

**Zeszyty Naukowe**Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią  
Polskiej Akademii Nauk

rok 2019, nr 109, s. 123–136

DOI: 10.24425/znigsme.2019.130163

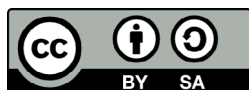
Bartosz SOBIK<sup>1</sup>

## Wykorzystanie fotowoltaiki jako źródła pokrywającego zapotrzebowanie szczytowe w okresie letnim w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym

Streszczenie: Nadrzędnym celem funkcjonowania Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE) jest zapewnienie bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej. W okresie letnim nasila się tendencja wzrostowa zapotrzebowania na energię elektryczną wywołana m.in. przez upowszechnienie klimatyzacji. W związku z tym należy spodziewać się utrzymania tendencji wzrostowej zapotrzebowania szczytowego w okresie letnim. Przykłady z lat 2015, 2016 czy 2018 wskazują, że KSE potrzebuje letniego źródła szczytowego, które będzie w stanie wytwarzać energię elektryczną niezależnie od sytuacji hydrologicznej. Fotowoltaika jest źródłem energii, które może pokryć zapotrzebowanie szczytowe w dni upalne. W niniejszym artykule pokrótce scharakteryzowano problem wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną w okresie letnim i posłużono się przykładami zdarzeń, które miały miejsce w ostatnich latach. Głównym wnioskiem jest postulat rozbudowy mocy fotowoltaicznych, którego celem będzie produkcja energii elektrycznej w dni upalne pokrywająca szczytowe obciążenie systemu. Przedstawiono zalety i wady takiego rozwiązania. Niekorzystne warunki atmosferyczne ograniczają produkcję energii elektrycznej z farm wiatrowych czy bloków konwencjonalnych, a także zwiększają straty w przesyłce, dlatego fotowoltaika jest pożądanym źródłem z punktu widzenia KSE. W artykule powołano się na przykłady z Czech i Niemiec, gdzie znaczna moc zainstalowana fotowoltaiki pozwala na stabilizowanie pracy systemu elektroenergetycznego w dni upalne. Wskazano także na wzrost roli fotowoltaiki w KSE, który jest zgodny z założeniami Projektu Polityki Energetycznej Polski do 2040 roku.

Słowa kluczowe: fotowoltaika, bezpieczeństwo energetyczne, Krajowy System Elektroenergetyczny, odnawialne źródła energii

<sup>1</sup> AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, KN Nova Energia, Kraków;  
ORCID iD: 0000-0001-8608-6746; e-mail: bartosz.s222@gmail.com



© 2019. Autorzy. Jest to artykuł udostępniany w otwartym dostępie zgodnie z warunkami licencji międzynarodowej Creative Commons Uznanie autorstwa – Na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowa (CC BY-SA 4.0, <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), która zezwala na używanie, dystrybucję i reprodukcję na dowolnym nośniku, pod warunkiem, że artykuł jest prawidłowo cytowany.

## **An analysis of photovoltaics as a source covering peak demand in the summer in the National Electric Power System**

**Abstract:** The overriding objective of the National Electric Power System (KSE) is to ensure the security of electricity supply. In summer, the upward trend in the demand for electric energy is caused by, among others, the proliferation of air conditioners. Therefore, the upward trend in summer's on-peak demand is expected to be maintained. Examples from 2015, 2016 or 2018 indicate that National Electric Power System needs a summer's on-peak source that will be able to produce electricity regardless of the hydrological conditions. Photovoltaics is a source of energy that can cover the peak demand during sweltering heat. This article briefly characterizes the problem of increasing demand for electricity in summer and uses examples that have taken place in recent years. The main conclusion is the postulate for the extension of photovoltaic power in the National Electric Power System, the purpose of which will be the production of electricity during sweltering heat, covering the peak load in the system. This article presented both the advantages and disadvantages of such a solution. Unfavorable weather conditions (high air temperature, low water level, lack of wind) limit the production of electricity from wind farms or conventional power plants, and also increase transmission losses, which is why photovoltaics is a desirable source from the National Electric Power System's point of view. The article refers to examples from the Czech Republic and Germany, where a significant installed capacity of photovoltaics enables the stable operation of the power system during sweltering heat. It was also pointed out that the role of photovoltaics in the National Electric Power System is growing, which is consistent with the assumptions of the Polish Energy Policy Project until 2040.

**Keywords:** photovoltaic, energy security, National Electric Power System, renewable sources of energy

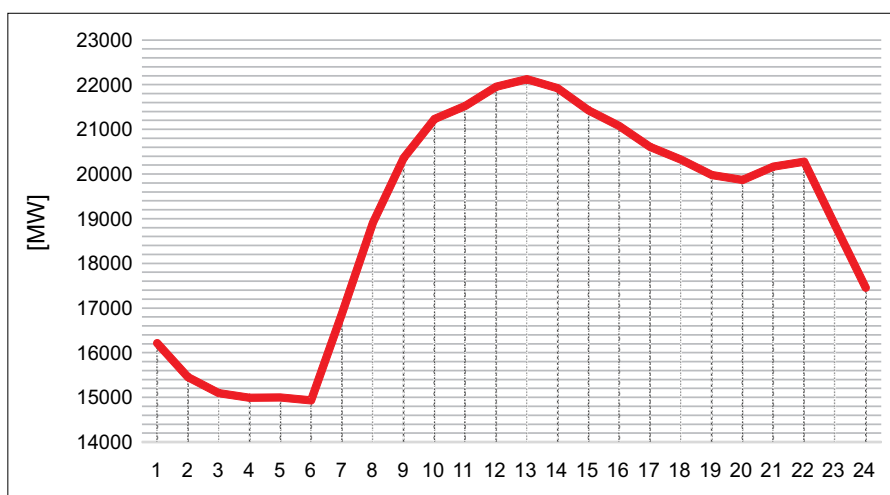
### **Wprowadzenie**

Zapewnienie bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej jest podstawowym celem funkcjonowania KSE. W ciągu ostatnich lat w czasie lata wystąpiły problemy z generacją energii elektrycznej i jej przesyłem, co w związku z tym doprowadziło do poważnych zdarzeń jak np. wprowadzenie najwyższego dwudziestego stopnia zasilania w sierpniu 2015 roku. Od tego czasu zrealizowano inwestycje mające na celu zmniejszenie skali problemu, jednak wciąż nie został on do końca rozwiązany. Celem niniejszej publikacji jest zaprezentowanie fotowoltaiki jako źródła pokrywającego zapotrzebowanie szczytowe w dni upalne. Aby poprzeć tę tezę wiarygodnymi informacjami, posłużono się przykładami z Czech i Niemiec, gdzie fotowoltaika z powodzeniem pokrywa zapotrzebowanie szczytowe w dni upalne. Omówiono aspekty klimatyczne, techniczne oraz efekty oddziaływania na KSE w okresie letnim. W związku z tym, że okresy letnie stają się coraz większym wyzwaniem dla niedoinwestowanego KSE, fotowoltaika może w przeciągu paru lat rozwiązać ten problem.

### **1. Charakterystyka funkcjonowania KSE w okresie letnim**

Na Krajowy System Elektroenergetyczny (KSE) składa się całokształt urządzeń wytwórczych, sieci przesyłowych i dystrybucyjnych zapewniających generację i przesył energii elektrycznej od wytwórcy do odbiorcy. Funkcjonowanie KSE w okresie letnim jest w znacznym stopniu determinowane przez warunki meteorologiczne. Istotne jest także zapotrzebowanie na energię elektryczną, które w Polsce utrzymuje tendencję wzrostową. Jednak w ciągu ostatnich lat wyraźnie zauważalny jest znacznie bardziej dynamiczny wzrost

zapotrzebowania w lecie względem zimy. Wśród powodów takiego stanu rzeczy należy wskazać przede wszystkim upowszechnienie klimatyzacji, ale także używanie wentylatorów i urządzeń chłodniczych. Klimatyzatory wyraźnie wpływają na wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną w lecie. Stały się one normą w pomieszczeniach biurowych, zakładach produkcyjnych, obiektach usługowych, budynkach użyteczności publicznej, a także coraz częściej są instalowane w domach. Z tego względu urządzenia te zmieniają dobowy profil zapotrzebowania na energię elektryczną. W lecie szczytowe zapotrzebowanie przypada na godziny południowe i przewyższa ono zapotrzebowanie w godzinach porannych i wieczornych. Przykładowo 7 sierpnia 2015 r. (w dzień upalny) szczytowe zapotrzebowanie na moc w KSE wystąpiło około godziny 13:00 (rys. 1).

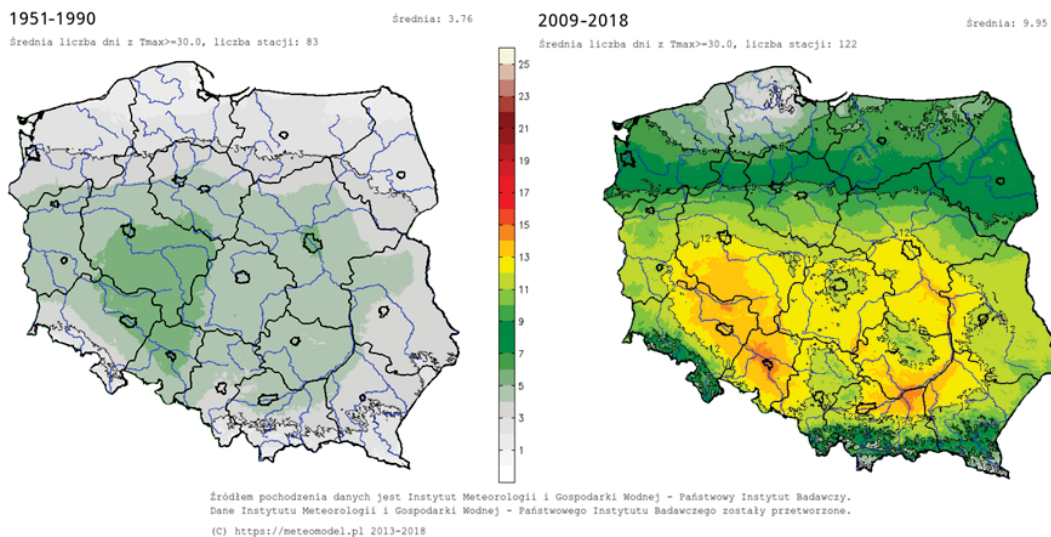


Rys. 1. Godzinowe zapotrzebowanie na moc w KSE w dzień upalny 7 sierpnia 2015 r., MW  
 Źródło: opracowanie własne na podstawie danych PSE SA

Fig. 1. The demand for power in the National Electric Power System in sweltering heat August 7, 2015, MW

Z uwagi na to, że w godzinach południowych notowane są najwyższe temperatury, pobór mocy przez klimatyzatory jest też największy. Niektóre taryfy dwustrefowe oferujące klientom niższe ceny energii elektrycznej w godzinach południowych również przyczyniają się do pogłębiania problemu.

Klimatologia wyróżnia termiczne dni charakterystyczne, do których zaliczamy m.in. dni gorące i dni upalne. W okresie ciepłym są one identyfikowane na podstawie maksymalnej dobowej temperatury powietrza. W niniejszym artykule przez dzień gorący rozumiane będą dni o  $t_{max}$  w przedziale od 25 do 30°C. Natomiast dla dnia upalnego  $t_{max} > 30^{\circ}\text{C}$  (Kossowska-Cezak 2014). Z kolei w klimacie umiarkowanym przez pojęcie fali upałów rozumiane będzie wystąpienie co najmniej 3 kolejnych dni z maksymalną dobową temperaturą powietrza powyżej 30°C (Kuchcik 2006). Rysunek 2 prezentuje zestawienie dni upalnych w latach

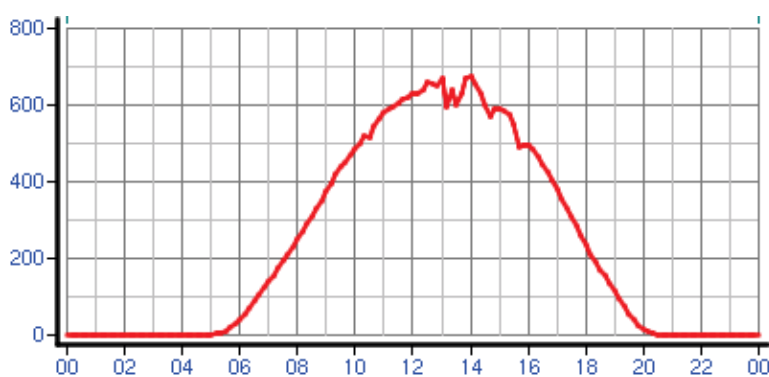


Rys. 2. Zestawienie średniej liczby dni upalnych w Polsce w latach 1951–1990 i 2009–2018  
 Źródło: Nauka o klimacie: Coraz więcej upałów w Polsce

Fig. 2. Comparison of the average number of sweltering heat days in Poland in the years 1951–1990 and 2009–2018

1951–1990 i 2009–2018. Dane te potwierdzają tezę o zwiększaniu się liczby dni upalnych w ostatnich latach. W latach 1951–1990 było ich średnio 6 w ciągu roku, natomiast teraz liczba ta wzrosła nawet do 15 na południu kraju.

Godziny południowe stwarzają też możliwość największej produkcji energii elektrycznej z modułów fotowoltaicznych z uwagi na największe natężenie promieniowania słonecznego w ciągu doby. Rysunek 3 przedstawia rozkład dobowy natężenia promieniowania słonecznego. Osiąga ono szczytowe wartości w godzinach południowych.



Rys. 3. Godzinowe promieniowanie słoneczne w Warszawie 7 sierpnia 2015 r., W/m<sup>2</sup>  
 Źródło: LAB-EL Internetowa Stacja Meteo Warszawa

Fig. 3. Solar radiation in Warsaw on August 7, 2015, W/m<sup>2</sup>

Ta korelacja szczytowego zapotrzebowania na energię elektryczną wraz z maksymalną generacją energii z fotowoltaiki stanowi podwaliny wykorzystania energii słonecznej do pokrycia szczytowego zapotrzebowania w dni upalne. Należy jednak podkreślić fakt, że pokrycie zapotrzebowania szczytowego jest ściśle zależne od panujących warunków meteorologicznych. Warty odnotowania jest fakt, iż warunki meteorologiczne generujące przesunięcie szczytowego obciążenia systemu na godziny południowe jednocześnie tworzą możliwość pokrycia tego zapotrzebowania za pomocą fotowoltaiki.

KSE w okresie letnim mierzy się także z problemem przepływów kołowych. Instalacja przesuwników fazowych na połączeniach transgranicznych z Niemcami wydatnie obniżyła skalę problemu, ale go nie wyeliminowała. Przepływy kołowe wynikające z nieplanowego transferowania energii elektrycznej z Niemiec przez Polskę i dalej w kierunku Czech i Słowacji są wybitnie niekorzystnym zjawiskiem z punktu widzenia Operatora Systemu Przesyłowego (OSP). Zmniejszają one możliwości importowe (np. w sierpniu 2015 r. przepływy kołowe zredukowały możliwość importu energii elektrycznej do Polski do poziomu około 3% (Sobik 2018)), a także utrudniają bilansowanie KSE. Dni upalne przyczyniają się także do spadku obciążalności linii napowietrznych, co zmniejsza zdolności linii przesyłowych. Powoduje to, że w newralgicznym momencie szczytowego zapotrzebowania na energię elektryczną w godzinach południowych, sieci przesyłowe mogą być „wąskim gardłem” KSE z uwagi na zmniejszoną obciążalność. Warunki meteorologiczne, szczególnie susze lub fale upałów, powodują także problemy z generacją energii elektrycznej w elektrowniach konwencjonalnych. Dotyczy to szczególnie elektrowni pracujących w obiegu otwartym. Powodują one spadek generacji energii elektrycznej i ubytki w systemie spowodowane trudnymi warunkami hydrologicznymi i meteorologicznymi.

### 1.1. Zdarzenia w latach 2015, 2016, 2018

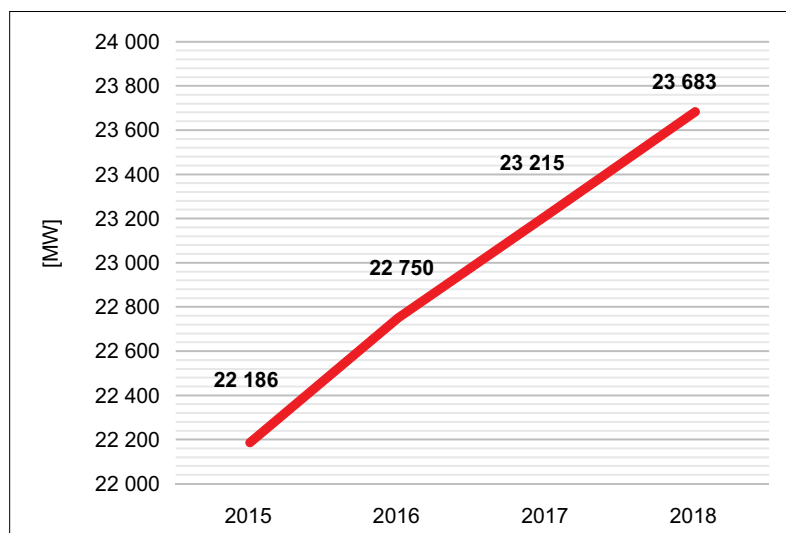
Najpoważniejsze zdarzenie dotyczące zagrożenia bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej w okresie letnim miało miejsce w sierpniu 2015 roku. Miesiąc ten charakteryzował się wybitnie niekorzystnymi warunkami meteorologicznymi z punktu widzenia KSE. Fala upałów połączona z suszą i bardzo słabym wiatrem doprowadziły do znacznych ubytków w generacji mocy. Z uwagi na niski stan wód i wysoką temperaturę wody generacja energii z elektrowni konwencjonalnych z obiegiem otwartym została wyraźnie zmniejszona. Brak wiatru spowodował, że generacja z elektrowni wiatrowych była znikoma, a ponadto nie chłodził wystarczająco linii przesyłowych, co w godzinach południowych powodowało spadki obciążalności sieci. W sierpniu 2015 roku ekstremalnie niekorzystne warunki meteorologiczne wystąpiły razem z licznymi ubytkami nieplanowymi i eksploatacyjnymi w elektrowniach zawodowych. Ówczesna polityka remontowa polegająca na przeprowadzaniu większości remontów w miesiącach wakacyjnych tylko pogłębiła problem. W dodatku miały miejsce poważne awarie niezwiązane z sytuacją hydrologiczną i meteorologiczną takie jak np. awaria bloku 858 MW w Bełchatowie, która praktycznie przesądziła o konieczności wprowadzenia dziewiętnastego stopnia zasilania (decyzja ta została później zmieniona i ostatecznie PSE SA wprowadziło dwudzieststy stopień zasilania). Ponadto KSE zmagał

się wówczas z problemem przepływów kołowych, które praktycznie uniemożliwiły import energii. Wydarzenia z sierpnia 2015 roku spowodowały straty w gospodarce wynikające z wprowadzenia ograniczeń w dostawach energii do największych odbiorców, a także uświadomiły, że prawidłowe funkcjonowanie KSE w okresie fali upałów jest zagrożone.

Kolejne podobne zdarzenie miało miejsce w czerwcu 2016 roku, jednak jego skala i skutki były znacznie mniejsze. W wyniku fali upałów i problemów z generacją energii elektrycznej w elektrowniach zawodowych KSE funkcjonował wówczas na niewielkim marginesie bezpieczeństwa. Krytycznym dniem był 24 czerwca 2016 roku, kiedy ustanowiony został ówczesny rekord zapotrzebowania na moc w okresie letnim. Sytuację uratował wtedy import energii.

Przełom lipca i sierpnia 2018 roku również zapisał się jako poważny incydent. Fala upałów i trudna sytuacja hydrologiczna znów doprowadziły do ubytków mocy w systemie. 31 lipca zakwalifikowano stan pracy KSE jako alarmowy z powodu niespełnienia kryterium bezpieczeństwa  $n - 1$  w sieci przesyłowej w regionie łódzkim (Rządowe Centrum Bezpieczeństwa). W zawiązku z tym PSE SA ogłosiły czasowy stan zagrożenia bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej w części województwa wielkopolskiego (podregiony poznański i koniński) i łódzkiego (podregion łódzki i skierniewicki) z powodu trudnych warunków pracy sieci. Pozwoliło to, zgodnie z przepisami prawa energetycznego, na utrzymanie pracy bloków przy nieco wyższej temperaturze zrzutowej wody używanej do ich chłodzenia, przekraczającej parametry standardowe. 2 sierpnia 2018 r. zanotowano kolejny rekord zapotrzebowania na moc w okresie letnim.

Powyższe przykłady wskazują, że w ostatnich latach mamy do czynienia z coraz większą liczbą poważnych incydentów związanych z funkcjonowaniem KSE w czasie fali upałów.



Rys. 4. Maksymalne zapotrzebowania na moc w okresie letnim w KSE w latach 2015–2018

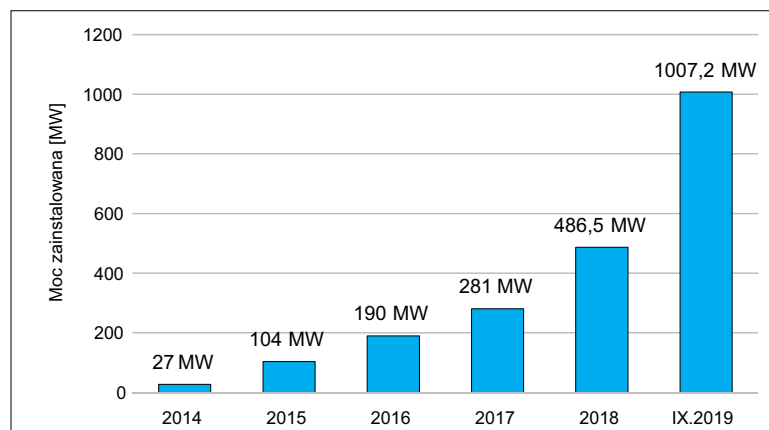
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych PSE SA

Fig. 4. Maximum demand for power in the summer in National Electric Power System from 2015–2018

O skali tego zjawiska świadczy fakt, że co roku pobijany jest nowy rekord zapotrzebowania na moc w okresie letnim, co zostało zaprezentowane na rysunku 4.

## 2. Stan rozwoju fotowoltaiki w Polsce

Fotowoltaika w polskim miksie energetycznym pełni rolę marginalną. W 2017 roku instalacje fotowoltaiczne stanowiły zaledwie 0,65% mocy zainstalowanej w KSE. Tak niewielki udział nie daje szans wpływania na sytuację w KSE nawet w okresie letnim. W 2018 roku moc zainstalowana fotowoltaiki w Polsce wyniosła 486,5 MW. Na tę wartość złożyły się mikroinstalacje (do 50 kW) i instalacje powyżej 50 kW, które odpowiednio wyniosły 339,5 i 147 MW. Na przestrzeni ostatnich lat można zaobserwować gwałtowny wzrost mocy zainstalowanej fotowoltaiki (rys. 5) Mimo iż przyrosty z roku na rok były znaczne, w stosunku do całkowitej mocy zainstalowanej w KSE jest to wciąż wartość niewystarczająca.



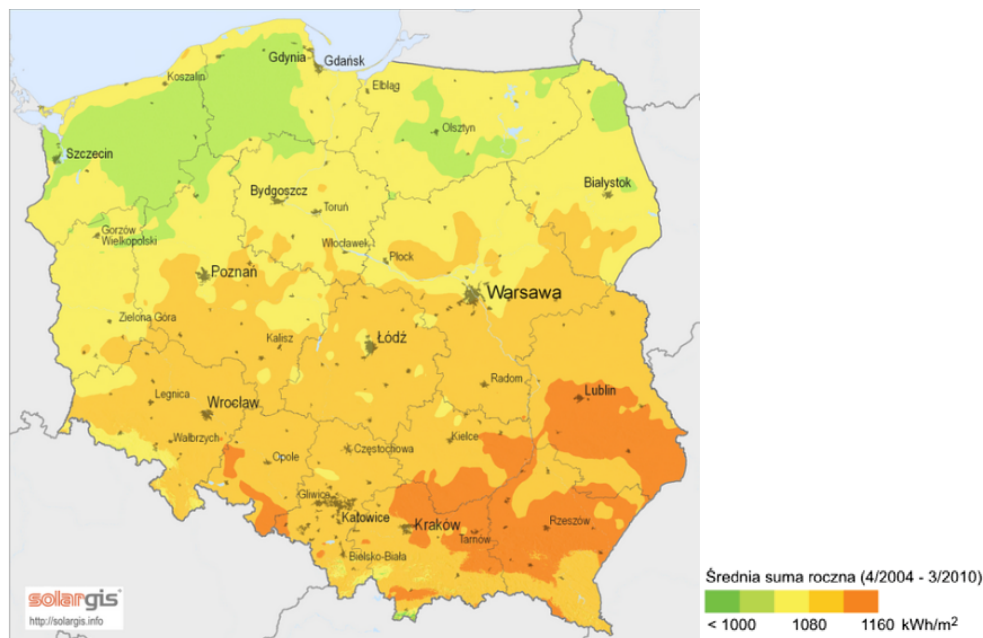
Rys. 5. Moc zainstalowana fotowoltaiki w Polsce w latach 2014–2018 MW

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych SBF Polska PV i PSE

Fig. 5. Installed photovoltaic capacity in Poland in 2014–2018 MW

Warunki do rozwoju fotowoltaiki w Polsce są względnie korzystne, biorąc pod uwagę ograniczenia, jakie niesie ze sobą klimat umiarkowany. Średnie roczne nasłonecznienie na płaszczyznę poziomą w Polsce wynosi około 990 kWh/m<sup>2</sup>. W półroczu letnim uzyskiwane jest około 77%, a w półroczu zimowym jedynie około 23% rocznej energii promieniowania. W związku z tym fotowoltaika może być efektywnie wykorzystywana jedynie w półroczu letnim. Półrocze zimowe w warunkach klimatu umiarkowanego charakteryzuje się relatywnie niskim nasłonecznieniem. Rysunek 6 przedstawia rozkład średniej sumy rocznej nasłonecznienia w Polsce w wieloleciu 2004–2010. Rozkład ten ma charakter równoleżnikowy, a najlepsze warunki występują na południu i południowym wschodzie kraju.





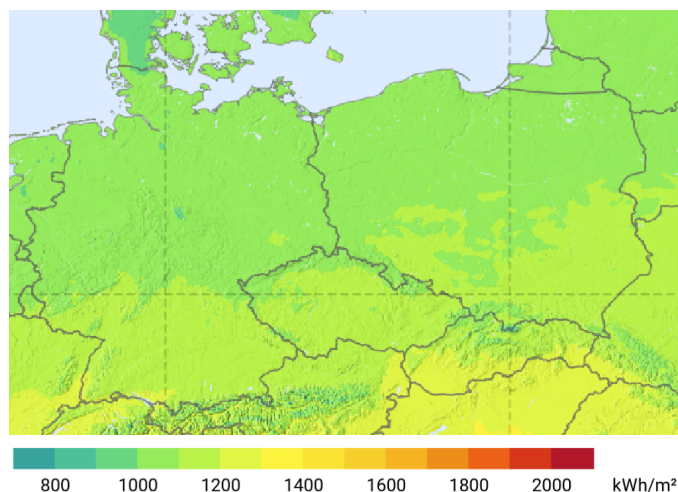
Rys. 6. Rozkład średniej sumy rocznej nasłonecznienia w Polsce na podstawie danych z lat 2004–2010  
 Źródło: SOLARGIS

Fig. 6. Distribution of the average annual total insolation in Poland based on data from 2004–2010

W artykule porównano potencjał i rozwój fotowoltaiki w Polsce, Czechach i Niemczech. Uwarunkowania klimatyczne sprzyjające rozwojowi fotowoltaiki są w tych krajach zbliżone. Na podstawie rysunku 7 można stwierdzić, że Polska, jak i Czechy oraz Niemcy, charakteryzuje się porównywalnym z tymi krajami potencjałem energii słonecznej. Rozkład średniej rocznej sumy nasłonecznienia w Polsce jest porównywalny w stosunku do Czech i Niemiec. Nieznacznym wyjątkiem od tej reguły może być jedynie południowo-zachodni kraniec Niemiec. W związku z tym można wyciągnąć wniosek, że uwarunkowania klimatyczne nie są barierą do rozwoju fotowoltaiki w Polsce.

Budowa instalacji fotowoltaicznych w Polsce oparta jest zasadniczo na trzech głównych systemach: aukcjach OZE, systemie prosumenckim (do 50 kW) oraz systemie autoproducenta biznesowego (Rynek fotowoltaiki... 2018). Wprowadzenie systemu zachęt, a także rosnące ceny energii i spadające koszty produkcji energii z OZE przełożyły się na wzrost mocy zainstalowanej. W celu utrzymania tego pozytywnego trendu zasadne wydaje się także wspieranie inwestycji w farmy fotowoltaiczne o mocy powyżej 1 MW, które mogą pozwolić na znacznie szybszy przyrost mocy oraz większe pokrycie zapotrzebowania w okresach upalnych. Należy również podkreślić rolę instalacji autoproducentów przemysłowych i komunalnych, które wpływają na zmniejszenie zapotrzebowania na energię elektryczną u odbiorców końcowych, a także pozytywnie oddziałują na pracę sieci dystrybucyjnych. Projekt Polityki Energetycznej Polski do 2040 roku (Projekt... 2018) przewiduje skokowy wzrost





Rys. 7. Rozkład średniej sumy rocznej nasłonecznienia w Europie Środkowej na podstawie danych z lat 1994–2016  
 Źródło: SOLARGIS

Fig. 7. Distribution of the average annual total insolation in Central and Eastern Europe based on data from 2004–2010

mocy fotowoltaicznych w KSE, co z punktu widzenia problematyki tego artykułu jest przedsięwzięciem korzystnym. Najbliższe aukcje OZE również mają zapewnić budowę nowych mocy fotowoltaicznych, co jest niewątpliwie krokiem w dobrą stronę. Istotną zmianą było wprowadzenie rozliczania prosumentów indywidualnych w oparciu o *net metering*, co stanowiło wyraźną zachętę dla gospodarstw domowych. Z kolei rosnące ceny energii (i dalsza perspektywa wzrostu w najbliższych latach) oraz spadające ceny energii pochodzącej z OZE stanowią bodźce dla rozwoju prosumentów przemysłowych i komunalnych. Polska nie osiągnie celu rozwoju OZE przewidzianego na 2020 rok, stąd zasadna jest rozbudowa źródeł fotowoltaicznych w celu nadrobienia opóźnień we wdrażaniu zobowiązań europejskich.

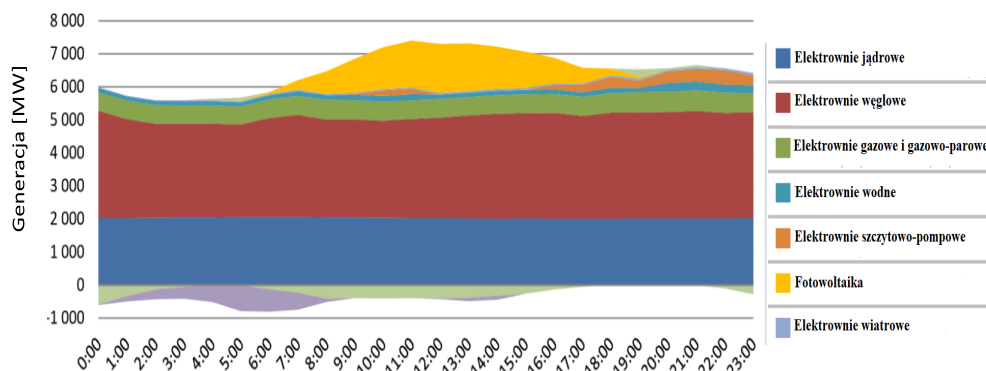
### 3. Fotowoltaika w Czechach pokrywa zapotrzebowanie szczytowe w lecie

Czechy, leżące w tej samej strefie klimatycznej co Polska i charakteryzujące się porównywalnym nasłonecznieniem, dysponują ponad 2 GW mocy zainstalowanej fotowoltaiki w swoim systemie elektroenergetycznym. Jeszcze w 2009 roku moc zainstalowana wynosiła mniej niż 500 MW, jednak rok później sięgnęła prawie 2 GW (Raport ERU 2017). Tak gwałtowny rozwój energetyki słonecznej był spowodowany bardzo rozbudowanym systemem zachęt. Skutki tych działań przekroczyły zamierzony efekt i w związku z tym zachęty dla inwestorów zostały wstrzymane, a wzrost liczby instalacji fotowoltaicznych został wyraźnie zahamowany. W efekcie w latach 2009–2018 moc zainstalowana fotowoltaiki oscylowała

wokół 2 GW i nie zanotowano żadnych gwałtownych wzrostów. Czechy dysponujące znacznie mniejszą powierzchnią w stosunku do Polski posiadają dobrze rozbudowaną energetykę słoneczną, która może realnie wpływać na funkcjonowanie systemu elektroenergetycznego. Polska, z uwagi na zbliżone uwarunkowania klimatyczne oraz znacznie większą powierzchnię, może dysponować większym potencjałem do rozwoju energetyki słonecznej niż 2 GW mocy zainstalowanej. Warto podkreślić, że dzięki aktywnej polityce służącej wspieraniu rozwoju fotowoltaiki, w ciągu jednego roku był możliwy wzrost mocy zainstalowanej o około 1,5 GW.

W strukturze mocy fotowoltaicznych w Czechach dominują instalacje o mocy w przedziale od 1 do 5 MW (aż 48%). W dalszej kolejności są to moce od 100 kW do 1 MW (22%) i powyżej 5 MW (16%). Świadczy to głównie o dobrze rozwiniętych większych inwestycjach (w których inwestorami są głównie spółki energetyczne), istotnych dla systemu elektroenergetycznego z uwagi na większe możliwości generacji energii elektrycznej w momencie szczytowego zapotrzebowania. Instalacje prosumenckie stanowią jedynie niewielką część.

Ponad 2 GW mocy zainstalowanej fotowoltaiki, stanowiącej 9,3% całkowitej mocy zainstalowanej w czeskim systemie elektroenergetycznym (Raport ERU 2017), pozwala na pokrywanie zapotrzebowania szczytowego występującego w dni upalne. Zapotrzebowanie na moc w Czechach jest z oczywistych względów niższe niż w Polsce, jednak w dni upalne zauważalna jest identyczna sytuacja jak ta występująca w KSE: wraz ze wzrostem maksymalnej temperatury dobowej, rośnie zapotrzebowanie na moc, które osiąga szczyt w godzinach południowych. Jednym z przykładów pokrycia zapotrzebowania szczytowego przez fotowoltaikę w czeskim systemie elektroenergetycznym jest 30 lipca 2017 roku. W tym dniu temperatura maksymalna w Pradze wyniosła 33°C, więc kryterium dnia upalnego zostało spełnione. Rysunek 8 prezentuje pokrycie zapotrzebowania szczytowego w godzinach południowych przez fotowoltaikę.



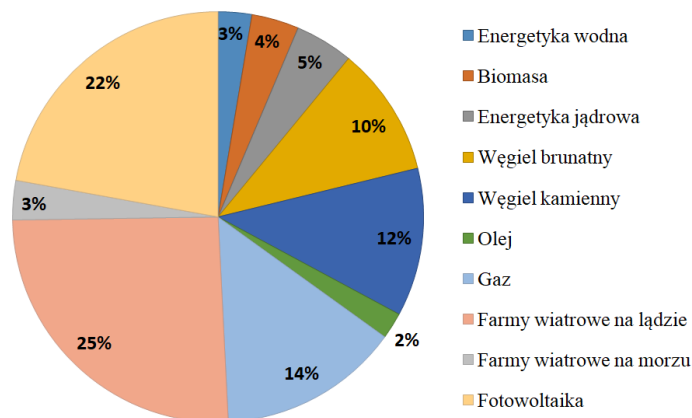
Rys. 8. Struktura wytwarzania energii elektrycznej w Czechach w dniu 30 lipca 2017 r, MW. Wartości ujemne oznaczają ujemny bilans netto oraz napełnianie zbiorników elektrowni szczytowo-pompowych  
 Źródło: Raport ERU 2017

Fig. 8. The structure of electricity generation in the Czech Republic on July 30, 2017, MW

Na rysunku 8 można zauważyć, że w szczytowym momencie energetyka słoneczna odpowiadała za produkcję ponad 1 GW mocy. Dzięki temu wszystkie pozostałe źródła mogły pracować z względnie niezmiennym obciążeniem.

#### 4. Fotowoltaika w Niemczech

W 2018 roku moc zainstalowana netto w niemieckim systemie elektroenergetycznym wyniosła 207,41 GW, z czego fotowoltaika stanowiła aż 45,93 GW (Fraunhofer ISE 2018). Rysunek 9 przedstawia strukturę procentową mocy zainstalowanej netto w Niemczech w 2018 roku.



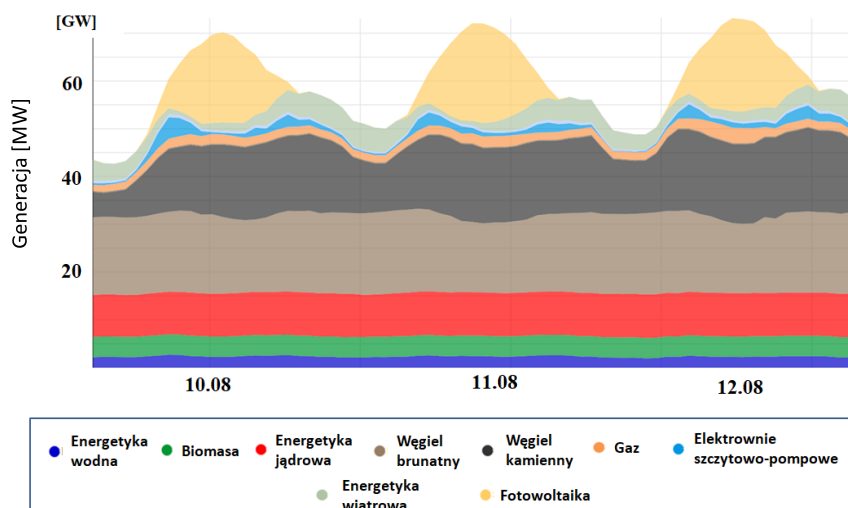
Rys. 9. Struktura procentowa mocy zainstalowanej netto w Niemczech w 2018 roku.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Fraunhofer ISE

Fig. 9. Percentage structure of net installed capacity in Germany in 2018

Na uwagę zasługuje znaczna dywersyfikacja wytwarzania – nie jest ona oparta na pojedynczym źródle energii czy surowcach. Ponadto w 2018 roku udział odnawialnych źródeł w produkcji energii elektrycznej netto wyniósł 40,6% (221,36 TWh) (Fraunhofer ISE 2018). Tak duża liczba instalacji fotowoltaicznych jest efektem przemyślanej strategii energetycznej. Na przestrzeni ostatnich 10 lat moc zainstalowana fotowoltaiki w Niemczech wzrosła z 6,12 GW w 2008 r. do 45,93 GW w 2018 roku. Mimo ograniczeń płynących z klimatu umiarkowanego, możliwe było osiągnięcie tak dużej liczby instalacji fotowoltaicznych w systemie elektroenergetycznym. Niewątpliwie polityka mająca na celu rozwój fotowoltaiki i odnawialnych źródeł energii odniosła w Niemczech zamierzone cele. Dzięki tak dużemu wolumenowi mocy fotowoltaicznych mogą one bilansować system w dni upalne i pokrywać zapotrzebowanie szczytowe występujące w godzinach południowych (rys. 10).

Rysunek 10 przedstawia strukturę produkcji energii elektrycznej w ciągu fali upałów, jaka wystąpiła na terenie całej Europy Środkowo-Wschodniej w sierpniu 2015 roku. Wtedy,



Rys. 10. Struktura produkcji energii elektrycznej w Niemczech w dniach 10–12.08.2015 r., GW  
 Źródło: Fraunhofer ISE

Fig. 10. The structure of electricity production in Germany on August 10–12, 2015, GW

gdy w Polsce konieczne było wprowadzenie stopni zasilania w celu zbilansowania KSE, w Niemczech fotowoltaika dostarczała energię w newralgicznych godzinach południowych. Nie zaistniała konieczność uruchamiania szczytowych źródeł gazowych. Rolę źródła szczytowego pełniła jedynie fotowoltaika, osiągając maksimum produkcji w godzinach południowych. Tak duża produkcja energii z instalacji fotowoltaicznych wpłynęła też wówczas na problem przepływów kołowych, drastycznie obniżając możliwości importowe w Polsce i zakłócając pracę KSE.

### **5. Proponowane zmiany kierunku rozwoju fotowoltaiki w Polsce i ich wpływ na pokrycie zapotrzebowania szczytowego w okresie letnim**

Jak pokazano w rozdziale 2 i na rysunku 5, fotowoltaika rokrocznie notuje wyraźny przyrost mocy zainstalowanej. Mimo wszystko energetyka słoneczna w Polsce zaczęła się rozwijać dopiero kilka lat temu. Zakładając utrzymanie bieżącej dynamiki przyrostu mocy zainstalowanej, pod koniec tego roku może ona osiągnąć około 700–800 MW. Nie mniej jednak potencjał jej rozwoju wynikający z uwarunkowań klimatycznych nie został wykorzystany. Czechy i Niemcy, mające porównywalne warunki klimatyczne, dysponują znacznie większą liczbą instalacji fotowoltaicznych. Tabela 1 prezentuje porównanie mocy zainstalowanej fotowoltaiki w Polsce, Czechach i Niemczech w latach 2014–2018.

Należy jednak mieć świadomość, że tak gwałtowny rozwój energetyki słonecznej, jaki miał miejsce w Czechach również nie jest pożądany z uwagi m.in. na bilansowanie KSE czy charakterystykę wytwarzania energii elektrycznej przez instalacje fotowoltaiczne, które

TABELA 1. Porównanie mocy zainstalowanej fotowoltaiki w Polsce, Czechach i Niemczech w latach 2014–2018 [MW]

TABLE 1. Installed photovoltaic capacity in Poland, Czech Republic and Germany in years 2014–2018 [MW]

	2014	2015	2016	2017	2018
Polska	27	104	190	281	487
Czechy	2 067	2 075	2 068	2 070	2 057
Niemcy	37 900	39 220	40 680	42 980	45 930

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Pietruszko 2018; Raport ERU; Fraunhofer ISE.

produkują ją głównie w miesiącach wiosennych i letnich. Ponadto należy także mieć na uwadze, że sprawność modułów fotowoltaicznych spada wraz z ich nagrzewaniem się. Analizując dane PSE SA, można zauważyć prawidłowość polegającą na wzroście zapotrzebowania w dni upalne o około 100 MW wraz ze wzrostem maksymalnej temperatury dobowej o 1°C. Przykładowo, 10 lipca 2015 r. (17°C) maksymalne dobowe zapotrzebowanie na moc wyniosło 20 255 MW, natomiast 7 lipca 2015 r. (31°C) 21 766 MW. Różnica między maksymalnym zapotrzebowaniem w tych dniach wynosi 1511 MW, a różnica temperatur wyniosła wówczas 14°C. Głównym wnioskiem płynącym z niniejszej analizy powinno być ustalenie celu rozbudowy mocy fotowoltaicznych na przynajmniej 2 GW w KSE. Dysponowanie taką liczbą instalacji fotowoltaicznych pozwoli na pokrycie aktualnego zapotrzebowania szczytowego pojawiającego się w dni upalne. Jednak z uwagi na stały trend wzrostowy zapotrzebowania na moc w okresie letnim, taka wartość w większym horyzoncie czasowym może być niewystarczająca, stąd konieczność dalszej rozbudowy mocy fotowoltaicznych.

## Wnioski

Nadrzędnym wnioskiem płynącym z niniejszej publikacji powinna być rozbudowa mocy fotowoltaicznych do poziomu pozwalającego na pokrycie zapotrzebowania szczytowego objawiającego się w dni upalne, czyli do poziomu przynajmniej 2000 MW. Jak pokazano na przykładzie Czech i Niemiec, fotowoltaika potrafi skutecznie pokryć zapotrzebowanie szczytowe w dniu upalne występujące w godzinach południowych. Trzeba także podkreślić, że w ciągu ostatnich kilku lat w KSE w okresie letnim wystąpiło kilka groźnych zdarzeń, które wyraźnie wskazały na problem z generacją energii elektrycznej w dni upalne i potrzebę zainwestowania w źródło pełniące rolę źródła szczytowego w tym czasie. Istnieje realne zagrożenie, że w najbliższym czasie podobne incydenty mogą się powtórzyć. Istotną zaletą fotowoltaiki jest krótki czas trwania inwestycji w stosunku do źródeł konwencjonalnych, a także znacznie niższe nakłady inwestycyjne. Ponadto fotowoltaika generuje energię elektryczną niezależnie od sytuacji hydrologicznej. W związku z tym w okresie suszy i występowania fali upałów (a więc i znacznego nasłonecznienia) może ona efektywnie produkować energię elektryczną. Pożądane byłyby inwestycje powyżej 1 MW, w których inwestorem

byłyby spółki energetyczne w celu wyraźnego zwiększenia mocy zainstalowanej fotowoltaiki w KSE. Ponadto należy także wskazać na sektor autoproducentów przemysłowych i komunalnych, który również pozytywnie wpływa na pracę sieci dystrybucyjnych, a także zmniejsza zapotrzebowanie u odbiorców końcowych.

Fotowoltaika dysponuje znacznym potencjałem, który do tej pory wciąż nie jest należycie wykorzystywany, a który może ochronić KSE przed zdarzeniami, jakie miały miejsce np. w sierpniu 2015 roku. W związku z rosnącą liczbą dni upalnych funkcjonowanie KSE w okresie fali upałów zawsze stanowi wyzwanie i jeśli dalsze kroki nie zostaną podjęte, może się skończyć potencjalnie niebezpieczną sytuacją, która w ekstremalnie niekorzystnych warunkach może doprowadzić do stanu zagrożenia bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej, a po wykorzystaniu wszystkich środków zaradczych – do blackoutu.

Dziękuję dr hab. inż. Tadeuszowi Olkuskiemu za wsparcie w realizacji niniejszego artykułu.

### Literatura

- Fraunhofer ISE... 2018 – Recent facts about Photovoltaics in Germany. Fraunhofer ISE. Freiburg 2018.
- Kossowska-Cezak, U. 2014. Zmiany wieloletnie liczby termicznych dni charakterystycznych w Warszawie (1951–2010). *Prace geograficzne* 136, s. 9–30.
- Kuchcik, M. 2006. Fale upałów w Polsce w latach 1993–2002. *Przegląd geograficzny* 78(3), s. 397–412.
- LAB-EL Internetowa Stacja Meteo Warszawa. [Online] <https://www.meteo.waw.pl/> [Dostęp: 30.04.2019].
- Nauka o klimacie: Coraz więcej upałów w Polsce [Online] <https://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/coraz-wiecej-upalow-w-polsce-340> [Dostęp: 30.04.2019].
- Pietruszko, S. 2018. Rynek fotowoltaiki w Polsce–2017. *Magazyn fotowoltaika* 1, s. 6–11.
- Projekt... 2018 – Projekt Polityki Energetycznej Polski do 2040 roku. Warszawa: Ministerstwo Energii, 2018.
- PSE: Sieć elektroenergetyczna radzi sobie z upałami [Online] <http://biznesalert.pl/pse-upaly-elektroenergetyka/> [Dostęp: 30.04.2019]
- Raport ERU 2017 – Roční zpráva o provozu ES ČR 2017. ERU. Praha 2018.
- Rynek fotowoltaiki... 2018 – Rynek fotowoltaiki w Polsce. Warszawa: Instytut Energetyki Odnawialnej, 2018.
- Rządowe Centrum Bezpieczeństwa [Online] <https://rcb.gov.pl/wakacje-2018-podsumowanie-goracego-lata/> [Dostęp: 30.04.2019].
- Sibiński, M. i Znajdek, K. 2016. *Przyrządy i instalacje fotowoltaiczne*. Wyd. 1. Warszawa: PWN.
- Sobik, B. 2018. Analiza przyczyn wystąpienia zagrożenia bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej w sierpniu 2015 roku i sposoby zapobiegania takim zdarzeniom. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN* nr 103, s. 193–208.
- SOLARGIS [Online] <https://solargis.com/> [Dostęp: 30.04.2019].