

O pilnej potrzebie budowy w Polsce kolejnych elektrowni szczytowo-pompowych pełniących rolę magazynów energii

On the urgent need to build more pumped storage power plants in Poland acting as energy storage facilities

Streszczenie: Ogniwa fotowoltaiczne są obecnie postrzegane jako najbardziej perspektywiczne źródła energii odnawialnej. W porównaniu z elektrowniami wiatrowymi instalacje fotowoltaiczne charakteryzują się znacznie lepszą przewidywalnością i stabilnością pracy. Niestety ich główną wadą jest dobowy cykl produkcyjny energii elektrycznej, która na dodatek dość mocno różni się z wykresem zmienności zapotrzebowania na energię w systemie elektroenergetycznym. W chwili obecnej produkcja energii w instalacjach fotowoltaicznych na terytorium naszego kraju jest jeszcze na stosunkowo niskim poziomie, w związku z czym nie ma na razie większych problemów z jej zagospodarowaniem, gdyż w takim wypadku wystarczające jest relatywnie umiarkowane obniżenie mocy bloków elektrowni ciepłych w okolicach dwunastej godziny doby. Jednak obserwowany obecnie dynamiczny przyrost mocy zainstalowanej w panelach fotowoltaicznych już wkrótce sprawi, że zagospodarowanie nadwyżek energii wytwarzanej w szczycie generacji stanie się poważnym problemem. Jedynym w zasadzie znanym sposobem, pozwalającym na magazynowanie bardzo dużych ilości energii elektrycznej, rzędu kilkudziesięciu GWh, jest wykorzystanie w tym celu elektrowni szczytowo-pompowych. W artykule omówiono pokrótce istniejące w naszym kraju elektrownie szczytowo-pompowe, podając wartości charakteryzujących je parametrów. Omówiono także niedokończone i planowane w przeszłości inwestycje w zakresie budowy nowych elektrowni szczytowo-pompowych. Wykazano,

¹⁾ Dr inż. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

²⁾ Dr inż. Prof. WSEI Wyższa Szkoła Ekonomii i Informatyki w Krakowie

że powrót do zarzuconych w przeszłości koncepcji budowy kilku dużych, o mocy rzędu 1000 MW, elektrowni szczytowo-pompowych jest obecnie sprawą priorytetową, jeśli tylko chcemy poważnie myśleć o dalszym rozwoju fotowoltaiki w Polsce.

Słowa kluczowe: odnawialne źródła energii, ogniwa fotowoltaiczne, magazynowanie energii, elektrownie szczytowo-pompowe

Summary: Photovoltaic cells are now seen as the most promising source of renewable energy. Compared with wind power plants, photovoltaic installations have much better predictability and stability of operation. Unfortunately, their main disadvantage is the diurnal cyclicity of electricity production, which, in addition, is quite far from the graph of variability of energy demand in the power system. At the moment, the energy production of photovoltaic installations on the territory of our country is still at a relatively low level, and therefore there are no major problems with its development for the time being, as in this case a relatively moderate reduction in the power of blocks of thermal power plants around the twelfth hour of the day is sufficient. However, the rapid increase in installed capacity of photovoltaic panels, which is currently being observed, will soon make the management of surplus energy generated during peak generation a serious problem. In principle, the only known way to store very large amounts of electricity, on the order of several tens of GWh, is to use pumped storage power plants for this purpose. The article briefly discusses the existing pumped storage power plants in our country, giving the values of the parameters that characterize them. It also discusses unfinished and planned in the past investments in the construction of new pumped storage power plants. It is shown that the return to the concepts abandoned in the past for the construction of several large pumped storage power plants of the order of 1,000 MW is now a matter of priority, if only we want to think seriously about the further development of photovoltaics in Poland.

Keywords: renewable energy sources, photovoltaic cells, energy storage, pumped storage power plants

JEL classification codes: D61, Q2

Wstęp

Pośród wszystkich typów odnawialnych źródeł energii elektrycznej to właśnie instalacje fotowoltaiczne wydają się być obecnie rozwiązaniami najbardziej perspektywicznymi. Obserwowany w ostatnim czasie rozwój fotowoltaiki w Polsce jest doprawdy spektakularny. W chwili pisania niniejszego artykułu zainstalowana w naszym kraju moc we wszystkich panelach fotowoltaicznych przekroczyła już wartość 10 tysięcy megawatów i nadal dynamicznie wzrasta.

Jeżeli weźmiemy pod uwagę, że obecnie instalacje fotowoltaiczne posiada zaledwie około 15% domów jednorodzinnych, to widać, jak wielki istnieje jeszcze potencjał do dalszego wzrostu w rozważanym obszarze. Dodatkowo należy uwzględnić fakt, że w Polsce fotowoltaika nie jest jeszcze prawie w ogóle obecna w przypadku budynków wielorodzinnych (bloków mieszkalnych i kamienic) oraz budynków użyteczności publicznej (zwłaszcza przedszkola, szkoły, uczelnie wyższe i urzędy). Co więcej, instalacji fotowoltaicznych nie posiadają jeszcze prawie w ogóle zakłady przemysłowe, gdzie wytworzona w panelach energia elektryczna mogłaby być praktycznie w całości konsumowana na miejscu, co jest z ekonomicznego punktu widzenia najbardziej korzystne. Zatem ogromna wręcz przestrzeń do dalszego dynamicznego wzrostu mocy zainstalowanej w instalacjach fotowoltaicznych w naszym kraju bez jakiegokolwiek cienia wątpliwości z pewnością istnieje.

Odrębną kwestią jest możliwość budowy dużych elektrowni fotowoltaicznych o mocy przekraczającej wartość jednego megawata, z których moc wyprowadzana jest bezpośrednio liniami średniego napięcia (15 kV) bądź nawet, w przypadku większych instalacji, liniami wysokiego napięcia (110 kV). Tego typu elektrowni słonecznych w Polsce jest jeszcze bardzo niewiele, a z drugiej strony w naszym kraju istnieje wiele gruntów ornych, które nie są atrakcyjne pod względem rolniczym. Zwłaszcza na południu Polski w rejonach górskich występują masowo, leżące w większości odłogiem, gleby niskiej klasy bądź nawet pozaklasowe, nie mające dla rolnictwa w zasadzie żadnego znaczenia (poza ewentualnie pasterstwem), które można właściwie bez żadnej szkody poświęcić pod budowę elektrowni fotowoltaicznych. Tutaj niezwykle atrakcyjnie przedstawiają się południowe stoki zboczy górskich, w przypadku których warunki do generacji mocy ze światła słonecznego są najbardziej korzystne [1].

Niestety poza ogromną wręcz przestrzenią do potencjalnego dalszego wzrostu mocy zainstalowanej w panelach fotowoltaicznych występują w tym

względnie również pewne istotne ograniczenia, spośród których najczęściej obecnie wymieniana jest zbyt mała przepustowość lokalnych sieci niskiego napięcia (230/400 V). Problem polega na tym, że w godzinach maksymalnej generacji mocy z paneli fotowoltaicznych zapotrzebowanie na energię elektryczną w budynkach jednorodzinnych jest stosunkowo niewielkie. Jeżeli do sieci niskiego napięcia podłączonych jest jednocześnie wiele budynków posiadających instalacje fotowoltaiczne, wówczas wyprowadzenie z nich tak dużej mocy elektrycznej może nie być w ogóle możliwe, ponieważ dalsze podnoszenie napięcia falowników mogłoby doprowadzić do uszkodzenia współpracujących z rozważaną siecią urządzeń elektrycznych. W związku z powyższym wydaje się, że przebudowa sieci niskich napięć na wielu obszarach naszego kraju będzie w nadchodzących latach pilną koniecznością, co oczywiście wiązać się będzie z odpowiednio wysokimi kosztami [6].

Inną kwestią, o której w opinii autorów obecnie w zasadzie się jeszcze nie wspomina, jest współpraca instalacji fotowoltaicznych z całym systemem elektroenergetycznym naszego kraju. Zdaniem autorów dalszy dynamiczny wzrost mocy generowanej w instalacjach fotowoltaicznych spowoduje, że wspomniany aspekt nabierze już w niedalekiej przyszłości kluczowego znaczenia.

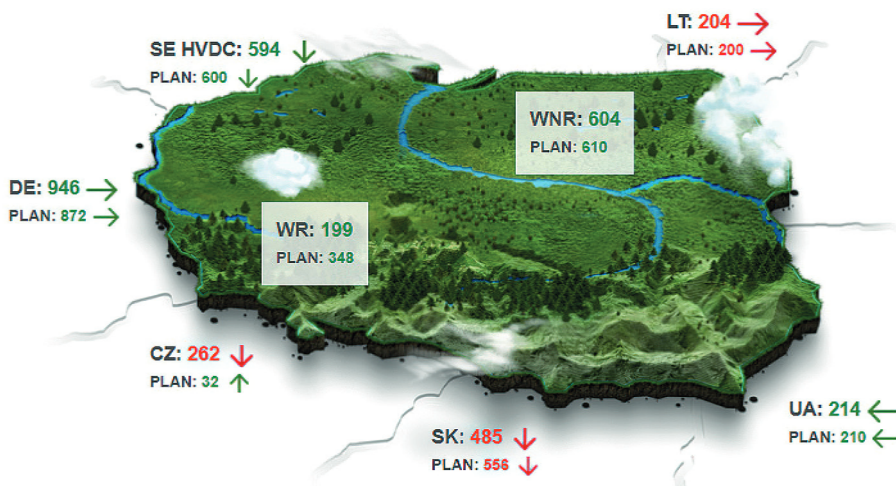
Praca instalacji fotowoltaicznych w krajowym systemie elektroenergetycznym

System elektroenergetyczny jest przestrzennie rozległym i bardzo złożonym obiektem technicznym, na który składają się różnego typu jednostki generujące energię elektryczną, elektroenergetyczne linie przesyłowe i stacje wysokich napięć oraz końcowe urządzenia odbiorcze [2]. Tym, co jest niezwykle istotne, to konieczność zapewnienia nieustannego zbilansowania mocy w systemie elektroenergetycznym, co oznacza, że w danej chwili moc generowana przez jednostki wytwórcze musi być w przybliżeniu równa sumie mocy pobieranej przez odbiorców oraz mocy strat przesyłowych. Naruszenie tego bilansu powoduje zmianę częstotliwości pracy sieci elektroenergetycznych, co w skrajnych przypadkach może wymusić konieczność automatycznego wyłączenia grupy odbiorców, w celu umożliwienia ponownego powrotu systemu do stanu zbilansowania [4].

Niezwykle pomocną w utrzymaniu stanu zbilansowania mocy w krajowym systemie elektroenergetycznym jest możliwość wymiany mocy z systemami elektroenergetycznymi sąsiednich państw. W przypadku polskiego

systemu elektroenergetycznego bezpośrednie połączenia istnieją z Niemcami, Czechami, Słowacją, Ukrainą, Litwą oraz Szwecją (połączenie stałoprądowe kablem podmorskim pracującym pod napięciem 450 kV) [3]. Na rys. 1 przedstawiono, zaczerpniętą ze strony internetowej Polskich Sieci Elektroenergetycznych S.A., mapkę ukazującą aktualne w danym momencie wartości mocy wymienianej przez polski system elektroenergetyczny z systemami elektroenergetycznymi sąsiednich państw, przy czym kolorem zielonym zaznaczono import, a kolorem czerwonym eksport mocy elektrycznej wyrażonej w megawatach.

Rysunek 1. Wymiana mocy krajowego systemu elektroenergetycznego z sąsiednimi państwami



Źródło: <https://pse.pl/home>

Z kolei na rys. 2 zamieszczono szczegółowe dane dotyczące pracy krajowego systemu elektroenergetycznego w danym momencie. Podane jest tam, między innymi, całkowite zapotrzebowanie na moc w krajowym systemie elektroenergetycznym (22030 MW), całkowita moc generowana (22447 MW) oraz wartość mocy przesyłanej do systemów elektroenergetycznych sąsiednich państw (325 MW). Jak wynika z rys. 2, zapotrzebowanie na moc w krajowym systemie elektroenergetycznym pokrywane jest głównie przez elektrownie ciepłone opalane węglem kamiennym i brunatnym (12538 MW),

aczkolwiek zaobserwować można także znaczny wkład odnawialnych źródeł energii elektrycznej: elektrownie wiatrowe (5997 MW), elektrownie wodne (124 MW) oraz elektrownie fotowoltaiczne (3787 MW).

Trzeba w tym miejscu koniecznie zaznaczyć, że tak duży wkład elektrowni wiatrowych do całkowitej generacji mocy w polskim systemie elektroenergetycznym należy do rzadkości. Problem polega na tym, że moc elektrowni wiatrowych zależy bardzo silnie – bo aż od trzeciej potęgi – od aktualnej prędkości wiatru [5]. Na przykład, jeśli elektrownia wiatrowa osiąga swą moc maksymalną przy prędkości wiatru równej 18 m/s, to spadek prędkości wiatru o połowę, czyli do wartości równej 9 m/s, spowoduje ośmiokrotny spadek mocy generowanej w tej elektrowni wiatrowej (będzie to zaledwie 12,5% wartości jej mocy maksymalnej). Analogicznie, trzykrotny spadek prędkości wiatru, czyli do wartości 6 m/s, wywoła aż dwudziestosiedmiokrotny spadek mocy rozpatrywanej elektrowni wiatrowej (co stanowiło będzie jedynie 3,7% wartości jej mocy maksymalnej), a to z kolei sprawi, że wkład tego rodzaju źródła energii odnawialnej do całkowitej mocy generowanej w systemie elektroenergetycznym będzie w zasadzie żaden.

Niestety, w Polsce rzadko wiatry wieją ze stosunkowo dużą prędkością, co powoduje, że średnioroczne wykorzystanie mocy zainstalowanych w elektrowniach wiatrowych wynosi zaledwie kilkanaście procent. Powyższy wynik oznacza, że w celu zastąpienia bloku węglowego o mocy 1000 MW należałoby w odpowiadających mu elektrowniach wiatrowych zainstalować około 6000 MW mocy. Jeżeli rozważymy elektrownie wiatrowe o mocy 2MW (potężne stumetrowe wieże), to tego typu urządzeń energetycznych należałoby wybudować około 3000. To pokazuje ogrom skali tego rodzaju przedsięwzięcia i jego gigantyczne koszty. Zapewne także znalezienie korzystnych miejsc do lokalizacji tak wielkiej liczby wiatraków jest również sprawą problematyczną.

W przeciwieństwie do energetyki wiatrowej energetyka fotowoltaiczna jest o wiele bardziej przewidywalna. Prędkość wiatru w poszczególnych godzinach doby jest zmienną losową, której wartości są trudne do dokładnego prognozowania z odpowiednim wyprzedzeniem. Jeżeli uwzględnimy dodatkowo fakt zależności w aż trzeciej potędze mocy elektrowni wiatrowej od prędkości wiatru, tym bardziej prognozowanie mocy elektrowni wiatrowych w kolejnych godzinach doby staje się problematyczne [1]. Tymczasem fotowoltaika jest pod tym względem znacznie lepiej przewidywalna, gdyż w danym miesiącu roku zawsze mniej więcej jest wiadomo, czego w poszczególnych godzinach doby można się spodziewać.

Oczywiście, ewidentną wadą fotowoltaiki jest cykliczność produkcji energii elektrycznej w tego rodzaju instalacjach, gdzie oprócz cyklu dobowego duże znaczenie ma również cykl roczny. Zdecydowanie najgorsze warunki dla produkcji energii elektrycznej w instalacjach fotowoltaicznych panują w miesiącach takich jak listopad, grudzień, styczeń i luty, gdy dzień jest stosunkowo krótki, a na domiar złego słońce znajduje się nisko nad horyzontem. Z kolei miesiącami najlepszymi pod względem generacji mocy są: maj, czerwiec i lipiec, gdy dzień jest stosunkowo długi, a słońce góruje wysoko nad horyzontem. W pozostałych miesiącach warunki produkcji energii elektrycznej w instalacjach fotowoltaicznych są przeciętne [5].

Rysunek 2. Dane dotyczące generacji mocy w krajowym systemie elektroenergetycznym

MAPA KSE

Mapa prezentuje planowe i chwilowe przepływy mocy na przekrojach handlowych

ZAPOTRZEBOWANIE [MW]	22 030
GENERACJA [MW]	22 447
el. cieplne	12 538
el. wodne	124
el. wiatrowe	5 997
el. fotowoltalne	3 787
el. inne odnawialne	0
SALDO WYMIANY CAŁKOWITEJ [MW]	325 EKSPORT
CZĘSTOTLIWOŚĆ [Hz]	49.990

Źródło: <https://pse.pl/home>

Kolejnym, ale bynajmniej nie mniej istotnym, mankamentem związanym z wykorzystaniem w elektroenergetyce fotowoltaiki jest niedopasowanie dobowego cyklu produkcji energii elektrycznej z dobowymi zmianami zapotrzebowania zgłaszanego przez odbiorców. Na rys. 3 przedstawiono przykładowy wykres ukazujący, jak w ciągu doby zmienia się wartość mocy zapotrzebowanej przez odbiorców w polskim systemie elektroenergetycznym.

Rysunek 3. Przykładowy wykres dobowej zmiany zapotrzebowania na moc elektryczną w krajowym systemie elektroenergetycznym



Źródło: <https://pse.pl/home>

Z punktu widzenia szerszego wykorzystania fotowoltaiki w elektroenergetyce problematyczne jest zwłaszcza występowanie na wykresie przedstawionym na rys. 3 tzw. wieczornego szczytu obciążenia. Wówczas zapotrzebowanie na moc w systemie elektroenergetycznym osiąga zwykle swe wartości maksymalne, a produkcja energii elektrycznej w instalacjach fotowoltaicznych wynosi w tym przedziale czasu dokładnie zero (słońce znajduje się już poniżej linii horyzontu). Z drugiej jednak strony brak produkcji energii elektrycznej w czasie trwania nocnej doliny obciążenia zbiega się z relatywnie najniższym zapotrzebowaniem na energię w systemie elektroenergetycznym [4].

Na rys. 4 przedstawiono wartości mocy generowanych w przypadku elektrowni wiatrowych i fotowoltaicznych w poszczególnych godzinach przykładowego okresu dobowego.

Rysunek 4. Przykładowe dane dotyczące generacji źródeł wiatrowych i fotowoltaicznych w poszczególnych godzinach doby w krajowym systemie elektroenergetycznym

Doba handlowa: 2022-05-09

Godzina	Generacja źródeł wiatrowych	Generacja źródeł fotowoltaicznych
	[MWh]	[MWh]
1	2 399,975	0,000
2	2 520.438	0.000
3	2 603.025	0,000
4	2 574,975	0,000
5	2 605,188	11,025
6	2 394.525	73.663
7	1 907,063	494.600
8	907,775	1 638,388
9	411,175	2 897.275
10	322.938	4 148.700
11	333,425	5 123,250
12	355,888	5 406,438
13	302.238	5 510,625
14	241.300	5 268.588
15	281.588	5 105,313
16	342,313	4 625,650
17	382.238	3 876,675
18	428.538	2 646.213
19	537.538	1 418,163
20	713513	605.400
21	1 177.425	144.138
22	1 738.025	2,250
23	2 309,538	0,000
24	2 775,500	0,000

Źródło: <https://pse.pl/home>

Jak wynika z rys. 4, wartość mocy generowanej przez elektrownie wiatrowe zmienia się bardzo dynamicznie, co spowodowane jest zależnością generowanej mocy aż od trzeciej potęgi prędkości wiatru. Wypływa stąd bardzo ważny wniosek, że elektrownie wiatrowe są źródłami obciążonymi dużym stopniem niepewności i w żadnym wypadku stabilności systemu elektroenergetycznego na nich opierać nie można [4]. Mogą one pełnić jedynie rolę źródeł uzupełniających. Natomiast, jak już wspomniano, elektrownie fotowoltaiczne są o wiele bardziej przewidywalne i w danym dniu roku o danej porze z góry wiadomo, czego mniej więcej się można od nich spodziewać. Oczywiście, złe warunki atmosferyczne, takie jak zachmurzenie i opady deszczu również powodują istotne zmniejszenie mocy generowanej w instalacjach fotowoltaicznych, ale spadek ten nie przekracza zwykle w skrajnych przypadkach 50% wartości mocy maksymalnej. Niekorzystnym czynnikiem jest również spadek sprawności ogniw fotowoltaicznych wraz ze wzrostem temperatury ich pracy, który wynosi około 0,3% na każdy stopień Celsjusza powyżej temperatury nominalnej [1]. Z tego powodu optymalne warunki generacji mocy dla fotowoltaiki występują w miesiącach wiosennych, mimo tego, że słońce nie osiąga jeszcze swej maksymalnej wysokości nad horyzontem, ale za to temperatura pracy ogniw jest wyraźnie niższa niż w miesiącach letnich.

Zważywszy na fakt, że fotowoltaika zaczęła się w Polsce dopiero od stosunkowo niedawna na poważnie rozwijać i tego typu instalacje posiada jeszcze stosunkowo niewiele budynków, a zwłaszcza obiektów przemysłowych, wydaje się, że jest rzeczą całkowicie możliwą do realizacji, aby w przyszłości moc zainstalowana w Polsce w panelach fotowoltaicznych wzrosła nawet i dziesięciokrotnie. Tak wielki przyrost mocy zainstalowanej w elektrowniach fotowoltaicznych oznaczałby, że zamieszczone na rys. 4 wartości mocy generowanych w poszczególnych godzinach doby należałoby pomnożyć przez dziesięć. A to z kolei znaczyłoby, że przykładowo w miesiącach, takich jak maj, czerwiec i lipiec od godziny, mniej więcej, dziewiątej rano do około godziny dziesiętnastej całe zapotrzebowanie na moc elektryczną w naszym kraju mogłoby zostać teoretycznie pokryte w całości jedynie przez instalacje fotowoltaiczne. Dodatkowo, od około godziny dziesiątej do około godziny szesnastej w krajowym systemie elektroenergetycznym pojawiłaby się gigantyczna nadwyżka generowanej mocy, przekraczająca wartość 20 tysięcy megawatów.

Do powyższej wartości należy dodać jeszcze ewentualną nadwyżkę mocy generowanej w elektrowniach wiatrowych, która w przypadku korzystnych warunków może osiągać wartość wynoszącą nawet kilka tysięcy megawatów. Natomiast, jak wynika z rys. 2, wodne elektrownie przepływowe nie mają

w analizowanym bilansie mocy praktycznie żadnego znaczenia, ponieważ Polska jest krajem relatywnie ubogim w wodę i z tego typu elektrowni uzyskujemy niewiele ponad 100 MW.

W tym miejscu niejako automatycznie nasuwa się kluczowe pytanie, w jaki sposób tak wielką nadwyżkę generowanej w ogniwach fotowoltaicznych mocy, rzędu nawet i być może kilkunastu tysięcy megawatów, można efektywnie zagospodarować. Z pewnością jakąś jej część można próbować wyeksportować poza granice naszego kraju, ale tutaj jesteśmy ograniczeni przede wszystkim wielkością popytu na energię elektryczną w sąsiednich państwach w poszczególnych godzinach doby, a także i zdolnościami przesyłowymi linii najwyższych napięć łączącymi nasz kraj z jego sąsiadami. Zatem pozostałą część wygenerowanej w elektrowniach fotowoltaicznych energii należałoby jakoś zmagazynować, aby wykorzystać ją w dogodnym czasie – niestety nie jest to bynajmniej łatwe przedsięwzięcie.

Wydaje się, że obecnie jedyną znaną nauce metodą pozwalającą na gromadzenie tak potężnych ilości wytworzonej energii w skali całego systemu elektroenergetycznego jest wykorzystanie w tym celu elektrowni szczytowo-pompowych [3].

Polskie elektrownie szczytowo-pompowe

Elektrownie szczytowo-pompowe pełnią w systemie elektroenergetycznym przede wszystkim rolę magazynów energii, przekształcając wytworzony nadmiar energii elektrycznej w energię potencjalną wody pompowanej do górnego zbiornika elektrowni. Ten rodzaj cyklu pracy elektrowni szczytowo-pompowej określamy mianem pracy pompowej. Z kolei podczas pracy w trybie generatorowym woda jest z powrotem spuszczana do zbiornika dolnego elektrowni, napędzając przy tym turbiny wodne. Przeciętna sprawność całego cyklu magazynowania i ponownego odzysku energii w elektrowniach szczytowo-pompowych wynosi około 75%, co oznacza, że około jednej czwartej wytworzonej pierwotnie energii jest bezpowrotnie tracone, przy czym wyróżnia się tutaj straty hydrauliczne, mechaniczne i elektryczne [5].

Obecnie w Polsce istnieje sześć czynnych elektrowni szczytowo-pompowych, z których największą jest elektrownia w Żarnowcu, zbudowana pierwotnie z myślą o współpracy z przyszłą elektrownią jądrową, gdyż miała ona zdejmować nadwyżkę generowanej mocy w czasie trwania nocnej doliny obciążenia. Elektrownia szczytowo-pompowa Żarnowiec charakteryzuje się mocą pracy w trybie turbinowym wynoszącą 716 MW. Zbiornik dolny elek-

trowni stanowi naturalne Jezioro Żarnowieckie, a zbiornik górny to sztucznie utworzone Jezioro Czymanowo o powierzchni 135 ha. Elektrownia szczytowo-pompowa Żarnowiec może zmagazynować maksymalnie 3,6 GWh energii elektrycznej. Jest ona wyposażona w cztery odwracalne hydrozespoły o mocy turbinowej 179 MW każdy, przy czym ich moc pompowa jest odpowiednio większa i wynosi 200 MW. Na rys. 5 zamieszczono zdjęcie przedstawiające widok czterech rurociągów doprowadzających wodę do hydrozespołów elektrowni szczytowo-pompowej Żarnowiec.

Rysunek 5. Rurociągi doprowadzające wodę z górnego jeziora do hydrozespołów elektrowni szczytowo-pompowej Żarnowiec



Źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Elektrownia_Wodna_Żarnowiec

Drugą co do wielkości elektrownią szczytowo-pompowa w Polsce jest elektrownia Porąbka-Żar. Do eksploatacji została oddana w 1979 roku. Funkcję

zbiornika dolnego pełni sztuczne Jezioro Międzybrodzkie, natomiast zbiornikiem górnym jest betonowy basen usytuowany na szczycie pobliskiej góry Żar, który został przedstawiony na rys. 6. Elektrownia szczytowo-pompowa Porąbka-Żar zawiera cztery identyczne bloki elektroenergetyczne o łącznej mocy w trakcie pracy turbinowej wynoszącej 500 MW. Maksymalna wartość możliwej do zmagazynowania energii dla elektrowni szczytowo-pompowej Porąbka-Żar to 2 GWh.

Rysunek 6. Zdjęcie lotnicze przedstawiające widok górnego jeziora elektrowni szczytowo-pompowej Porąbka-Żar



Źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Elektrownia_Porąbka-Żar

Trzecią co do wielkości elektrownią szczytowo-pompową w naszym kraju jest elektrownia Solina-Myczkowce, która została oddana do eksploatacji w 1968 roku. Moc tej elektrowni podczas pracy w trybie generatorowym wynosi 200 MW. Pojemność jeziora w Myczkowcach pozwala na pracę tej

elektrowni z pełną mocą przez około 5 godzin, przy czym górny zbiornik elektrowni jest dodatkowo zasilany wodą z rzeki San. Na rys. 7 przedstawiono widok zapory w Solinie. Maksymalna zdolność do magazynowania energii w rozważanej elektrowni szczytowo-pompowej wynosi 1,3 GWh.

Rysunek 7. Widok zapory w Solinie



Źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Zespół_Elektrowni_Wodnych_Solina-Myczkowce

Elektrownia szczytowo-pompowa Żydowo została po raz pierwszy uruchomiona w 1971 roku. Zbiornikiem górnym tej elektrowni jest naturalne Jezioro Kamienne, a zbiornikiem dolnym również naturalne Jezioro Kwiecko, przy czym różnica poziomów wody pomiędzy wymienionymi jeziorami wynosi około 83 m. Elektrownia szczytowo-pompowa Żydowo posiada trzy odwracalne hydrozespoły o łącznej mocy podczas pracy turbinowej wynoszącej 167 MW. Na rys. 8 zamieszczono zdjęcie przedstawiające widok budynku

głównego elektrowni wraz z trzema rurociągami doprowadzającymi wodę z jeziora górnego.

Rysunek 8. Widok budynku elektrowni szczytowo-pompowej Żydowo



Źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Elektrownia_Żydowo

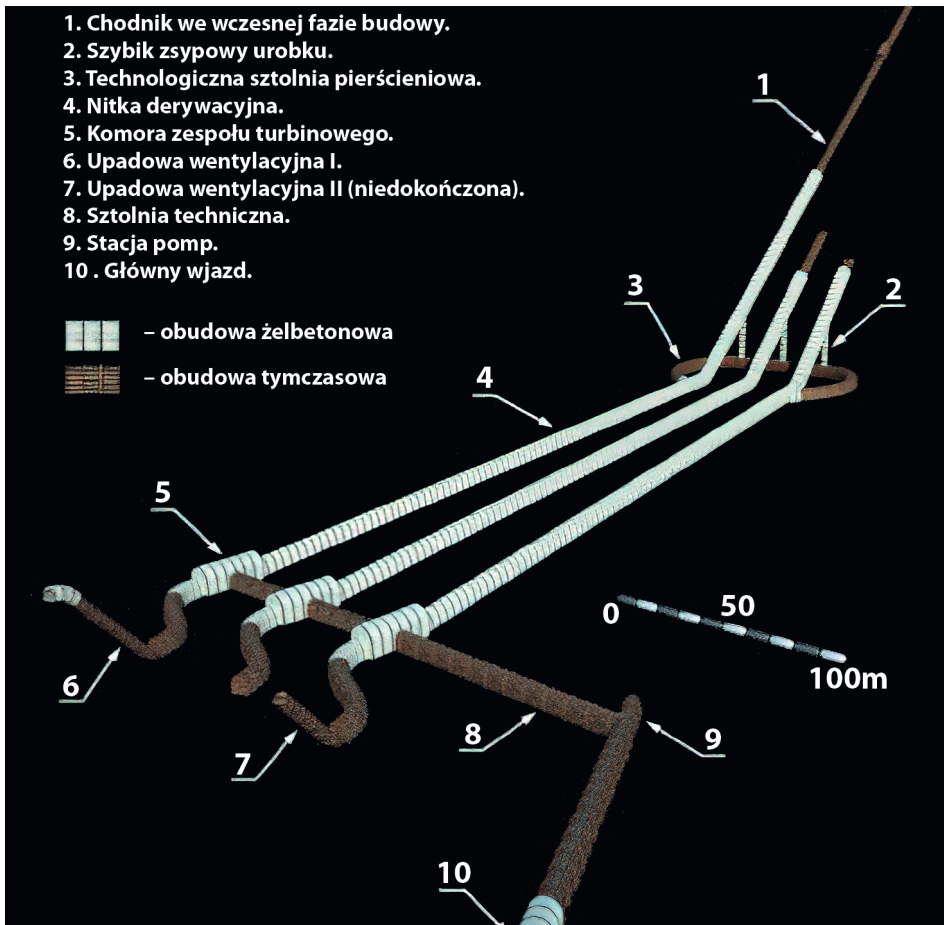
Dwie ostatnie z elektrowni szczytowo-pompowych wybudowanych w Polsce to znacznie mniejsze obiekty, do których zalicza się elektrownię szczytowo-pompową Czorsztyn-Niedzica-Sromowce Wyżne o mocy 94 MW oraz elektrownię szczytowo-pompową Dychów o mocy 90 MW.

Jak można policzyć, łączna moc wszystkich sześciu elektrowni szczytowo-pompowych znajdujących się na terytorium Polski wynosi w trybie pracy generatorowej 1767 MW. W trybie pracy pompowej pobierana przez tego typu elektrownie moc jest o około 30% większa, czyli wynosi mniej więcej 2200 MW.

Z punktu widzenia omawianego uprzednio zastosowania elektrowni szczytowo-pompowych do zdejmowania nadwyżki mocy generowanej w elektrowniach fotowoltaicznych jest to niestety o wiele za mało. Biorąc pod uwagę niezwykle dynamiczny w ostatnich latach rozwój fotowoltaiki w naszym kraju może się już wkrótce okazać, że takich elektrowni szczytowo-pompowych jak

Żarnowiec lub Porąbka-Żar należałoby wybudować przynajmniej z dziesięć, gdyż w przeciwnym przypadku dalsze montowanie na dachach budynków kolejnych paneli fotowoltaicznych nie będzie już miało żadnego sensu.

Rysunek 9. Schemat podziemnych sztolni elektrowni szczytowo-pompowej Młoty



Źródło: <http://www.podziemia.eu/index.php/artykuly/elektrownia-mloty>

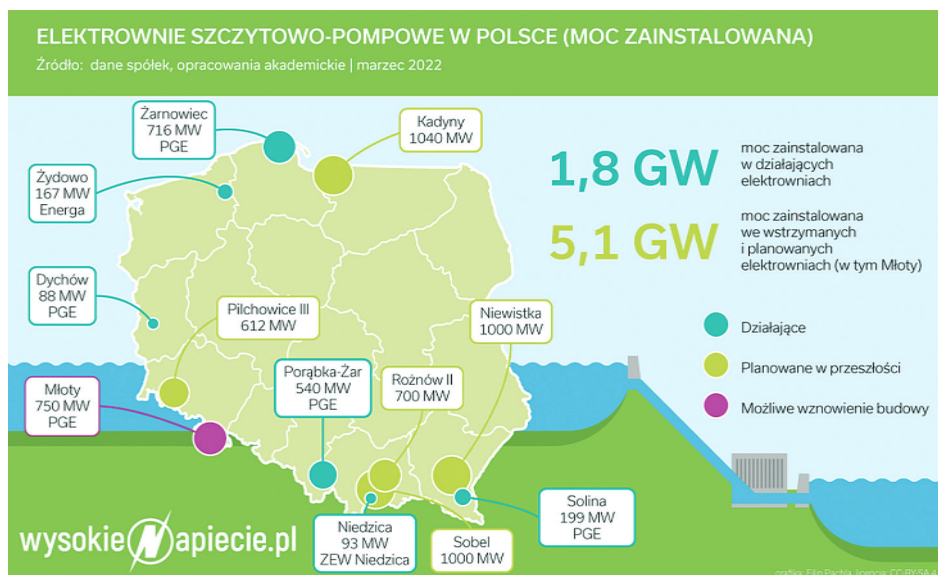
Wszystkie omówione w niniejszym artykule polskie elektrownie szczytowo-pompowe zostały wybudowane w zamierzonych już dla nas czasach tzw.

„komuny”, jednak wszystko wskazuje na to, że niebawem temat elektrowni szczytowo-pompowych ponownie stanie się sprawą naprawdę priorytetową.

W tym kontekście warto wspomnieć o nieukończonyj budowie elektrowni szczytowo-pompowej Młoty w Kotlinie Kłodzkiej, która docelowo miała być największym tego typu obiektem w naszym kraju o mocy generatorowej wynoszącej 750 MW. Jej budowa została rozpoczęta w 1972 roku, niestety w roku 1989 prace zostały przerwane z powodu kryzysu ekonomicznego. Jednak do tego czasu zdołano wydrążyć trzy sztolnie umożliwiające przepływ wody z jeziora górnego do dolnego, których schemat został przedstawiony na rys. 9. Obecnie pomysł reaktywacji budowy elektrowni szczytowo-pompowej Młoty powrócił, a pewne decyzje w tej sprawie na szczeblu rządowym już zapadły. Pozostaje tylko mieć nadzieję, że inwestycję tę uda się w najbliższej przyszłości pomyślnie sfinalizować.

W kontekście powyższych rozważań warto wspomnieć, że w latach 70-tych ubiegłego wieku rozważano możliwości budowy w Polsce kolejnych elektrowni szczytowo-pompowych. Ich potencjalne lokalizacje zostały naniesione na mapie przedstawionej na rys. 10.

Rysunek 10. Istniejące i planowane elektrownie szczytowo-pompowe w Polsce



Źródło: <https://wysokienapiecie.pl/67151-wodne-elektrownie-szczytowe-moga-wrocic-z-wielka-pompa/>

Największa z planowanych elektrowni szczytowo-pompowych o mocy 1040 MW miała powstać na Pomorzu niedaleko miejscowości Kadyny nad Zalewem Wiślanym. Z kolei na rzece San planowana była budowa elektrowni szczytowo-pompowej o mocy 1000 MW w pobliżu miejscowości Niewistka. Analogicznie na rzece Dunajec powstać miała elektrownia szczytowo-pompowa również o mocy 1000 MW w okolicy miejscowości Sobel oraz druga, nieco mniejsza o mocy 700 MW w pobliżu Rożnowa. Natomiast w Sudetach planowano budowę elektrowni szczytowo-pompowej o mocy 612 MW w pobliżu miejscowości Pilchowice.

Wydaje się, że obecnie należy do zarzuconych pół wieku temu pomysłów jak najszybciej powrócić. Trudno jest powiedzieć, czy zachowały się do naszych czasów przeprowadzone wówczas projektowe analizy warunków technicznych budowy rozważanych obiektów, które można byłoby, być może, w przyszłości w jakimś umiarkowanym stopniu wykorzystać (w przeciągu ponad pół wieku wiele się zapewne zmieniło). Jeśli natomiast powstała niegdyś dokumentacja już bezpowrotnie zaginęła, wówczas należy przeprowadzić aktualne analizy możliwości i ograniczeń potencjalnych lokalizacji dla nowych elektrowni szczytowo-pompowych, których budowa będzie bezwzględnie konieczna, jeśli tylko chcemy poważnie myśleć o dalszym rozwoju fotowoltaiki w naszym kraju. Istniejące w Polsce bloki energetyczne opalane węglem (kamiennymi i brunatnym) charakteryzują się stosunkowo niskim poziomem elastyczności, w związku z czym nie ma możliwości znacznego obniżenia generowanych w nich mocy w okresie szczytu produkcji energii elektrycznej w panelach fotowoltaicznych w okolicach dwunastej godziny doby. Jeżeli zatem nie będzie możliwości magazynowania wytworzonych w tym czasie nadwyżek energii, to instalacje fotowoltaiczne będą po prostu musiały zostać automatycznie odłączone od sieci, aby zapewnić zbilansowanie mocy w systemie elektroenergetycznym. Znacznie lepsze właściwości pod tym względem wykazują elektrownie ciepłe wykorzystujące turbiny gazowe, które można relatywnie szybko odstawić z ruchu, a następnie równie szybko ponownie uruchomić. Niestety w Polsce bloków gazowych nie mamy zbyt wiele, a zapewnienie odpowiednio wysokich dostaw gazu ziemnego z importu jest ostatnio sprawą wysoce problematyczną.

Podsumowanie

Jak już uprzednio wspomniano, obecnie wydaje się, że to właśnie fotowoltaika stanowi najbardziej perspektywiczną gałąź rozwoju systemów po-

zyskiwania odnawialnej energii elektrycznej. Jest to o tyle ważne, że obecnie stopniowe odchodzenie od spalania paliw kopalnych jest w Europie z różnych względów sprawą priorytetową. Ponadto trzeba mieć także świadomość faktu, że import surowców kopalnych niejednokrotnie jest równoważny z potężnym finansowym wsparciem państw o różnorodnych formach ustroju totalitarne-go, czy wręcz nawet jakichś zbrodniczych i krwawych reżimów, wywołujących w różnych częściach świata potężne konflikty zbrojne. W tym kontekście rozwój instalacji fotowoltaicznych stanowi realną szansę na, jeśli nie całkowite obciążenie im finansowania, to chociażby jego istotne zmniejszenie.

Niestety, w chwili obecnej wydaje się, że dalszy rozwój fotowoltaiki w naszym kraju będzie napotykał na szereg istotnych problemów, przy czym najczęściej podnoszonym w dyskusjach jest chroniczny niedorozwój sieci niskich i średnich napięć, zwłaszcza na obszarach wiejskich, co wiąże się z koniecznością przeprowadzenia w najbliższym czasie wielomiliardowych inwestycji powiązanych z ich całkowitą przebudową [6]. Jednak, w opinii autorów, samo wybudowanie wielu tysięcy kilometrów nowych sieci niskich i średnich napięć nie doprowadzi jeszcze do definitywnego rozwiązania problemu, ponieważ cykl produkcji energii elektrycznej w ogniwach fotowoltaicznych w znacznym stopniu różni się z cyklem poboru energii elektrycznej przez odbiorców krańcowych. W związku z powyższym, aby dalsze zwiększanie mocy zainstalowanych w elektrowniach fotowoltaicznych miało w ogóle sens, należy rozwiązać problem magazynowania energii elektrycznej wytworzonej w ciągu kilku godzin około południa słonecznego. Wydaje się, że gromadzenie tak wielkich ilości energii elektrycznej, rzędu kilkudziesięciu GWh, jest obecnie możliwe jedynie z wykorzystaniem technologii dostępnej za pośrednictwem elektrowni szczytowo-pompowych. Zastosowanie na szerszą skalę zainstalowanych lokalnie u prosumentów akumulatorów także może stanowić tutaj pewne uzupełnienie całego systemu magazynowania energii, ale – po pierwsze – jest to przedsięwzięcie bardzo kosztowne, a – po drugie – pamiętać należy o ograniczonej żywotności tego rodzaju urządzeń magazynujących energię elektryczną, która raptem wynosi zaledwie kilka lat.

W kontekście zamieszczonych w niniejszym artykule rozważań budowa licznych elektrowni szczytowo-pompowych o dużych wartościach mocy za-instalowanej wydaje się być w naszym kraju bezwzględnie koniecznością, jeśli tylko chcemy myśleć o dalszym istotnym zwiększaniu mocy zainstalowanej w panelach fotowoltaicznych. Bez skutecznego rozwiązania problemu magazynowania wielkich ilości energii elektrycznej, wytworzonej z energii promieniowania słonecznego, instalowanie kolejnych ogniw fotowoltaicznych nie

będzie miało już żadnego sensu, ponieważ generowana w nich moc elektryczna nie będzie mogła zostać w żaden sposób zagospodarowana.

Literatura

1. Chmielniak T., *Technologie energetyczne*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2018.
2. Kujarczy S., Brociek S., Flisowski Z., Gryko J., Nazarko J., Zdun Z., *Elektroenergetyczne układy przesyłowe*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1997.
3. Laudyn D., Pawlik M., Strzelczyk F., *Elektrownie*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.
4. Machowski J., Lubośny Z., *Stabilność systemu elektroenergetycznego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2018.
5. Marecki J., *Podstawy przemian energetycznych*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.
6. Markiewicz H., *Urządzenia elektroenergetyczne*, Wydawnictwo WNT, Warszawa 2012.