Zbigniew Handzel[1]
Mirosław Gajer[2]

Jak wiele dodatkowej mocy można jeszcze zainstalować w polskiej fotowoltaice?

How much additional capacity can still be installed in Polish photovoltaics?

Streszczenie: Spośród różnych źródeł odnawialnej energii elektrycznej to właśnie fotowoltaika przeżywa w ostatnim czasie najbardziej dynamiczny rozwój. Najczęściej ukazywana jest także jako najbardziej perspektywiczne ze źródeł pozyskiwania darmowej energii pochodzącej z promieniowania słonecznego. W środkach masowego przekazu i w popularnej prasie niejednokrotnie pojawiają się prognozy dalszego wzrostu mocy zainstalowanej w elektrowniach fotowoltaicznych, które osiągają zawrotne wręcz wartości sięgające dziesiątek gigawatów. Co więcej, tak gwałtowny przyrost mocy zainstalowanej w panelach fotowoltaicznych przedstawiany jest jako zjawisko ze wszech miar korzystne, zgodnie z obiegowym stwierdzeniem, że im więcej, tym lepiej. Jednak w rzeczywistości sprawa nie jest bynajmniej tak prosta, jak mogłoby się to na pierwszy rzut oka wydawać, ponieważ każdy wzrost ma również swoje naturalne granice, co dotyczy także przyrostu łącznej mocy elektrowni fotowoltaicznych. Autorzy niniejszego artykułu postulują istnienie pewnej krytycznej wartości łącznej mocy zainstalowanej w panelach fotowoltaicznych, której przekroczenie nie tylko, że nie będzie w żaden sposób uzasadnione na gruncie ekonomicznym, ale, co znacznie gorsze, wywoła ponadto poważne problemy związane z zagadnieniami stabilności pracy systemu elektroenergetycznego i konieczności zbilansowania generowanych mocy.

[1] Dr inż. Prof. WSEI Wyższa Szkoła Ekonomii i Informatyki w Krakowie
[2] Dr inż. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

Abstract: Of the various sources of renewable electricity, it is photovoltaics that has experienced the most dynamic development in recent times. It is also being presented as the most promising area for the generation of free energy from solar radiation. Forecasts of further increases in installed photovoltaic capacity, reaching dizzying heights of tens of gigawatts, are repeatedly appearing in the mass media and the popular press. What is more, such a rapid increase in the installed capacity of photovoltaic panels is presented as an overwhelmingly beneficial phenomenon, in line with the common statement that the more, the better. However, in reality, the matter is by no means as simple as it might appear at first glance, because every increase also has its natural limits, and this also applies to the increase in the total capacity of photovoltaic power plants. The authors of this article postulate the existence of a certain critical value for the total installed capacity of photovoltaic panels, which, if exceeded, will not only fail in economic grounds, but, what is much worse, will also cause serious problems related to the issues of stability of the operation of the electricity system and the need to balance the generated power.

Słowa kluczowe: odnawialne źródła energii, ogniwa fotowoltaiczne, współpraca z systemem elektroenergetycznym, stabilność systemu elektroenergetycznego

Keywords: renewable energy sources, photovoltaic cells, cooperation with the electricity system, stability of the electricity system

JEL *classification codes: D61, Q2*

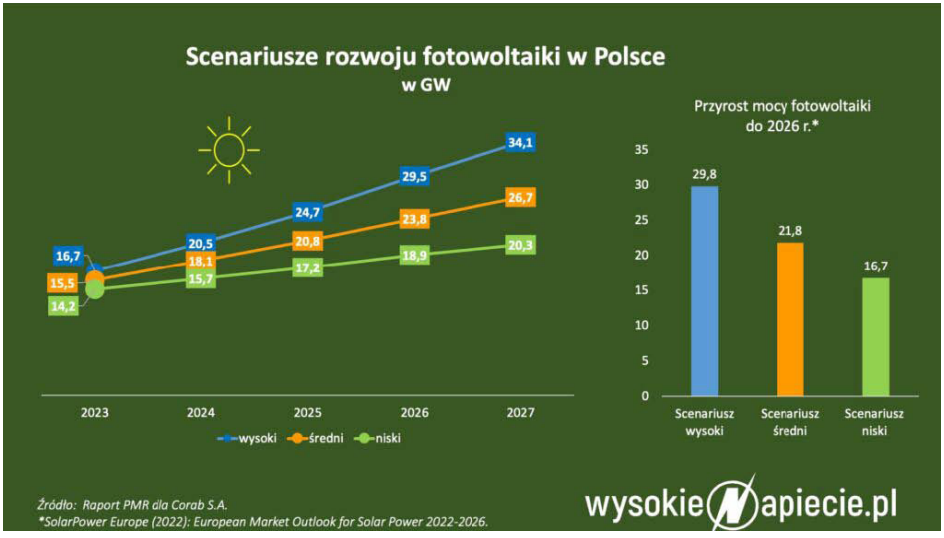
Wprowadzenie

W czasie pisania niniejszego artykułu moc zainstalowana na obszarze naszego kraju w panelach fotowoltaicznych zbliża się już do wartości 14 GW. Także w przyszłości przewidywany jest dalszy dynamiczny przyrost mocy zainstalowanej w polskiej fotowoltaice, co pokazuje wykres zamieszczony na Rys. 1.

Według najbardziej optymistycznego scenariusza już całkiem niedługo, bo zaledwie za trzy lata, czyli dokładnie w roku 2026, łączna moc zainstalowana w polskich panelach fotowoltaicznych powinna osiągnąć imponującą wartość, wynoszącą około 30 GW [11]. Powstaje zatem pytanie, co dalej? Według

zamieszczonego na Rys. 1 wykresu zapewne w kolejnych latach oczekiwany jest dalszy równie dynamiczny wzrost mocy zainstalowanej. Przynajmniej rozważany wykres nie wykazuje żadnych oznak spłaszczenia, a wręcz przeciwnie, wydaje się, że w przyszłości jeszcze szybciej będzie piął się ku górze.

Rysunek 1. Przewidywany wzrost mocy zainstalowanej w polskiej fotowoltaice



Źródło: https://wysokienapiecie.pl/83071-fotowoltaika-dla-firm-coraz-wazniejsza/.

Co istotne, w szerokiej świadomości społecznej zdaje się dominować powszechnie pogląd, że tak szybki przyrost mocy zainstalowanej w polskiej fotowoltaice jest zjawiskiem jak najbardziej pożądanym, a instalowanie kolejnych paneli fotowoltaicznych przyniesie wszystkim same tylko korzyści. Dodatkowo w środkach masowego przekazu i różnego rodzaju publikacjach roi się wręcz od tego typu stwierdzeń, wygłaszanych niejednokrotnie przez różnego rodzaju prawdopodobnie jakichś samozwańczych „ekspertów", którzy w rozważanym obszarze zdają się pełnić rolę wybitnie opiniotwórczą. Tymczasem prawda jest taka, że w kwestiach dotyczących tzw. transformacji energetycznej bardzo często wypowiadają się publicznie osoby niejednokrotnie z wykształceniem humanistycznym, tak naprawdę nie mające o elektroenergetyce szerszego pojęcia. Czy zatem opinie wygłaszane nagminnie przez przykładowo

socjologów, politologów, filologów, filozofów, historyków, kulturoznawców bądź antropologów, a dotyczące dziedzin takich jak: elektrotechnika, energoelektronika czy też elektroenergetyka mają być przez ogół społeczeństwa uważane za choć w najmniejszym stopniu miarodajne? Co gorsze, niezwykle rzadko przebijają się w rozważanych kwestiach rozsądne głosy inżynierów, specjalistów w wymienionych dziedzinach, których niejednokrotnie określa się pogardliwie mianem technokratów.

Tymczasem każdy wzrost ma również swoje granice, żaden wykres obrazujący rzeczywiste zjawiska fizyczne nie może rosnąć w górę do nieskończoności. Po etapie dynamicznego wzrostu musi nastąpić nieuchronnie spłaszczenie każdego tego rodzaju wykresu. Jednocześnie pojawia się w rozważanym kontekście bardzo istotne pytanie, na jakim etapie przyrostu zainstalowanej mocy w fotowoltaice obecnie się znajdujemy i jakie wnioski z tego wyciągnąć należy na przyszłość? W szczególności autorzy artykułu podejmują próbę udzielenia odpowiedzi na pytanie, czy dalsze inwestowanie w naszym kraju w fotowoltaikę ma jeszcze jakikolwiek sens z punktu widzenia czystego rachunku ekonomicznego, a zwłaszcza z punktu widzenia zagadnień związanych z koniecznością zapewniania odpowiednich warunków pracy systemu elektroenergetycznego, gwarantujących jakże ważną stabilność jego działania (zagrożenie tzw. *blackoutem*) [8].

Ile paneli fotowoltaicznych można jeszcze zainstalować?

W Polsce panele fotowoltaiczne montowane są przede wszystkim na dachach domów jednorodzinnych. Niestety, ale bynajmniej nie jest to najkorzystniejsze z możliwych miejsc do umieszczenia tam tego rodzaju instalacji energetycznych [1]. Aby dojść do takiego wniosku, wystarczy uświadomić sobie jedynie, że szczyt produkcji energii elektrycznej w fotowoltaice przypada w okolicach godziny trzynastej (gdy mamy oczywiście czas letni). Powiedzmy, że jest to zazwyczaj gdzieś pomiędzy godziną jedenastą a piętnastą, czyli w okresie czasu, gdy słońce góruje relatywnie najwyżej nad horyzontem. Tymczasem w rozważanym przedziale czasu pobór mocy w domach jednorodzinnych jest raczej znikomy [11]. Spowodowane jest to faktem, że w rozważanej porze dorośli najczęściej przebywają w pracy, a dzieci i młodzież w szkołach bądź na uczelniach wyższych. Zwykle jedynym urządzeniem, które może wówczas pracować, jest lodówka lub zamrażarka. Ewentualnie przebywający w domu emeryt może oglądać w rozpatrywanym przedziale czasu telewizję bądź słuchać radia, czy też na chwilę zaświecić światło w łazience.

W przeciwnym przypadku wymienione urządzenia elektroniczne znajdują się jedynie w stanie czuwania (tzw. *standby*), pobierając z sieci energetycznej zaledwie po kilka watów mocy. W każdym razie nie są to w żadnym wypadku jakieś liczące się odbiory mocy [4].

Taki stan rzeczy powoduje, że moc, wygenerowana w zainstalowanych na dachach budynków jednorodzinnych panelach fotowoltaicznych, musi zostać wprowadzona do sieci niskiego napięcia i przesłana do punktu jej poboru. Aby wymusić przepływ prądu, współpracujący z siecią falownik musi podnieść nieco napięcie na swych zaciskach. W sytuacji, gdy w obszarze rozważanej sieci niskiego napięcia nie ma żadnych poważniejszych punktów poboru mocy (rzędu kilkunastu bądź kilkudziesięciu kilowatów), napięcie sieci może gwałtownie wzrosnąć. Wówczas, aby nie dopuścić do uszkodzenia podłączonych do sieci urządzeń elektrycznych, falownik automatycznie musi się wyłączyć, gdy tylko napięcie na jego zaciskach przekroczy wartość powyżej dopuszczalnej wartości wynoszącej 253 V. Tego rodzaju sytuacje zaczynają się już dosyć powszechnie pojawiać i w związku z tym zaczyna się już o tym głośno publicznie mówić. Szczególnie niekorzystna sytuacja ma miejsce w przypadku większych skupisk domów jednorodzinnych, których wszyscy właściciele zafundowali sobie panele fotowoltaiczne. Gdy w pobliżu nie ma żadnego zakładu przemysłowego, typu na przykład stolarnia czy tartak, gdzie pracują napędzane silnikami elektrycznymi maszyny, wówczas wygenerowanej w fotowoltaice mocy po prostu nie ma jak odebrać, co powoduje, że falowniki w poszczególnych domach, konkurując niejako ze sobą, będą się cyklicznie wyłączać i włączać [7].

Tymczasem byłoby o wiele korzystniej, gdyby rozważane panele fotowoltaiczne zostały zainstalowane tam, gdzie w czasie ich szczytowej generacji mocy przebywają masowo ludzie, wywołujący niejako w sposób naturalny zapotrzebowanie na energię elektryczną. Wniosek jest taki, że w pierwszym rzędzie panele fotowoltaiczne powinny być instalowane na dachach zakładów pracy, hal fabrycznych, a także na dachach urzędów, szpitali, sanatoriów, hoteli, budynków użyteczności publicznej oraz szkół, przedszkoli, uczelni wyższych itp., ponieważ to właśnie tam, wyprodukowana przez fotowoltaikę energia może być w większości konsumowana na miejscu bez konieczności jej wprowadzania do sieci elektroenergetycznej. W kontekście powyższych rozważań pytanie o sensowność wydatkowania grubych miliardów złotych na dotacje dla właścicieli domów jednorodzinnych inwestujących w fotowoltaikę wydaje się jedynie pytaniem retorycznym. Można zadać pytanie, dlaczego za te miliardy złotych nie zakupiono po prostu paneli fotowoltaicznych, które można

byłoby zainstalować na dachach szkół, szpitali, uczelni wyższych i urzędów państwowych, aby istotnie obniżyć im rachunki za energię elektryczną?

Tymczasem w naszym kraju w najlepsze fotowoltaika nadal jest rozwijana głównie na dachach budynków jednorodzinnych. Z drugiej strony szacuje się, że dotychczas tego typu instalacje posiada zaledwie kilkanaście procent domów jednorodzinnych. W związku z tym, gdyby panele fotowoltaiczne posiadał każdy dom jednorodzinny, łączna moc zainstalowana w fotowoltaice mogłaby wzrosnąć nawet i pięciokrotnie. Do tego dochodzi dodatkowo potencjalnie istniejąca możliwość powiększenia mocy instalacji już istniejących poprzez dołożenie do nich kolejnych paneli – zwykle dachy nie są nimi pokryte w stu procentach. Pamiętać jeszcze należy, że obecnie instalacji fotowoltaicznych próżno jest raczej szukać na dachach domów wielorodzinnych, bloków, apartamentowców, kamienic itp. Fotowoltaiki raczej nie ma również na dachach zakładów pracy, fabryk, placówek oświatowych, budynków użyteczności publicznej i szpitali. Poza tym dach budynku nie jest jedynym miejscem, gdzie tego typu urządzania techniczne można zainstalować. Zawsze panele fotowoltaiczne można posadowić jeszcze bezpośrednio na poziomie gruntu w pobliżu budynku, jeśli tylko istnieje do tego wolne miejsce. Z kolei pod duże farmy fotowoltaiczne można wykorzystać liczne w naszym kraju nieużytki rolne – zwłaszcza w rejonach górskich odłogiem leżą tysiące hektarów ziemi o niskiej klasie. Reasumując, wniosek jest taki, że miejsca pod instalację kolejnych paneli fotowoltaicznych z pewnością w przyszłości w Polsce w żadnym wypadku nie zabraknie, bo po prostu zabraknąć nie może [3].

Zakładając ostrożnie, że obecnie panelami fotowoltaicznymi pokryte jest nie więcej niż pięć procent powierzchni wszystkich dachów istniejących w Polsce budynków (w rzeczywistości jest to z pewnością znacznie mniej), to zwiększenie tego wskaźnika do pięćdziesięciu procent spowodowałoby co najmniej dziesięciokrotny wzrost wartości łącznej mocy zainstalowanej w fotowoltaice. Zatem z obecnych 14 GW zrobiłoby się nagle aż 140 GW łącznej mocy paneli fotowoltaicznych. Jest to zawrotna wręcz wartość, przewyższająca kilkukrotnie moc zainstalowaną w polskich elektrowniach cieplnych opalanych węglem kamiennym i brunatnym (największa polska elektrownia cieplna znajdująca się w Bełchatowie ma nieco ponad 5 GW łącznej mocy zainstalowanej w dwunastu blokach elektroenergetycznych) [5, 7]. Są to oczywiście rozważania czysto hipotetyczne i tak na prawdę autorzy nie spodziewają się, aby moc zainstalowana w polskiej fotowoltaice miała kiedykolwiek osiągnąć aż tak zawrotne wartości. Z drugiej jednak strony, w różnych progno-

zach można przeczytać, że wartością docelową dla niemieckiej fotowoltaiki ma być aż 200 GW – wartość wręcz niewyobrażalna.

Na Rys. 2 zamieszczono dane publikowane przez Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A. (PSE) dotyczące generacji mocy pochodzącej z różnego typu źródeł w dniu 8 maja 2023 roku w szesnastej godzinie doby. Analizując zamieszczone tam wartości generowanej mocy, widać, że fotowoltaika dostarczała w rozważanym czasie do krajowego systemu elektroenergetycznego prawie 6,1 GW mocy elektrycznej.

Rysunek 2. Dane dotyczące mocy generowanych w krajowym systemie elektroenergetycznym w dniu 8 maja 2023 w szesnastej godzinie doby

Źródło: https://pse.pl/home.

Przy hipotetycznym założeniu, że w Polsce mamy zainstalowane dziesięć razy więcej paneli fotowoltaicznych niż ma to miejsce obecnie, generowana w nich moc, przy identycznych warunkach pogodowych, wynosiłaby również dziesięć razy więcej, czyli osiągnęłaby zawrotną wręcz wartość 61 GW. Należy

zauważyć, że jest to trzy razy więcej niż wynosiło w rozważanej porze zapotrzebowanie na moc w krajowym systemie elektroenergetycznym, które było wtedy równe około 20,5 GW.

Według założonego hipotetycznie scenariusza nie dość, że całe zapotrzebowanie na energię elektryczną w Polsce mogłoby zostać pokryte tylko i wyłącznie z samej tylko fotowoltaiki, to jeszcze pojawiłaby się gigantyczna nadwyżka mocy w wysokości około 40 GW. Jednak w ten sposób jakikolwiek system elektroenergetyczny pracować w żadnym wypadku nie może, ponieważ bezwzględnie wymaganym warunkiem jest zbilansowanie jego mocy, zgodnie z następującym równaniem:

$$P_G = P_Z + P_S \tag{1}$$

gdzie (P_G) oznacza moc generowaną, (P_Z) moc zapotrzebowaną przez odbiorców, a (P_S) moc strat przesyłowych, przy czym moc strat przesyłowych jest wprost proporcjonalna do kwadratu mocy generowanej, w związku z czym rozważane równanie przyjmuje postać:

$$P_G = P_Z + s^*(P_G)^2 \tag{2}$$

gdzie (s) jest współczynnikiem strat przesyłowych występujących w sieciach elektroenergetycznych i transformatorach [5].

Pojawia się w tym miejscu niezwykle istotne pytanie, a mianowicie, co można uczynić z rozważanymi nadmiarowymi 40 GW mocy generowanej w panelach fotowoltaicznych. Do wyboru są w zasadzie jedynie dwie możliwości. Albo można próbować wyeksportować rozważaną moc poza granice naszego kraju, albo starać się jakoś zmagazynować wygenerowaną w panelach fotowoltaicznych energię. Niestety, w przypadku tak wielkich wartości mocy żadna z wymienionych propozycji nie jest technicznie możliwa do realizacji [7]. Wniosek zatem jest tylko jeden. Owszem, jak najbardziej możemy w krajowym systemie elektroenergetycznym zainstalować nawet i 140 MW mocy w panelach fotowoltaicznych, ale przez większą część czasu pracy generowana będzie przez nie potężna nadwyżka mocy, która nie będzie mogła w ża-

den sposób zostać wykorzystana. Po prostu, rozważane panele będą musiały zostać odłączone od sieci, czyli falowniki będą się automatycznie wyłączać wskutek nadmiernego wzrostu napięcia sieci przesyłowej panującego na ich zaciskach, a PSE będą wydawały polecania odłączenia od sieci większych farm fotowoltaicznych [4].

Skoro przez większość czasu ich pracy znaczna część falowników będzie odłączona od sieci, to niejako automatycznie pojawia się niezmiernie istotne w rozważanym kontekście pytanie o efektywność i ekonomiczną opłacalność tego rodzaju przedsięwzięcia. Oczywiście, rozważany tutaj hipotetyczny scenariusz zainstalowania w polskiej fotowoltaice aż 140 GW mocy został przez autorów celowo wyolbrzymiony tylko po to, aby jeszcze lepiej unaocznić czytelnikowi, do jakich absurdów może prowadzić niczym nie ograniczony i uprzednio nie przemyślany rozwój fotowoltaiki przy stosowaniu naiwnego podejścia, że im więcej, to pewnie tym lepiej (wszak „od przybytku głowa nie boli").

Zagadnienie efektywności energetycznej fotowoltaiki

Dla wielu czytelników omawiana kwestia może być sporym zaskoczeniem, ale wartość średniorocznego współczynnika wykorzystania mocy zainstalowanej w panelach fotowoltaicznych jest na poziomie zaledwie około 10% (tego rodzaju dane publikowane są między innymi przez PSE, gdzie z przykładowego panelu o mocy 1 kW w ciągu roku wyprodukowano zaledwie około 827 kWh energii elektrycznej, co daje w rozważanym wypadku wykorzystanie mocy zainstalowanej jedynie na poziomie około 9,4% [12]). Dla porównania, w przypadku wiatraków lądowych współczynnik ten wynosi około 20%, a w przypadku wiatraków morskich około 30%. Reasumując, jeżeli mamy na dachu budynku panele fotowoltaiczne o łącznej mocy zainstalowanej wynoszącej 10 kW, to skutek jest taki sam, jakbyśmy dysponowali stabilnym źródłem energii o stałej mocy wynoszącej zaledwie 1 kW, ale za to działającym bez przerwy przez okres całego roku [1].

Skąd tak niski wynik uzyskany dla fotowoltaiki i czym to jest spowodowane? Otóż panele fotowoltaiczne generują większą wartość mocy elektrycznej jedynie wtedy, gdy mocno świeci słońce. W związku z powyższym mamy tutaj do czynienia z roczną sezonowością produkcji, jej dobową cyklicznością i dodatkowo nałożonym na to czynnikiem losowym. Licząca się produkcja energii elektrycznej pochodzącej z fotowoltaiki ma miejsce jedynie w okresie wiosny i lata. Szczególnie w okresie zimowym jest ona wręcz szczęt-

kowa, co spowodowane jest zarówno krótkością dnia, jak i bardzo niskim położeniem słońca nad horyzontem – wówczas energii słonecznej dociera do powierzchni ziemi bardzo niewiele (zwłaszcza na dużych szerokościach geograficznych). Fakt ten powoduje, że współczynnik średniorocznego wykorzystania mocy zainstalowanej w panelach fotowoltaicznych spada na wstępie do wartości około 50%. Z kolei cykliczność dnia i nocy powoduje, że licząca się produkcja energii z fotowoltaiki ma miejsce jedynie przez około połowę doby, co powoduje dalszy spadek wartości rozważanego współczynnika do około 25%.

Jest rzeczą oczywistą, że jeśli tego typu instalacja pracuje efektywnie nie więcej niż przez pół roku i nie więcej niż przez połowę doby, to wartość średniorocznego współczynnika wykorzystania mocy zainstalowanej nie może przekraczać 25%. Na tym bynajmniej jednak się nie kończy. Bardzo istotny jest tutaj fakt, że panele fotowoltaiczne montowane są w zdecydowanej większości w sposób nieruchomy na dachach budynków. Powoduje to, że ich kąt ustawienia względem docierającej ze słońca wiązki promieni świetlnych jest przez większość czasu daleki od kąta optymalnego, którym jest kąt prosty – wówczas moc generowana w panelu osiąga swoje maksimum. Ponadto samo już ustawienie dachu względem stron świata i jego kąt nachylenia najczęściej znacznie odbiegają od wartości pożądanych. To wszystko powoduje pokaźny spadek rzeczywistej wartości średniorocznego współczynnika wykorzystania mocy zainstalowanej.

Dodatkowo należy uwzględnić kolejne ubytki mocy związane z zachmurzeniem, a zwłaszcza z opadami atmosferycznymi, co może powodować nawet kilkukrotny spadek mocy generowanej w panelach przy znacznie słabszym ich oświetleniu. Efektywność przetwarzania energii promieniowania świetlnego w energię elektryczną zależy także od temperatury pracy ogniw fotowoltaicznych i maleje niestety o około 0,3% wraz ze wzrostem temperatury o każdy kolejny stopień Celsjusza powyżej temperatury nominalnej. Z tego powodu paradoksalnie czerwiec nie jest, jak można by naiwnie sądzić, najlepszym miesiącem w roku dla generacji energii z fotowoltaiki – bo cóż z tego, że słońce w miesiącu tym porusza się możliwie najwyżej nad horyzontem, gdy temperatura pracy ogniw jest relatywnie najwyższa, co skutkuje niską ich sprawnością.

Na sprawność ogniw fotowoltaicznych ma również wpływ ich wiek. Niestety, w miarę upływu czasu w krzemie pojawiają się mikropęknięcia, które skutkują obniżeniem sprawności ogniw. Ocenia się, że z każdym rokiem sprawność ogniw fotowoltaicznych maleje o około 1%, przy czym wartość ta

zależy niewątpliwie od ich jakości – w przypadku tanich systemów zarówno wrażliwość na temperaturę ich pracy, jak i proces starzenia się ogniw mogą przybierać jeszcze większe wartości (nawet 0,5% na każdy kolejny stopień Celsjusza powyżej temperatury nominalnej i 2% utraty mocy na każdy kolejny rok ich eksploatacji).

Ponadto pamiętać należy, że ogniwa fotowoltaiczne wytwarzają prąd stały, który, aby mógł zostać wprowadzony do sieci elektroenergetycznej, musi wpierw zostać przekształcony w falowniku na prąd zmienny o odpowiedniej częstotliwości i fazie (konieczność synchronizacji z siecią elektroenergetyczną). Zatem w ostatecznym rozrachunku należy uwzględnić straty termiczne w falowniku (w tego typu urządzeniach energoelektronicznych tyrystory bardzo mocno się nagrzewają) oraz straty związane z przesyłaniem energii na niskim napięciu (230/400V), co wiąże się z dużymi wartościami prądów (straty przesyłowe zależą od kwadratu wartości prądu).

Także w okresie nocnym nie jest bynajmniej tak, że falownik w ogóle nie pracuje. On nadal przez cały czas zsynchronizowany jest z siecią, czyli znajduje się niejako w stanie czuwania, będąc nieustannie gotowym do podjęcia pracy, w związku z czym musi pobierać z sieci pewne ilości energii elektrycznej [12]. Także gdy falownik pracuje, to nigdy nie działa w sposób ciągły, tylko co kilkadziesiąt sekund cyklicznie wyłącza się na krótką chwilę, aby ponownie dokonać pomiaru napięcia sieciowego na swoich zaciskach, a następnie dobrać odpowiednio optymalny punkt pracy na jego charakterystyce prądowo-napięciowej i dopiero wtedy rozpocząć ponownie generację mocy. Dodatkowo każdy falownik jest poważnym źródłem mocy biernej pojemnościowej, której wprowadzenie do sieci powoduje istotne zwiększenie strat przesyłowych [5]. Oczywiście powyższe czynniki mają niebagatelny wpływ na ostateczny bilans energetyczny instalacji fotowoltaicznych.

Wziąwszy pod uwagę wszystkie wymienione czynniki, nie jest już żadnym zaskoczeniem, że w przypadku fotowoltaiki współczynnik średniorocznego wykorzystania mocy zainstalowanej oscyluje wokół wartości wynoszącej zaledwie 10%. Uzyskany wynik może wydawać się nader niski, ale został on i tak uzyskany przy jednym bardzo optymistycznym założeniu, a mianowicie przyjęto milcząco, że moc wygenerowana przez fotowoltaikę zostanie w całości spożytkowana w systemie elektroenergetycznym. Niestety, jak się za chwilę okaże, wcale tak jednak być nie musi.

Współpraca fotowoltaiki z systemem elektroenergetycznym

W Tab. 1 zamieszczono dane dotyczące generacji mocy w poszczególnych godzinach doby z odnawialnych źródeł energii, takich jak elektrownie wiatrowe i fotowoltaiczne. Gdyby czysto hipotetycznie założyć, że w Polsce mamy zainstalowane dziesięć razy więcej mocy w fotowoltaice, niż ma to miejsce obecnie, wówczas zamieszczone w tab. 1 wartości należałoby również pomnożyć przez dziesięć.

Tabela 1. Dane dotyczące generacji ze źródeł odnawialnych w poszczególnych godzinach doby w dniu 22 kwietnia 2023

Godzina	Generacja źródeł wiatrowych	Generacja źródeł fotowoltaicznych
	[MWh]	[MWh]
1	2 041,875	0,000
2	1 584,913	0,000
3	1 211,950	0,000
4	1 032,438	0,000
5	877,700	0,000
6	785,088	39,538
7	764,700	545,200
8	581,500	2 237,713
9	184,188	4 526,563
10	52,000	6 417,838
11	58,275	7 617,500
12	134,675	8 204,625
13	194,663	8 007,163
14	225,325	8 001,425
15	252,013	7 597,363
16	322,175	6 684,163
17	364,563	5 331,400
18	381,663	3 381,925
19	382,325	1 328,800
20	562,775	225,175
21	1 049,775	2,263
22	1 533,638	0,000
23	2 141,475	0,000
24	2 906,550	0,000

Źródło: https://pse.pl/home.

Dziesięciokrotne zwiększenie mocy zainstalowanej w polskich panelach fotowoltaicznych oznaczałoby, że w dniu zaprezentowanym w Tab. 1, począwszy od ósmej, a skończywszy na osiemnastej godzinie doby, całe zapotrzebowanie na energię elektryczną w Polsce mogłoby zostać pokryte jedynie przez fotowoltaikę. Co więcej, w krajowym systemie elektroenergetycznym pojawiłaby się gigantyczna nadwyżka mocy. Przy założeniu, że zapotrzebowanie na moc w polskim systemie elektroenergetycznym wynosi 20 GW (co jest wartością raczej typową w okresie, gdy świeci słońce), powstałe nadwyżki mocy zostały dla poszczególnych godzin przedstawione w Tab. 2.

Tabela 2. Nadwyżki mocy, które pojawiłyby się w poszczególnych godzinach doby, gdyby moc zainstalowana w polskiej fotowoltaice była dziesięciokrotnie większa niż obecnie.

Godzina doby	Nadwyżka mocy [GW]
8	2,4
9	25,6
10	44,2
11	56,2
12	62,1
13	60,1
14	60,0
15	55,9
16	46,8
17	33,3
18	13,8

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych udostępnionych na stronie: https://pse.pl/home.

Jak wynika z Tab. 2, w dwunastej, trzynastej i czternastej godzinie doby nadwyżka wygenerowanej w fotowoltaice mocy wyniosłaby ponad 60 GW. Z punktu widzenia polskiego systemu elektroenergetycznego jest to wartość wręcz niewyobrażalna. Nie ma żadnych możliwości technicznych wprowadzenia tak wielkiej mocy do krajowych sieci elektroenergetycznych. Nie ma także żadnych fizycznych możliwości zmagazynowania tak gigantycznych ilości energii. Wystarczy tutaj wspomnieć, że w Polsce istnieje ogółem zaledwie sześć elektrowni szczytowo-pompowych (przy czym tylko dwie są stosunkowo większe: Żarnowiec i Porąbka-Żar) o łącznej mocy pompowej około

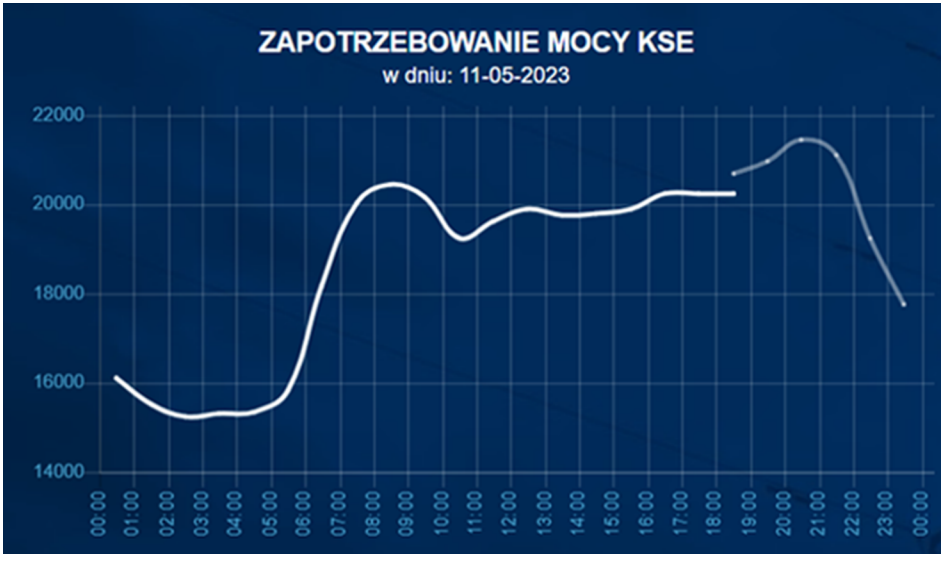
2 GW. Elektrownie te mogą pompować wodę do swych górnych zbiorników, gdy pracują z pełną mocą przez okres maksymalnie trzech godzin. Jednak uprzednie całkowite opróżnianie zbiorników górnych tego typu elektrowni nie wchodzi w ogóle w rachubę, ponieważ zagrażałoby bezpieczeństwu pracy systemu elektroenergetycznego, gdyż zawsze trzeba mieć zapas tzw. mocy interwencyjnej potrzebnej w przypadku nagłych awarii bloków energetycznych elektrowni cieplnych.

Reasumując, polskie elektrownie szczytowo-pompowe mógłby zmagazynować maksymalnie około 6 GWh energii elektrycznej. Tymczasem w każdej z wymienionych godzin doby generowane byłoby tej energii dziesięć razy więcej – ponad 60 GWh. W celu zmagazynowania tak wielkiej ilości energii (rzędu 60 GWh) należałoby wybudować w Polsce co najmniej dwadzieścia elektrowni szczytowo-pompowych takich jak w Żarnowcu (o mocy pompowej około 1 GW), To jednak jest niewykonalne i to nie tylko z powodu astronomicznych wręcz kosztów budowy rozważanych elektrowni szczytowo-pompowych (na chwilę obecną byłaby to zapewne kwota mieszcząca się w granicach jakichś 200 miliardów złotych, licząc po około 10 miliardów na jedną tego typu elektrownię), ale prawdopodobnie byłoby niezwykle trudno wskazać po prostu aż tyle potencjalnych lokalizacji pod ich budowę (musi tam przecież występować odpowiednio duża różnica poziomów wzniesienia terenu oraz dodatkowo muszą być spełnione odpowiednie warunki hydrotechniczne) [3].

W kontekście prowadzonych rozważań nie sposób nie wspomnieć o elektrowni szczytowo-pompowej w miejscowości Młoty położonej w Kotlinie Kłodzkiej. Pierwotnie miała to być największa tego typu elektrownia w Polsce o mocy generatorowej wynoszącej 750 MW, jednak jej budowę przerwano w latach osiemdziesiątych z powodów czysto ekonomicznych. Obecnie planowane jest wznowienie budowy elektrowni szczytowo-pompowej Młoty, przy czym rozważa się wykorzystanie sztolni wydrążonych w skałach ponad pół wieku temu. Jednak nie jest pewne, czy inwestycja ta zostanie w ogóle kiedykolwiek sfinalizowana, ponieważ podjęte w tym zakresie wstępne decyzje spotkały się już z protestami zarówno ekologów (w istniejących sztolniach zagnieździły się na dobre nietoperze), jak i lokalnych mieszkańców (musieliby zostać przesiedleni). Tak czy inaczej, nie wydaje się, aby elektrownia szczytowo-pompowa Młoty mogła zostać uruchomiona w przeciągu najbliższej dekady. Zatem budowa kolejnych tego typu obiektów to zapewne sprawa bardzo wątpliwa i na dodatek dotycząca bardzo jeszcze odległej przyszłości [2].

Ponadto poczynione uprzednio założenie, że fotowoltaika przez kilka godzin może pokryć całkowicie zapotrzebowanie na energię elektryczną w Polsce jest całkowicie nierealne. Jak wynika z Rys. 3, około dwudziestej i dwudziestej pierwszej godziny doby w systemie elektroenergetycznym pojawia się tzw. wieczorny szczyt zapotrzebowania. Wówczas produkcja fotowoltaiki wynosi dokładnie zero, a zapotrzebowanie na moc jest relatywnie największe i musi w praktyce zostać pokryte prawie w całości przez elektrownie cieplne, co prawda wspomagane nieco przez elektrownie wodne zbiornikowe, elektrownie szczytowo-pompowe, elektrownie wiatrowe (o ile wtedy wieje dostatecznie silny wiatr) oraz import energii z krajów ościennych (zwykle po bardzo wysokich cenach).

Rysunek 3. Dobowy wykres zmian zapotrzebowania na moc w krajowym systemie elektroenergetycznym



Źródło: https://pse.pl/home.

Niestety, pracujące w naszym kraju elektrownie cieplne, które są opalane węglem kamiennym i brunatnym, charakteryzują się niskim poziomem elastyczności mocy, której nie można obniżyć więcej niż o około 40% ich mocy maksymalnej. Elektrowni tych także nie można o tak po prostu wyłączyć na

czas trwania szczytu produkcji z fotowoltaiki, ponieważ ponowny rozruch bloku cieplnego trwa zwykle od sześciu do nawet i ośmiu godzin, a generacja mocy z tych bloków jest bezwzględnie potrzebna w systemie elektroenergetycznym w czasie trwania wieczornego szczytu obciążenia [5]. Ocenia się, że minimum technologiczne łącznej mocy pracujących w krajowym systemie elektroenergetycznym elektrowni cieplnych wynosi około 8 GW i dalsze zejście poniżej tej wartości stanowi już zagrożenie dla stabilności pracy systemu (zmniejszenie tzw. stałej inercji systemu) [12]. Należy jeszcze wspomnieć, że znaczne obniżenie mocy bloku cieplnego powoduje także drastyczny spadek jego sprawności [8]. Ostatecznie skutek tego jest taki, że w efekcie w elektrowniach cieplnych spalamy znacznie więcej węgla, niż byłoby to teoretycznie konieczne, w celu wyprodukowania określonych ilości energii, tylko po to, aby fotowoltaika mogła w tym czasie pracować z możliwie największą dla zadanych warunków mocą.

Kolejnym problemem związanym z maksymalnie możliwym wykorzystaniem mocy zainstalowanej w fotowoltaice jest ich współpraca z innymi odnawialnymi źródłami energii. Trzeba bowiem pamiętać, że oprócz fotowoltaiki mamy w systemie elektroenergetycznym zainstalowane również i inne odnawialne źródła energii. Należą do nich, między innymi elektrownie wodne przepływowe. Nie mają one jednak w przypadku polskiego systemu elektroenergetycznego większego znaczenia. Jak wynika z Rys. 4 w dniu 9 maja 2023 roku generowały łącznie 226 MW mocy. To, co jednak istotne, tego typu elektrownie muszą pracować w sposób ciągły, ponieważ nie są wyposażone w zbiorniki umożliwiające gromadzenie nadmiaru wody, aby generować moc jedynie w okresie wieczornego szczytu obciążenia (natomiast ma to miejsce w przypadku elektrowni wodnych zbiornikowych). Jednak, jak już uprzednio wspomniano, elektrownie te w Polsce nie mają jakiegoś większego znaczenia i w ogólnym bilansie systemu elektroenergetycznego można je w zasadzie pominąć.

Natomiast zupełnie inaczej przedstawia się sytuacja w przypadku elektrowni wiatrowych. Obecnie na terenie naszego kraju zainstalowano już ponad 9 GW mocy w elektrowniach wiatrowych i planowane są kolejne tego typu inwestycje, zwłaszcza w morskie farmy wiatrowe, gdzie w kolejnej dekadzie ma zostać zainstalowanych nawet i 7 GW mocy [6]. Ogółem przewiduje się, że za dziesięć lat w polskich elektrowniach wiatrowych może zostać zainstalowanych nawet i ponad 20 GW mocy.

Rysunek 4. Dane dotyczące mocy generowanych w krajowym systemie elektroenergetycznym w dniu 9 maja 2023

Źródło: https://pse.pl/home

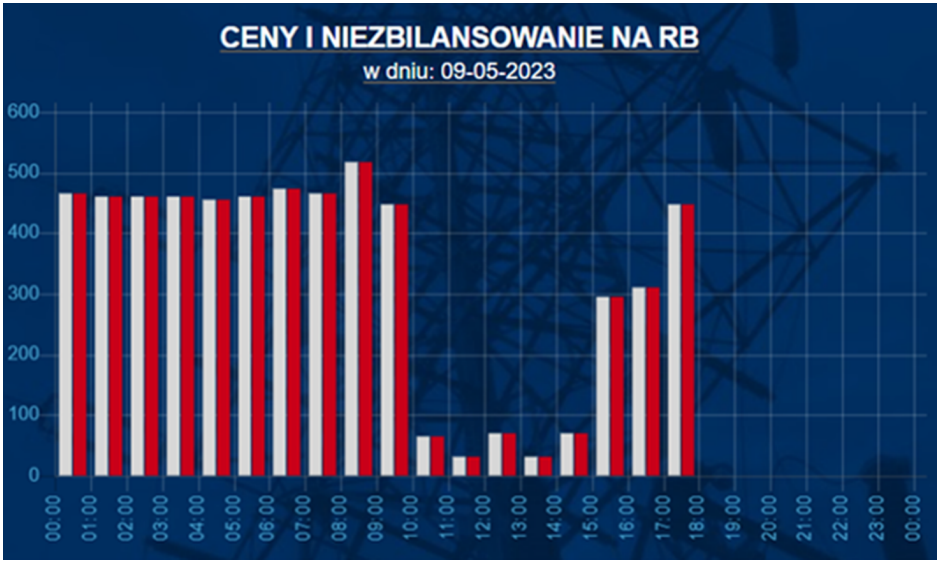
Wynika stąd, że energetyka wiatrowa wyrasta na coraz poważniejszą konkurencję dla fotowoltaiki [6]. Do pewnego jednak stopnia oba wymienione źródła odnawialnej energii elektrycznej mogą się wzajemnie uzupełniać. Dotyczy to zwłaszcza sezonowości produkcji, ponieważ najsilniejsze wiatry wieją przede wszystkim w okresie zimowym, gdy produkcja energii z fotowoltaiki jest w zasadzie jedynie symboliczna. Większe prędkości wiatrów występują także najczęściej po zachodzie słońca. Ogólnie rzecz ujmując, im mniejsza jest temperatura powietrza, tym silniej wieją wiatry [9].

Niestety, od podanej reguły występują także liczne odstępstwa. Przykładowo, z Rys. 4 można wyczytać, że w dniu 9 maja 2023 roku około godziny trzynastej fotowoltaika osiągnęła szczyt generacji mocy, wynoszący 8726 MW, ponieważ w rozważanym okresie czasu była piękna słoneczna pogoda, a niebo było w zasadzie bezchmurne, ale jednocześnie silnie wiały wiatry. W efekcie do generowanej przez fotowoltaikę mocy doszła jeszcze moc z elektrowni wia-

trowych w wielkości 4192 MW, co łącznie dało wraz elektrowniami wodnymi przepływowymi ponad 13 GW mocy ze źródeł odnawialnych. W owym czasie moc elektrowni cieplnych została zredukowana nieco poniżej 10 GW, czyli w zasadzie blisko ich dopuszczalnego technicznego minimum mocy (bloków cieplnych tych elektrowni nie można na zaledwie kilka godzin wyłączyć, ponieważ ponowny ich rozruch zajmuje co najmniej sześć godzin). Sytuację ratował również awaryjny eksport energii w wysokości nieco ponad 2,5 GW.

Gdyby mocy zainstalowanej w polskiej fotowoltaice było dwa razy więcej, nie byłoby już w zasadzie żadnych możliwości, aby jej nadmiar w jakikolwiek sposób spożytkować. Zresztą tego typu sytuacja miała już miejsce po raz pierwszy w historii w dniu 23 kwietnia, a następnie 30 kwietnia, a także 2 lipca 2023 i zapewne nie jeden raz jeszcze się w przyszłości powtórzy. Wówczas Polskie Sieci Elektroenergetyczne S. A. (PSE) musiały ogłosić stan zagrożenia dostaw energii elektrycznej na terenie całego kraju, ponieważ tylko w takiej sytuacji mogły wydać nakaz odłączenia od sieci elektroenergetycznej wybranych farm fotowoltaicznych i elektrowni wiatrowych.

Rysunek 5. Informacja o hurtowych cenach energii elektrycznej w poszczególnych godzinach doby w dniu 9 maja 2023



Źródło: https://pse.pl/home.

Jak już wspomniano, w sytuacji nadmiernej podaży energii elektrycznej pochodzącej ze źródeł odnawialnych można do pewnego stopnia ratować się jej eksportem do krajów ościennych, co na pierwszy rzut oka może wydawać się zjawiskiem jak najbardziej korzystnym, bo przecież na eksporcie różnych dóbr zwykle nieźle się zarabia. Gdy jednak spojrzymy na Rys. 5, na którym pokazano, jak w ciągu doby zmienią się hurtowe ceny energii elektrycznej na rynku, to widać, że sprawa z eksportem energii elektrycznej pochodzącej z instalacji fotowoltaicznych przedstawia się zgoła odmiennie. Mianowicie, w przedziale czasowym od dziesiątej do piętnastej godziny doby, czyli w szczycie generacji mocy z fotowoltaiki, hurtowe ceny energii spadły praktycznie w okolice zera (było to nawet poniżej 30 złotych za jedną megawatogodzinę, podczas gdy w warunkach normalnych kosztuje ona zwykle około 500 złotych, a w szczycie obciążenia niekiedy jeszcze znacznie więcej). W efekcie wysyłaliśmy przez kilka godzin energię elektryczną do krajów ościennych w zasadzie za darmo.

Czy w przyszłości eksport energii elektrycznej w szczycie produkcji z fotowoltaiki będzie w ogóle możliwy, nie jest sprawą bynajmniej pewną, ponieważ nasi zachodni i południowi sąsiedzi również mocno stawiają na dalszy rozwój farm fotowoltaicznych i z pewnością będą mieć problemy tego samego typu, jak te, które nas nieuchronnie czekają w przyszłości. W 2023 roku doszło już raz do sytuacji, gdy w szczycie generacji mocy z fotowoltaiki pojawiły się nawet ujemne ceny energii, czyli faktycznie trzeba było płacić swego rodzaju karę za wprowadzanie mocy pochodzącej z paneli fotowoltaicznych do sieci elektroenergetycznej.

Zakończenie

Według obiegowych opinii, pojawiających się często w środkach masowego przekazu, w przyszłości czeka nas dalszy dynamiczny przyrost mocy zainstalowanej w systemach fotowoltaicznych. Przewidywany scenariusz rozwoju fotowoltaiki w naszym kraju przedstawiany jest jako zjawisko ze wszech miar korzystne, a właściwie nieograniczony wzrost mocy zainstalowanej w panelach fotowoltaicznych jest uważny za stan jak najbardziej pożądany.

Jest rzeczą oczywistą, że propagowanie tego rodzaju opinii leży jak najbardziej w interesie przedsiębiorstw handlujących systemami fotowoltaicznymi oraz firm zajmujących się montażem i serwisowaniem paneli fotowoltaicznych i falowników – powstanie kolejnych instalacji fotowoltaicznych to dla nich przecież czysty zysk, a martwić tym w przyszłości będzie się zapewne ktoś inny. Tymczasem z przeprowadzonych w niniejszym artykule analiz

wynika coś zgoła odmiennego. Jest rzeczą oczywistą, że każdy wzrost ma swoje naturalne granice. W związku z powyższym również dla fotowoltaiki występuje krytyczna wartość mocy zainstalowanej, po przekroczeniu której jej dalszy wzrost nie jest już ekonomicznie uzasadniony. Jeśli współczynnik średniorocznego wykorzystania mocy zainstalowanej wynosi w przypadku fotowoltaiki około 10%, oczywiście przy założeniu, że cała wygenerowana energia zostanie spożytkowana, to dziesięciokrotne zwiększenie mocy zainstalowanej w polskiej fotowoltaice aż do 140 GW spowodowałoby, że w szczytowym okresie generacji co najmniej 80% zainstalowanych paneli musiałoby zostać odłączonych od sieci, żeby zapewnić zbilansowanie systemu elektroenergetycznego. Taki stan rzeczy spowodowałby, że współczynnik średniorocznego wykorzystania mocy zainstalowanej spadłby do wartości zaledwie około 2%. Oznaczałoby to, że z każdego zainstalowanego w panelach fotowoltaicznych kilowata otrzymalibyśmy pracujące w sposób ciągły źródło mocy o znikomej wartości równej zaledwie 20 W, co nie wystarczyłoby nawet do zasilania jednej klasycznej żarówki o najmniejszej dostępnej na rynku mocy (wynoszącej 25 W). W kontekście powyższych wywodów pytanie o ekonomiczną opłacalność tego rodzaju przedsięwzięcia należy traktować li tylko w kategoriach pytań retorycznych.

Jak już wcześniej wspomniano, całkowita moc zainstalowana w Polsce w panelach fotowoltaicznych za niedługo przekroczy już wartość 14 GW, przy czym dalszy wzrost wartości mocy zainstalowanej powodował będzie w kolejnych latach coraz częstsze pojawianie się sytuacji, zwłaszcza w miesiącach wiosennych i letnich, że przy pięknej słonecznej pogodzie część z farm fotowoltaicznych będzie musiała być przymusowo odłączana od sieci elektroenergetycznej w okresie szczytu generacji w nich mocy. Pojawienie się w rozważanym okresie silnych wiatrów dodatkowo będzie sytuację tę jeszcze tylko pogarszać – trzeba będzie wówczas podejmować decyzję: co wyłączyć? Fotowoltaikę czy wiatraki? Czy może w jakimś stopniu i jedno, i drugie?

Jednym ze sposobów zaradzenia takiej ze wszech miar niekorzystnej sytuacji jest magazynowanie energii w szczytowym okresie jej produkcji. Niestety, istniejące w kraju elektrownie szczytowo-pompowe nie dysponują ani potrzebną do tego mocą pompową, ani odpowiednio wielką pojemnością zbiorników gromadzących wodę [2]. Tymczasem budowa kolejnych tego typu obiektów to kwestia dopiero następnych dekad, z czym wiąże się dodatkowo konieczność pozyskania wręcz gigantycznych funduszy [3].

O wiele bardziej realistycznym rozwiązaniem wydaje się zwiększenie elastyczności elektrowni cieplnych, które muszą dostarczyć odpowiedniej

wartości mocy w okresie wieczornego szczytu obciążenia, gdy fotowoltaika przestaje pracować, a zapotrzebowanie odbiorców na moc elektryczną jest relatywnie największe. Ponieważ w perspektywie najbliższych kilkunastu lat istniejące w naszym kraju stare elektrownie węglowe o niskiej sprawności wynoszącej zaledwie około 30% (zdecydowana większość z nich pamięta jeszcze epokę Gierka, a niektóre nawet i Gomułki) mają zostać zlikwidowane, wydawać się może, że rozsądnym posunięciem byłoby ich zastąpienie elektrowniami wyposażonymi w turbiny gazowe, ponieważ to właśnie one charakteryzują się największą elastycznością, a ponadto można je szybko uruchomić po wcześniejszym odstawieniu z ruchu na okres kilku godzin [10]. Niestety, w ostatnim czasie zaopatrywanie naszego kraju w większe ilości gazu ziemnego stało się bardzo problematyczne. Biorąc pod uwagę konieczność zapewniania bezpieczeństwa energetycznego kraju można mieć poważne wątpliwości, czy przestawienie elektroenergetyki na gaz jest aby słusznym kierunkiem. Z drugiej strony Polska posiada jedne z największych w Europie złoża węgla brunatnego, które mogłyby zapewnić nam tanią energię elektryczną na okres co najmniej stu lat. Niestety ich dalsza eksploatacja stała się obecnie w zasadzie niemożliwa z powodów czysto ideologicznych, ale jest to temat na całkowicie odrębny artykuł.

Na zakończenie warto uświadomić sobie jeszcze jedną rzecz. Mianowicie, do wyprodukowania paneli fotowoltaicznych i całego związanego z nimi dodatkowego osprzętu (kable, złączki, falowniki, wsporniki mocujące itp.), podobnie zresztą jak i do wyprodukowania każdej innej rzeczy, potrzebna jest przecież energia. Szacuje się, że wyprodukowanie panelu fotowoltaicznego o mocy 1 kW wymaga uprzedniego wydatkowania energii w niebagatelnej ilości 3 MWh [12]. Tymczasem zainstalowany na obszarze Polski panel fotowoltaiczny o mocy 1 kW jest w stanie wyprodukować w ciągu roku jedynie około 0,8 MWh. Z prostego rachunku wynika, że rozważany panel fotowoltaiczny musi pracować aż przez cztery kolejne sezony (miesiące wiosenne i letnie – gdy jest największa produkcja energii) tylko po to, aby wytworzyć energię, która została uprzednio zużyta do jego wyprodukowania. Jeśli zestawimy te cztery lata z przewidywanym czasem życia paneli fotowoltaicznych szacowanym na około 20 lat, to nie jest to już bynajmniej wartość zaniedbywalna. Dodatkowo pamiętać należy jeszcze o utracie wydajności paneli w związku z procesami ich starzenia się, a także zabrudzenia (bo niby kto będzie regularnie wychodził na dach budynku i je czyścił?), podwyższonej temperatury pracy w miesiącach letnich (utrata nawet do 0,5% wydajności na każdy stopień Celsjusza powyżej temperatury nominalnej), czy też o ich

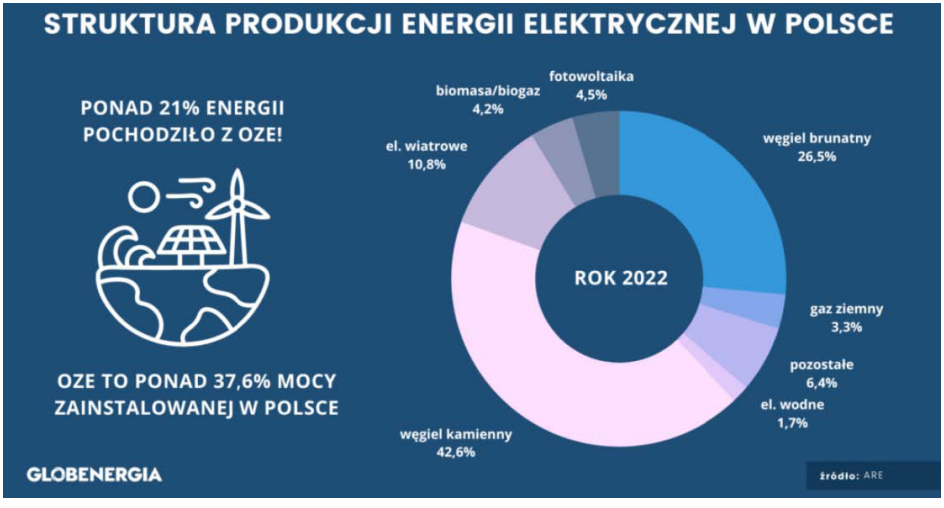
wcześniejszej niż planowana wymianie, wskutek nieodwracalnych uszkodzeń (choćby przez grad lub uderzenie pioruna) bądź awarii (powstałych wskutek wystąpienia zwarć w ogniwach, czyli tzw. *hotspotów*, stanowiących równocześnie poważne zagrożenie pożarowe) [12]. Ostateczny bilans energetyczny pogarszany jest także przymusowymi odłączeniami od sieci falowników, gdy przekroczona zostanie dopuszczalna wartość napięcia na ich zaciskach powyżej 253 V. Taka sytuacja powstaje w wyniku nadmiaru mocy generowanej przez fotowoltaikę, gdy w godzinach okołopołudniowych nie ma jej po prostu kto odebrać. Ponadto w skrajnych przypadkach PSE odłącza od sieci również i duże farmy fotowoltaiczne, aby zbilansować moce w krajowym systemie elektroenergetycznym. Uwzględniając powyższe, można przyjąć, że być może nawet i 1/3 energii elektrycznej wytworzonej podczas całego cyklu życia panelu fotowoltaicznego musiała wpierw zostać spożytkowana do jego wyprodukowania (oczywiście wraz z całym potrzebnym do tego osprzętem, przy czym średni czas życia falownika to zaledwie około 10 lat). Tak zatem wygląda w praktyce cała ta ekologia, nie mówiąc już o szkodliwości dla środowiska produkcji kryształów krzemu, czy wydobycia pierwiastków ziem rzadkich (miliony hektarów chińskiej ziemi zniszczone na wieki).

Warto mieć także świadomość faktu, że koszt zainstalowania jednostki mocy w panelach fotowoltaicznych jest porównywalny z kosztem zainstalowania jednostki mocy w blokach cieplnych. Wynika stąd prosty wniosek, że instalując dotychczas w polskiej fotowoltaice 14 GW mocy, to za te same pieniądze mniej więcej tyle samo mocy można byłoby zainstalować w nowoczesnych blokach cieplnych zaprojektowanych na tzw. parametry nadkrytyczne (temperatura pary świeżej około 600 stopni Celsjusza i ciśnienie powyżej 280 atmosfer). A pamiętać należy o tym, że w Polsce mamy wciąż zainstalowane w starych dwustumegawatowych blokach tzw. „dwusetkach" (niektóre z nich mają już ponad 50 lat i nadal działają – wręcz istny cud techniki!) około 10 GW mocy. Zamienienie tych 10 GW mocy zainstalowanej w wysłużonych gierkowskich (a nawet i w niektórych wypadkach gomułkowskich) „dwusetkach" (o sprawności netto około 30%) na 15 nowoczesnych bloków o mocy 1 GW każdy, zaprojektowanych na parametry nadkrytyczne (o sprawności netto ponad 45%), spowodowałoby, że spalając te same ilości węgla kamiennego bądź brunatnego, otrzymalibyśmy dodatkowo źródło mocy o wartości 5 GW całkowicie za darmo, bo z tej samej ilości węgla otrzymalibyśmy półtora razy więcej energii elektrycznej. Proszę sobie tylko wyobrazić, energię z elektrowni o mocy 5 GW, czyli takiej, jak obecnie znajduje się w Bełchatowie (największa elektrownia cieplna w kraju), mielibyśmy całkowicie gratis!

Dodatkowo emisja dwutlenku węgla zostałaby automatycznie zmniejszona o ponad 30%, bo tyle procentowo mniej węgla potrzebują nowoczesne bloki na parametry nadkrytyczne w porównaniu ze starymi „dwusetkami", w celu wytworzenia tej samej ilości energii elektrycznej. A tymczasem mamy w kraju plany budowy elektrowni atomowych, żeby w przyszłości zastąpić czymś te rozsypujące się w dosłownym tego słowa znaczeniu bloki cieplne pochodzące z epoki Gierka czy jeszcze w skrajnych przypadkach nawet i z epoki późnego Gomułki. Pytanie tylko, czy wytrzymają one co najmniej 15 kolejnych lat, zanim planowane obecnie elektrownie atomowe zaczną pracować ze swą pełną mocą? W każdym razie najbliższe lata w polskiej elektroenergetyce zapowiadają się niezwykle „ciekawie".

Na koniec warto jeszcze spojrzeć na wykres przedstawiony na Rys. 6, na którym przedstawiono udział poszczególnych źródeł energii elektrycznej w polskim miksie energetycznym.

Rysunek 6. Udział różnego typu źródeł w produkcji energii elektrycznej w Polsce



Źródło: https://globenergia.pl/ponad-21-energii-pochodzilo-z-oze-miks-energetyczny-i-struktura-produkcji-energii-w-polsce-w-2022-r

Jak wynika z Rys. 6, fotowoltaika pokryła jedynie zaledwie 4,5% rocznego zapotrzebowania na energię elektryczną w Polsce. Wnioski są wręcz

szokujące, jeżeli zestawimy te 4,5% wyprodukowanej energii pochodzącej z fotowoltaiki z wręcz gigantycznymi kosztami poniesionymi na jej rozwój, za które można byłoby wybudować co najmniej 13 nowoczesnych bloków cieplnych na parametry nadkrytyczne, choćby takich, jak ten w elektrowni Kozienice o mocy 1075 MW (identyczny miał powstać w elektrowni Ostrołęka, ale jego budowę całkiem niedawno przerwano wskutek protestów organizacji ekologicznych, jednocześnie wyrzucając dosłownie w błoto około 1,5 miliarda złotych), czyli można było *de facto* zmodernizować całą polską elektroenergetykę na okres kolejnych co najmniej trzydziestu czy nawet czterdziestu lat. Tymczasem zamiast tego mamy wysoce niestabilne źródła energii, pokrywające w okresie rocznym jedynie 4,5% zapotrzebowania na energie elektryczną, które i tak muszą być w stu procentach rezerwowane przez elektrownie cieplne, a w przyszłości prawdopodobnie przez elektrownie atomowe, z których nasz zachodni sąsiad właśnie całkowicie zrezygnował, ponieważ nikt nie jest wstanie udzielić stuprocentowej gwarancji, ze praca któregoś z reaktorów nie zakończy się tak jak w Czarnobylu bądź w Fukushimie (czyli w kraju o najwyższej kulturze technicznej) [12]. Zakładając nawet, że nie grożą nam większe trzęsienia ziemi, wybuchy wulkanów ani fale tsunami, to i tak nie jesteśmy w stanie całkowicie wyeliminować zagrożeń związanych z potencjalnym atakiem terrorystycznym (jak choćby ten z 11 września 2001 roku) bądź zbombardowania lub ostrzelania rakietami reaktorów podczas działań wojennych, co skutkowałoby skażeniem znacznego obszaru naszego kraju na okres co najmniej kilkudziesięciu lat.

Bibliografia

1. Chmielniak T., *Technologie energetyczne*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2018.
2. Elżbieciak T., *Wodne elektrownie szczytowe mogą wrócić z wielką pompą*, https://wysokienapiecie.pl/67151-wodne-elektrownie-szczytowe-moga-wrocic-z-wielka-pompa/.
3. Handzel Z., Gajer M., *O pilnej potrzebie budowy w Polsce kolejnych elektrowni szczytowo-pompowych pełniących rolę magazynów energii*, Zeszyty Naukowe WSEI, nr 18.
4. Kotłowski K., *Fotowoltaika w Czechach. Popełnili ten sam błąd, co Polacy*, https://gadzetomania.pl/fotowoltaika-w-czechach-popelnili-ten-sam-blad-co-polacy,6889079308028512a, 2023.

5. Kujszczy S., Brociek S., Flisowski Z., Gryko J., Nazarko J., Zdun Z., *Elektroenergetyczne układy przesyłowe*, Wydawnictwa naukowo-Techniczne, Warszawa 1997.
6. Latarska A., *Zanim powstaną elektrownie na morzu…*, Miesięcznik Polska na Morzu, nr 5(43).
7. Laudyn D., Pawlik M., Strzelczyk F., *Elektrownie*, Wydawnictwa Naukowo -Techniczne, Warszawa 2000.
8. Machowski J., Lubośny Z., *Stabilność systemu elektroenergetycznego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2018.
9. Marecki J., *Podstawy przemian energetycznych*, Wydawnictwa Naukowo -Techniczne, Warszawa 2000.
10. Markiewicz H., *Urządzenia elektroenergetyczne*, Wydawnictwo WNT, Warszawa 2012.
11. Skłodowska M., *Fotowoltaika dla firm coraz ważniejsza. Co pomoże w inwestycjach?*, https://wysokienapiecie.pl/83071-fotowoltaika-dla-firm-coraz-wazniejsza/, 2023.
12. Zadrożniak M., *Kompendium wiedzy o elektrowniach wiatrowych, słonecznych, węglowych i atomowych*, Biblioteka Wolności, Warszawa 2023.