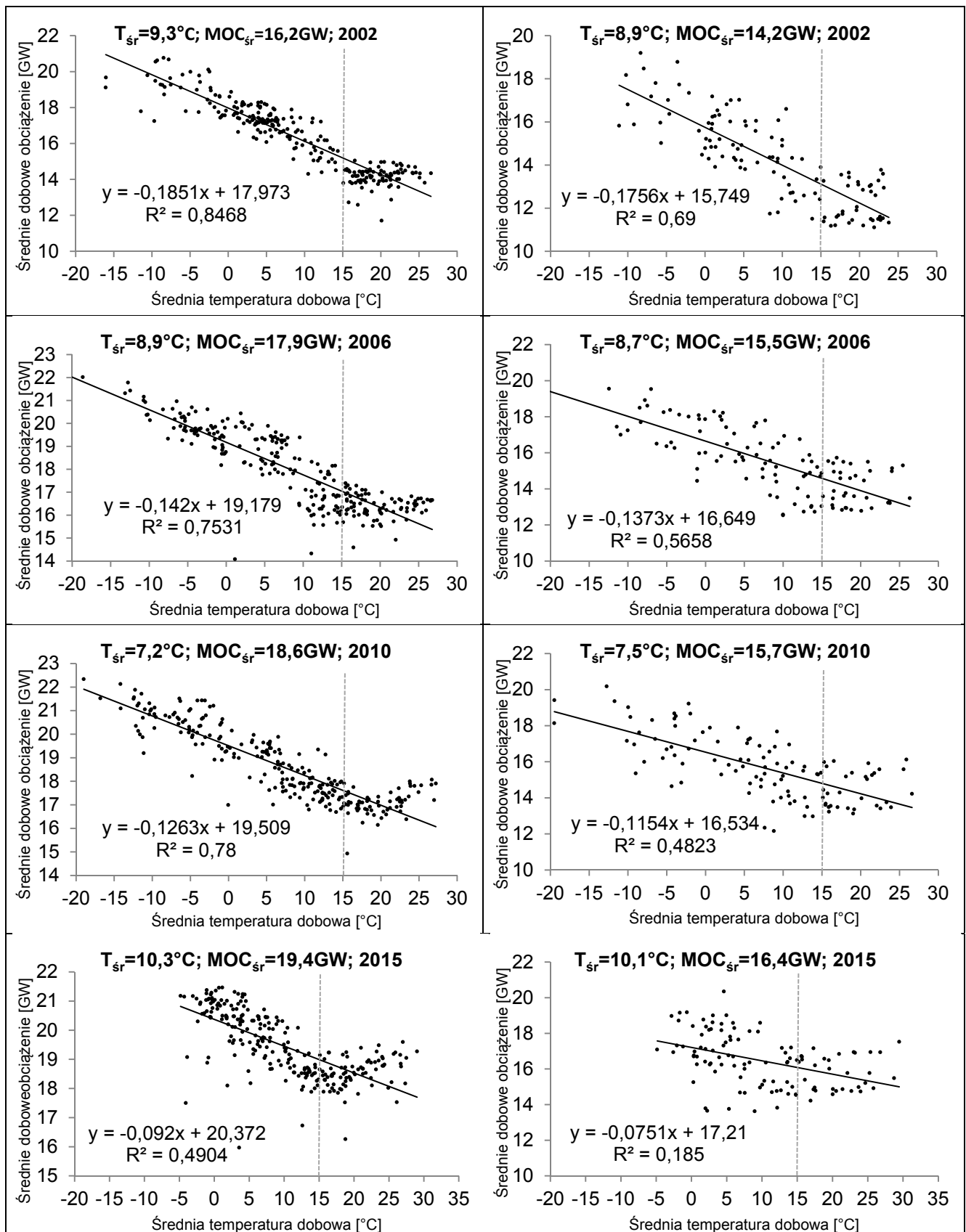


Rys.1. Współczynnik korelacji pomiędzy temperaturą i zapotrzebowaniem na moc – dla kroku czasowego wynoszącego jeden miesiąc. Wartości miesięczne obliczono w oparciu o obserwacje godzinowe

## Podsumowanie

Zapotrzebowanie na energię elektryczną kształtowane jest przez szereg czynników zewnętrznych. Szczególną rolę odgrywają te związane z sytuacją ekonomiczną, porą dnia czy roku oraz warunkami meteorologicznymi. W pracy zbadano zależność pomiędzy zapotrzebowaniem na moc a średnią dobową temperaturą. Drugi parametr obliczono na podstawie uśrednionych pomiarów satelitarnych. Uzyskane wyniki wskazują na rosnący trend zapotrzebowania na energię elektryczną oraz następującą zmianę profilu obciążenia. Zobserwowana zależność pomiędzy tymi zmiennymi ma w określonych przedziałach charakter

liniowy. Średnie temperatury w Polsce w analizowanym okresie wykazały nieznaczny trend rosnący. Jednocześnie rozwój gospodarczy prowadzi do coraz powszechniejszego wykorzystania urządzeń klimatyzujących oraz chłodniczych. W rezultacie obserwuje się spadek silnie ujemnej korelacji pomiędzy zapotrzebowaniem na energię elektryczną a temperaturą w ujęciu rocznym. Przeprowadzone badanie nie wyczerpało w pełni wszystkich zagadnień związanych z kształtowaniem się popytu na energię elektryczną. W przyszłych pracach planuje się uwzględnienie wpływu instalacji PV na kształt krajowej krzywej zapotrzebowania na energię elektryczną.



Rys. 2. Wykresy rozrzutu temperatury i zapotrzebowania na moc, uwzględniając dni robocze (lewa kolumna) oraz świąteczne (prawa kolumna). Linia przerywana oznacza temperaturę bazową dla rozróżnienia dnia z wymaganym ogrzewaniem lub chłodzeniem

**Authorzy:** mgr inż. Jakub Jurasz. AGH w Krakowie. Wydział Zarządzania. Katedra Inżynierii Zarządzania. ul. Gramatyka 10. 30-067 Kraków. E-mail: [jakubkamilijurasz@gmail.com](mailto:jakubkamilijurasz@gmail.com); dr hab. inż. Jerzy Mikulik Professor AGH. Katedra Inżynierii Zarządzania. ul.

Gramatyka 10. 30-067 Kraków. E-mail: [jmikulik@zarz.agh.edu.pl](mailto:jmikulik@zarz.agh.edu.pl)  
mgr Adam Piasecki. Wydział Zarządzania. Katedra Ekonomii, Finansów i Zarządzania Środowiskiem. ul. Gramatyka 10. 30-067 Kraków E-mail: [adm.piasecki@gmail.com](mailto:adm.piasecki@gmail.com).

## LITERATURA

- [1] C. Cartalis, A. Synodinou, M. Proedrou, A. Tsangrassoulis and M. Santamouris, Modifications in Energy Demand in Urban Areas as a Result of Climate Changes: An Assessment for the Southeast Mediterranean Region, Energy Conversion and Management, Vol. 42, No. 14, 2001, pp. 1647-1656.
- [2] De Cian, Enrica, Elisa Lanzi, and Roberto Roson. The impact of temperature change on energy demand: a dynamic panel analysis. (2007) Fondazione Eni Enrico Mattei.
- [3] Colombo, A. F., Etkin, D., & Karney, B. W. (1999). Climate variability and the frequency of extreme temperature events for nine sites across Canada: implications for power usage. *Journal of Climate*, 12(8), 2490-2502.
- [4] Valor, E., Meneu, V., & Caselles, V. (2001). Daily air temperature and electricity load in Spain. *Journal of applied Meteorology*, 40(8), 1413-1421.
- [5] Liu, X., & Sweeney, J. (2008, January). Impacts of Climate Change on Energy Demand in Greater Dublin Region, Ireland. In *The 20th Conference on Climate variability and Change, New Orleans, USA*.
- [6] Chen, C. S., Kang, M. S., Hwang, J. C., & Huang, C. W. (2001). Temperature effect to distribution system load profiles and feeder losses. *Power Systems, IEEE Transactions on*, 16(4), 916-921.
- [7] Popławski, T., Starczynowska, E., & Rusek, B. (2012). Wykorzystanie metody pojemności integralnych informacji Hellwiga do określenia wpływu czynników pogodowych na obciążenie w KSE. *Przegląd Elektrotechniczny*, 88, 138-141.
- [8] Popławski, T., Starczynowska, E., & Rusek, B. (2012). Wykorzystanie metody pojemności integralnych informacji Hellwiga do określenia wpływu czynników pogodowych na obciążenie w KSE. *Przegląd Elektrotechniczny*, 88, 138-141.
- [9] Łyp, J., Popławski, T., & Starczynowska, E. (2011). Kompleksowa analiza wpływu czynników meteorologicznych na zmienność obciążeń Krajowego Systemu Elektroenergetycznego. *Przegląd Elektrotechniczny*, 87, 97-100.
- [10] Dopke, Józef. Analiza korelacji sprzedaży gazu ziemnego dla odbiorców domowych, komercyjnych i przemysłowych względem liczby stopniodni grzania. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 12 (2007).
- [11] Day, T., Degree-days: theory and application. *The Chartered Institution of Building Services Engineers, London* 106 (2006).
- [12] ASHRAE: Energy estimating and modeling methods Ch. 31 in ASHRAE Handbook: Fundamentals (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). 2001.
- [13] Davis, L. W., & Gertler, P. J. (2015). Contribution of air conditioning adoption to future energy use under global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(19), 5962-5967.
- [14] Piechota, T. C., Garbrecht, J. D., & Schneider, J. M. (2006). Climate variability and climate change. *Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers, United States of America*, 3-18.
- [15] Jurasz, J., Mikulik J., Day ahead electric power load forecasting by WT-ANN. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2016, nr.4, 152-154
- [16] Tadeusiewicz R.: Potentials and problems underlying application of neuron networks for forecasting economic trends [In Polish: Możliwości i problemy wykorzystania sieci neuronowych w prognozowaniu procesów gospodarczych]. *Zeszyty Naukowe Akademii Ekonomicznej w Krakowie*, nr 493, 1997, pp. 5-18
- [17] Jurasz, J. Mikulik J., (2015) Solar & wind hybrid power source for residential building mathematical model approach, *Architecture, Civil Engineering, Environment*, 4:5-10.
- [18] Jakub Jurasz and Jerzy Mikulik, "Investigating Theoretical PV Energy Generation Patterns with Their Relation to the Power Load Curve in Poland," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2016, Article ID 3789840, 7 pages, 2016. doi:10.1155/2016/3789840