

MAGAZYNY BATERYJNE

OCENA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA W KSEE

W artykule oszacowano efekty zastosowania w KSE (Krajowym Systemie Elektroenergetycznym) magazynów bateryjnych o pojemności 17 GWh oraz oszacowano pojemność wymaganą dla likwidacji segmentu JWCD (Jednostek Wytwórczych Centralnie Dysponowanych) oraz wymaganą dla całkowitej likwidacji źródeł sterowalnych.

mgr inż. Grzegorz Kwiecień

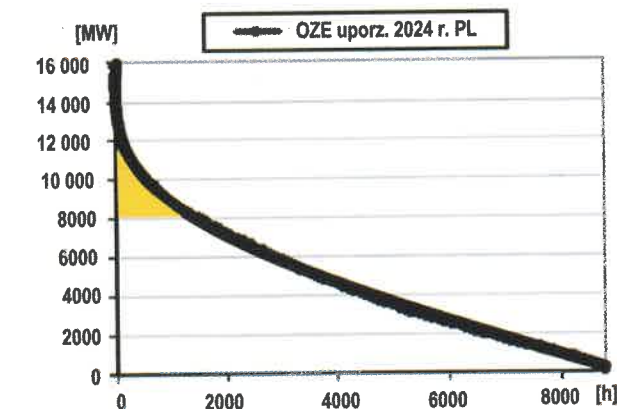
W tym artykule odnawialne źródła energii (OZE) zostały zawężone wyłącznie do wiatraków i fotowoltaiki. Kluczowym dla koncepcji OZE zagadnieniem jest poprawne rozwiązanie procesu: prąd – magazyn – prąd. Bez tego jesteśmy skazani na ciągłe medialne doniesienia o skargach

podano ich pojemności. W wystąpieniach medialnych zarządu PGE zapowiedziano budowę magazynów o pojemności 17 GWh, lecz nie podano ich mocy. Niezależnie od tego, czy mówimy o prostym błędzie w stosowaniu jednostek miary, czy też niefrasobliwości polegającej na niepodawaniu pary obu wymaganych wielkości, widać, szczególnie w planach ministerialnych, że poziom zrozumienia wymaganej skali magazynowania jest niski.

Pewne ustalenia możemy poczynić jeszcze przed rozpoczęciem właściwych badań. Na rysunku 1 przedstawiono roczny, uporządkowany wykres generacji OZE w Polsce za rok 2024. W lewym, górnym rogu kolorem żółtym zaznaczono zakres aż 50% mocy. Występuje on przez zaledwie 1479 h. Całe pole pod wykresem ma powierzchnię 40,7 TWh, tymczasem obszar nadwyżki ponad moc 8 GW to zaledwie 2,7 TWh, to jest 6,5%.

A zatem uporządkowana krzywa generacji OZE ma charakter silnie szczytowy. Stanowi on antytezę ekonomii. Jego cechą szczególną jest rażąca dysproporcja mocy w stosunku do produkcji. Z powyższego kształtu wynikają wszelkie inne, niekorzystne cechy systemu elektroenergetycznego, który miałyby być oparte na OZE. Siłą rzeczy do takiego samego, nieekonomicznego trybu pracy zostają zmuszone sterowalne elektrownie rezerwowo-regulacyjne, wszyskie rodzaje mających pełnić taką samą rolę instalacji magazynowych i towarzyszące im sieci przesyłowe. Opisana dysproporcja znajduje oczywiście także odwzorowanie w niekorzystnych układach finansowych.

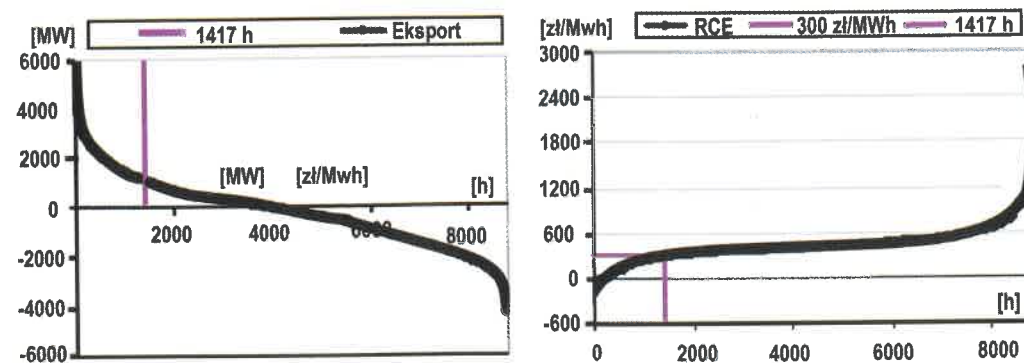
W 2024 r. warunki, w których jednocześnie wystąpił eksport energii i ceny niższe od 300 zł/MWh, utrzymywały się przez 1417 godzin i ten zakres symbolicznie zaznaczono na rysunku 2.



Rys. 1. Roczny, uporządkowany wykres generacji OZE w Polsce za rok 2024.

zwolenników OZE na wyłączenie nadmiaru generacji oraz skargach przeciwników OZE na rekompensaty za wyłączenia, będące dodatkową premią dla źródeł i tak mocno subwencjonowanych. W udostępnionej do konsultacji publicznej akPEiK (aktualizacji Krajowego Planu w dziedzinie Energii i Klimatu) zapowiedziano budowę magazynów o mocy 17 GW, lecz nie

Rys. 2. a) uporządkowany wykres eksportu energii elektrycznej z Polski za rok 2024, b) uporządkowany wykres Rynkowej Ceny Energii w Polsce, również za rok 2024.



Cały eksport wyniósł 3 760 772 MWh, a eksport z podanymi, nieopłacalnymi dla większości źródeł cenami, to 1 952 130 MWh. Jak łatwo zauważyć, również import mógł się odbywać przy niekorzystnych warunkach finansowych.

Literatura

Literatura podejmująca się naukowej krytyki odnawialnych źródeł energii praktycznie nie istnieje. Autor poleca publikację własną „Wodór. Krytyka idei zastosowania” [1]. Zgodnie z tytułem zajmuje się ona podobną problematyką, lecz dotyczy magazynowania energii w wodorze. Tu należy przypomnieć, że takie paliwo, jak wodór „nie istnieje”. Źródłem wodoru ma być nadwyżka OZE i na analizie rynku nadwyżki OZE należało się skupić przed oceną możliwości magazynowania w wodorze. A ponieważ proces: prąd – wodór – prąd jest znacznie mniej sprawny od procesu: prąd – bateria – prąd, to w badaniach opisanych w [1] system oparty na OZE i wodorze osiągnął rozmiary monstrualne.

Materiały i metody badań

Założenia ogólne

Wykorzystano godzinowe dane PSE za rok 2024 oraz przebiegi zapotrzebowania, generacji wiatru i fotowoltaiki bez zmian. Na podstawie znanego autorowi przykładowego, rocznego obciążenia cieplnego zamodelowano generację źródeł sterowalnych nie dysponowanych centralnie. Nadano im nazwę EC, ponieważ głównie będą to elektrociepłownie. Arbitralnie przyjęto, że minimum techniczne JWCD (Jednostek Wytwórczych Centralnie Dysponowanych) wynosi 6720 MW równo przez cały rok. Nie jest to do końca słuszne. Aby przeprowadzić badanie dokładnie, należałoby 365 razy wystąpić w roli dyspozytora systemu i na podstawie ówczesnych prognoz pogody, planów n+9, planów dobowych, po części znanych zapasów magazynowych ustalać wymaganą liczbę JWCD w ruchu. Przekraczałoby to znacznie rozmiary niniejszego badania, które ma głównie na celu oszacowanie pojemności magazynów, jakie miałyby być wymagane w przyszłości. Podaną wartość minimum JWCD narzucono tak, aby model „bez magazynów” generował dokładnie taki eksport, jaki wystąpił w 2024 r., to jest 3 760 772 MWh.

Pozostałe elementy algorytmu raczej nie powinny budzić wątpliwości:

- jeśli nadwyżka OZE przekracza przyjętą moc ładowania magazynów, jej nadmiar jest kierowany na eksport,
- jeśli miejsce w magazynach zostanie wyczerpane, nadmiar OZE również jest kierowany na eksport,
- energia przyjęta na magazyn jest iloczynem sprawności ładowania i energii skierowanej na magazyn,
- jeśli niedobór OZE przekracza możliwości rozładowania magazynów, to odpowiednio zwiększana jest moc JWCD,
- jeśli zapas magazynowy zostanie wyczerpany, to również odpowiednio zwiększana jest moc JWCD,
- ubytek energii w magazynie jest ilorzem energii pobranej z magazynu i sprawności rozładowania.

W tym badaniu autor arbitralnie przyjął, że sprawność ładowania magazynów bateryjnych jest równa sprawności rozładowania i obie sprawności wynoszą 0,95. Z powyższego

wynika, że cały proces: prąd – bateria – prąd powinien mieć sprawność $0,95 \cdot 0,95 = 0,90$. Arbitralność założeń autora podyktowana jest tym, że brakuje dostatecznie dużej liczby publikacji opisujących sprawność magazynów wielkoskalowych, szczególnie w rocznym i wieloletnim horyzoncie czasowym. Prawdopodobnie należałoby także w każdym kroku obliczeniowym uwzględnić straty wynikające z magazynowania długookresowego i zmiany temperatury lato – zima. Wobec szacunkowego charakteru badania autor tego nie uczynił. Badania przeprowadzono w ten sposób, że zapas początkowy musi się równać zapasowi końcowemu. Przyjęto akademickie założenie o dopuszczalności rozładowania magazynu do zera. W praktyce taki sposób gospodarowania byłby niedopuszczalny, więc wymagane zapasy magazynowe muszą być większe od obliczonych teoretycznie. Badanie przeprowadzono dla czterech, niżej opisanych wariantów.

Wariant porównawczy: bez magazynów

Wykonany przy założeniach, jak wyżej, nie wymaga dalszego komentarza.

Wariant: z magazynami 4500 MW, 17 GWh

Na podstawie doniesień medialnych założono, że jest możliwa budowa magazynów o pojemności 3,8 godzin i z tego wynika narzucona moc ładowania, jak wyżej.

Wariant: bez JWCD

Lekceważąc wymogi stabilności systemu i nie rozważając, czy układy sztucznej inercji w przyszłości się sprawdzą, autor dla celów czysto akademickich założył likwidację JWCD. W modelu wyłączono zabezpieczenia dotyczące mocy i pojemności magazynów. Moc wiatraków i fotowoltaiki przeskalowano w górę, po części wg założeń akPEiK, po części arbitralnie. Bez zmian pozostawiono segment EC.

Wariant: bez elektrowni sterowalnych

Oprócz likwidacji JWCD założono likwidację EC. Autor nie należy do ekstremistów i nie postuluje tutaj likwidacji ogrzewania. Założenie jest czysto akademickie i ma na celu ustalenie mocy OZE i magazynów dla systemu o rozmiarach jak KSEE. Likwidacja elektrociepłowni teoretycznie jest możliwa – można np. prowadzić ogrzewanie kotłami wodnymi. Do takich sytuacji dochodzi już obecnie – dotowane OZE doprowadzają na rynku do sytuacji, w których przestaje opłacać się produkcja energii elektrycznej w kogeneracji. Jest to nonsens wynikający z zakłócenia normalnych relacji rynkowych, ale jest faktem. Ostatecznie można wyobrazić sobie sytuację, w której dotowana energia będzie rzeczywiście cały czas „darmowa”. Gigantyczne koszty jej zabezpieczenia mogą być umieszczone na fakturach pod pozycją „za przesył”. Należy przestrzec, że likwidacja bloku generującego 50 MW prądu i 100 MW ciepła oraz zastąpienie go pompą ciepła oznacza w warunkach szczytowych, przy COP = 2,0 dla zapotrzebowania na ciepło 100 MW zapotrzebowanie na prąd 50 MW, więc plan likwidacji EC i masowego przejścia np. na pompy ciepła oznaczałby znaczny wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną. Nie jest rozwiązaniem kocioł elektrodowy – on nie realizuje pro-

cesu prąd – magazyn – prąd, zdejmując tylko nadwyżkę OZE, ale jej nie zwraca. Powtórzmy więc, że w tym badaniu chodzi tylko o teoretyczne ustalenie, jaka jest potrzebna moc wiatraków, fotowoltaiki i magazynów dla hipotetycznej dostawy energii dla systemu ze średnim zapotrzebowaniem 18,5 GW.

WYNIKI I DYSKUSJA

Wariant porównawczy: bez magazynów

Dla pokrycia średniego zapotrzebowania 18,6 GW utrzymujemy co najmniej 47 GW źródeł, w tym 20,8 GW OZE. Rzeczywista moc zainstalowana OZE na pewno jest większa. W tym artykule posługujemy się tylko maksymalnymi odnotowanymi realnie osiągnięciami wiatraków i fotowoltaiki, które w pewnym sensie reprezentują moc zainstalowaną. Importu nie przewidziano. Moc eksportu jest większa od maksymalnie odnotowanej w rzeczywistości – skutek słabości założeń modelu.

Tabela 1. Modelowe osiągi systemu bez magazynów

Bez magazynów (wariant porównawczy)				
Wyszczególnienie	Maks. [MW]	Min. [MW]	Średnia [MW]	[MWh/a]
Zapotrzebowanie	28 304	11 408	18 559	163 019 921
Wiatr	8493	20	2667	23 424 423
Foto	12 322	0	1972	17 323 247
OZE (suma maks.)	20 815			
OZE (jednocześnie)	15 853	20	4639	40 747 670
EC	5536	2716	3942	34 628 241
JWCD	20 995	6720	10 406	91 407 140
Eksport	7543	0	428	3 763 129
Na magazyn	-	-	-	-
Z magazynu	-	-	-	-
Suma źródeł	47 346			
Suma instalacji	47 346			

Wariant: z magazynami 4500 MW (17 GWh)

Wprowadzenie do KSE magazynów 17 GWh umożliwiło zmniejszenie rozmiarów eksportu i pracy elektrowni JWCD. Eksport zmalał o 2 166 018 MW i liczba ta koresponduje z podanym na wstępie zakresem sprzedaży po cenach niekorzystnych. Moc maksymalna eksportowanej nadwyżki nie uległa zmianie (rys. 3). Na przykład 1 listopada 2024 r. przepełnienie magazynów wystąpiło o godz. 4:00 i trwało 36 godz. (tabela 3). Gdyby nawet minimum techniczne JWCD obniżyć do 5000 MW, przepełnienie wystąpiłoby o 7:00 i trwałoby 33 godziny. Moc maksymalna JWCD nie uległa zmianie – w okresie największego zapotrzebowania zapasy magazynowe mogące obniżyć pracę JWCD były już puste. Generacja JWCD w wyniku zastosowania magazynów 17 GWh zmalała o 1 938 681 MWh.

Rysunek 3 może się wydawać mało czytelny, ale musimy mieć świadomość, że w skali rocznej badane pola eksportu rzeczywiście są tak małe. Tu eksport zmalał o 57%.

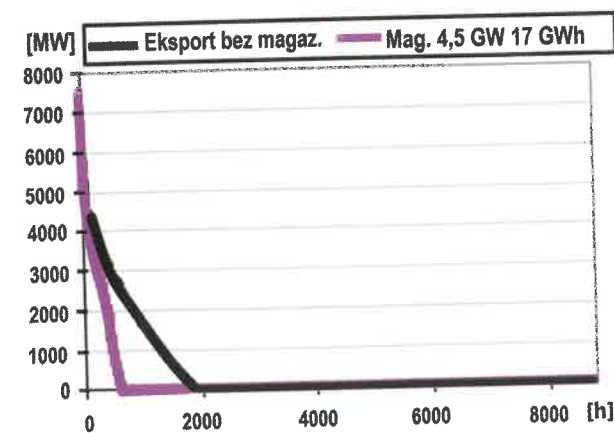
Przy założonym koszcie wytworzenia energii 450 zł/MWh (na miało energetycznym z wliczonym ETS) oznaczałoby to oszczędność paliwa 0,87 mld zł/a. Koszt inwestycji oszacowano na 1,97 mld zł/a. Zatem wystąpiłby przyrost kosztów

Tabela 2. Modelowe osiągi systemu mającego magazyny 4500 MW (17 GWh)

Magazyny 4,5 GW 17 GWh				
Wyszczególnienie	Maks. [MW]	Min. [MW]	Średnia [MW]	[MWh/a]
Zapotrzebowanie	28 304	11 408	18 559	163 019 921
Wiatr	8493	20	2667	23 424 423
Foto	12 322	0	1972	17 323 247
OZE suma max	20 815			
OZE jednocześnie	15 853	20	4639	40 747 670
EC	5536	2716	3942	34 628 241
JWCD	20 995	6720	10 185	89 468 459
Eksport	7543	0	182	1 597 112
Na magazyn	4500	0	247	2 166 018
Z magazynu	4500	0	221	1 938 681
Suma źródeł	47 346			
Suma instalacji	51 846			
Ubytek JWCD [MWh/a]				1 938 681
Cena paliwa [zł/MWh]				450
Ubytek kosztu paliwa [zł/a]				872 406 521
Koszt inwestycji [zł/a]				1 969 839 192
Przyrost kosztów [zł/a]				1 097 432 671
Koszt energii z magazynem [zł/MWh]				566,07
Koszt energii w KSEE [zł/MWh]				6,73
Wskaźnik wykorzystania magazynu [%]				4,90
Zapas	Maksymalny	Minimalny	Początkowy	Końcowy
MWh	17 000	0	0	7 101
Dni średniego zapotrzebowania	0,038			0,016
ton węgla 21 GJ/t, 0,40	7286			3 043

1,10 mld zł/a, który w odniesieniu do „sprzedaży” z magazynów oznaczałby koszt 566 zł/MWh, a w stosunku do całego KSE podwyżkę o 6,73 zł/MWh.

Koszt inwestycji we wszystkich wariantach ustalono wg założenia, że będzie to kredyt 3%, rata stała, 10 lat spłaty. Koszt jednostkowy magazynów optymistycznie założono na



Rys. 3. Roczne, uporządkowane wykresy eksportu w modelowych badaniach „z” i „bez” magazynów o pojemności 17 GWh.

Tabela 3. Przebiegi badanych wielkości w przykładowym okresie powstawania nadwyżki OZE

Data, godzina	Krajowe zapotrzebowanie na moc [MW]	Wiatr [MW]	Foto [MW]	EC [MW]	JWCD [MW]	Eksport [MW]	Zapas [MWh]
31.10.2024 18:00	21 818	6190	211	4216	11200	0	0
31.10.2024 19:00	21 381	6725	0	4242	10415	0	0
31.10.2024 20:00	21 000	7044	0	4288	9669	0	0
31.10.2024 21:00	20 052	7017	0	4370	8666	0	0
31.10.2024 22:00	18 301	7194	0	4447	6720	0	56
31.10.2024 23:00	16 592	7226	0	4444	6720	0	1 765
1.11.2024 00:00	15 553	6226	0	4468	6720	0	3 533
1.11.2024 01:00	14 367	7192	0	4458	6720	0	7 335
1.11.2024 02:00	13 741	7179	0	4468	6720	126	11 610
1.11.2024 03:00	13 735	7311	0	4469	6720	264	15 885
1.11.2024 04:00	13 669	7288	0	4461	6720	3627	17 000
1.11.2024 05:00	13 641	7247	0	4436	6720	4762	17 000
1.11.2024 06:00	13 582	7256	0	4431	6720	4826	17 000
1.11.2024 07:00	13 610	7287	45	4452	6720	4894	17 000
1.11.2024 08:00	14 053	7200	715	4462	6720	5045	17 000
1.11.2024 09:00	14 789	7337	2139	4349	6720	5756	17 000

1 mln zł/MWh, ponieważ w doniesieniach medialnych przewiduje się spadek do takiego poziomu. Aktualnie w doniesieniach o planach PGE mówi się o koszcie magazynu dla Żarnowca 1,56 mln zł/MWh. Wtedy energia z magazynów wychodziłaby po 1130 zł/MWh, a przyrost kosztów systemu 13,44 zł/MWh.

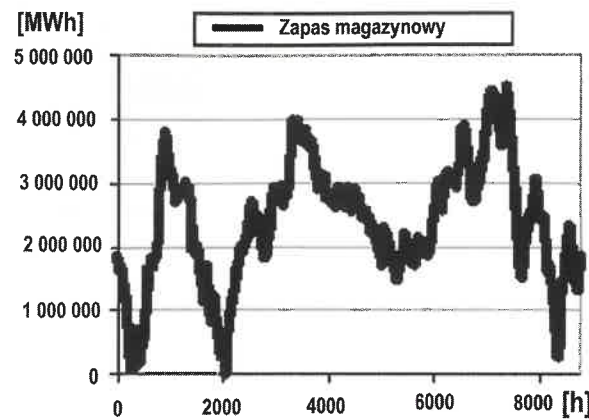
Wariant: bez JWCD

Likwidacja centralnie dysponowanych elektrowni blokowych generujących średnio 10,4 GW (od 6,72 GW do 20,99 GW) wymagałaby budowy co najmniej 64 GW źródeł OZE wraz z magazynami o mocy ładowania 32 GW i pojemności 4 501 614 MWh. Razem z EC wymagałoby to instalacji energetycznych o mocy 101 GW dla pokrycia średniego zapotrzebowania 18,6 GW.

Założono całkowitą likwidację JWCD, a więc nastąpiłby nie tylko ubytek kosztów paliwa, ale i utrzymania, stąd po stronie korzyści przyjęto, że będzie ubywać produkcji po 600 zł/MWh. Spłata odsetek od preferencyjnego przecież kredytu wynosiłaby 522 mld zł rocznie, więc przyrost kosztów systemu wyniósłby 467 mld zł/a. Koszt energii z magazynów wyniósłby 14 453 zł/MWh przy zerowym koszcie zakupu, co na masową skalę nie jest możliwe – producenci OZE jednak chcieliby zarabiać. Przyrost kosztów systemu z tytułu samej inwestycji w magazyny wyniósłby 2863 zł/MWh. Do powyższego należy dodać koszty budowy OZE o podanej mocy i stosownej rozbudowy sieci. Wymagany zapas 4500 GWh

Tabela 4. Modelowe osiągi systemu, w którym OZE i magazyny pozwoliłyby na likwidację JWCD

Likwidacja JWCD				
Wyszczególnienie	Maks. [MW]	Min. [MW]	Średnia [MW]	[MWh/a]
Zapotrzebowanie	28 304	11 408	18 559	163 019 921
Wiatr	31 071	72	9756	85 698 426
Foto	32 850	0	5258	46 182 104
OZE (suma maks.)	63 921			
OZE (jednocześnie)	47 658	74	15 014	131 880 530
EC	5536	2 716	3 942	34 628 241
JWCD	0	0	0	0
Eksport	0	0	0	0
Na magazyn	32 083	0	4074	35 783 064
Z magazynu	18 713	0	3676	32 294 215
Suma źródeł	69 457			
Suma instalacji	101 540			
Ubytek JWCD [MWh/a]				91 407 140
Cena paliwa [zł/MWh]				600
Ubytek kosztu paliwa [zł/a]				54 844 284 209
Koszt inwestycji [zł/a]				521 615 010 830
Przyrost kosztów [zł/a]				466 770 726 621
Koszt energii z magazynów [zł/MWh]				14 453,69
Koszt energii w KSEE [zł/MWh]				2 863,27
Wskaźnik wykorzystania magazynu [%]				11,46
Zapas	Maksymalny	Minimalny	Początkowy	Końcowy
MWh	4 501 614	0	1 823 657	1 823 657
Dni średniego zapotrzebowania	10,107		4,094	4,094
ton węgla 21 GJ/t, 0,40	1 929 263		781 567	781 567



Rys. 4. Przebieg zapasu magazynowego w przypadku posiadania 64 GW OZE i 32 GW magazynów bateryjnych.

podano także w przeliczeniu na dni średniego zapotrzebowania (jest to 10 dni) i na tony węgla w tradycyjnym magazynie energii (jest to 1,9 mln ton węgla na zwałach). Uwadze poleca się rysunek 4, pokazujący przebieg zapasu magazynowego w badanym wariancie.

Kluczowe jest zrozumienie, że oprócz mocy ładowania przekraczającej znacznie obecne szczytowe zapotrzebowanie PL,

konieczna jest odpowiednio duża pojemność. Próba opisanie magazynów tylko za pomocą wielkości wyrażonej w gigawat-tach jest bezprzedmiotowa.

Wariant: bez elektrowni sterowalnych

Całkowita likwidacja tradycyjnego systemu generacji, pokrywającego średnio 18,6 GW zapotrzebowania (od 11,4 GW do 28,3 GW), wymagałaby budowy OZE o mocy co najmniej 81 GW i magazynów o mocy 41 GW oraz pojemności 9000 GWh. Razem wymagałoby to instalacji energetycznych o mocy 122 GW. Podany zapas energii elektrycznej w bateriach musiałby wystarczyć na 20 dni zapotrzebowania średniego, a w przeliczeniu odpowiada on rezerwie 3,8 mln ton węgla. Uwzględniając możliwość wystąpienia nieco surowszej zimy i konieczności utrzymywania zapasu większego niż „na styk”, powiemy, że dla systemu spełniającego żądania zwolenników 100% OZE konieczny jest 30-dniowy zapas energii. Odpowiada on całkowicie prawdopodobnym warunkom pogodowym: 3–5 tygodni bez wiatru i słońca. Zgromadzenie ww. zapasu węgla nie stanowiło żadnej trudności, a czy będzie to możliwe za pomocą magazynów bateryjnych – przekonamy się. Przy dzisiejszym stanie wiedzy energia z takich magazynów kosztowałaby 23 379 zł/MWh, a przyrost kosztów systemu z tytułu samych magazynów bez kosztów wiatraków i paneli fotowoltaicznych wyniósłby 5920 zł/MWh.

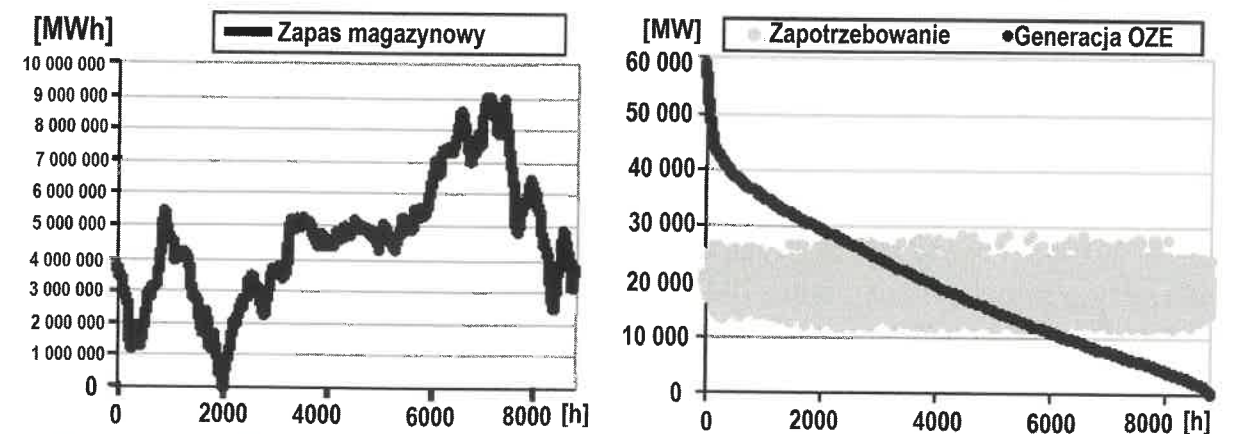
Przebieg zapasu magazynowego dla badanego wariantu pokazano na rysunku 5. Znamienne byłoby tutaj charakterystyczne rozładowanie magazynów na przednówku i spory zapas wynikający z pogodnej jesieni, jednak zużyty w okresie pochmurnym i bezwietrznym. Byłaby to gospodarka o cechach rolniczych, istotnie „bliżej natury”, jednak wtedy musimy rozumować w skali roku albo wieloletnich cykli pogodowych, a nie w skali kilku godzin.

Podsumowanie

Wykazano, że magazyny bateryjne o pojemności 17 GWh mogłyby zdjąć z eksportu najbardziej kontrowersyjną część nadwyżki OZE, tj. część powodującą sprzedaż energii po cenach niższych od 300 zł/MWh. W obszarze kosztów tej rozwijającej się technologii panuje jeszcze niepewność – energia z takich magazynów kosztowałaby od 600 zł/MWh do 1200 zł/MWh (przy zakupie po 0 zł/MWh). Nie jest to więc koszt całkowicie fantastyczny, jest całkowicie realny, ale wciąż wysoki. Inwestor jak najbardziej może także ładować magazyny prądem z węgla, co podniesie opłacalność inwestycji, ale na pewno nie o to chodzi „zielonym”. Za pomocą regulaminów giełdy można doprowadzić do różnic cenowych ± 1500 zł/MWh gwarantujących, że eksploatacja takich magazynów stałaby się opłacalna. Nie jest powiedziane, że z takiego rozwiązania byłby jednak zadowolony odbiorca energii elektrycznej (średnia RCE 2024 r. wynosi 415 zł/MWh).

Tabela 5. Modelowe osiągi systemu, w którym OZE i magazyny całkowicie zastąpiłyby generację sterowalną

Likwidacja JWCD i EC				
Wyszczególnienie	Maks. [MW]	Min. [MW]	Średnia [MW]	[MWh/a]
Zapotrzebowanie	28 304	11 408	18 559	163 019 921
Wiatr	39 458	92	12 390	108 831 400
Foto	41 717	0	6677	58 648 254
OZE (suma maks.)	81 175			
OZE (jednocześnie)	60 523	95	19 066	167 479 655
EC	0	0	0	0
JWCD	0	0	0	0
Eksport	0	0	0	0
Na magazyn	40 943	0	5207	45 740 852
Z magazynu	23 621	0	4700	41 281 118
Suma źródeł	81 175			
Suma instalacji	122 118			
Ubytek JWCD i EC [MWh/a]				126 035 381
Cena paliwa [zł/MWh]				600
Ubytek kosztu paliwa [zł/a]				75 621 228 537
Koszt inwestycji [zł/a]				1 040 746 366 905
Przyrost kosztów [zł/a]				965 125 138 368
Koszt energii z magazynu [zł/MWh]				23 379,34
Koszt energii w KSEE [zł/MWh]				5 920,29
Wskaźnik wykorzystania magazynu [%]				11,48
Zapas				
MWh	8 981 793	0	3 702 285	3 702 285
Dni średniego zapotrzebowania	20,165		8,312	8,312
ton węgla 21 GJ/t, 0,40	3 849 340		1 586 694	1 586 694



Rys. 5. a) przebieg zapasu magazynowego w systemie 100% OZE wykorzystującym: wiatraki, fotowoltaikę i magazyny bateryjne, b) roczny, uporządkowany wykres generacji OZE w systemie, jak wyżej.

Czy wzmiankowana wyżej pewna realność zastosowania magazynów bateryjnych oznaczałaby, że podstawowy problem OZE – wielkoskalowe magazynowanie energii elektrycznej, miałby już być rozwiązany – nie. Magazyny 17 GWh są po prostu za małe. W stosunku do średniego zapotrzebowania 18,6 GW są to magazyny o pojemności 54,8 minut. Obliczenia wykonano w odniesieniu do generacji OZE w 2024 r. PGE planuje zbudować przedmiotowe magazyny do 2035 r. Do tego czasu, jeśli wierzyć obietnicom Ministerstwa Klimatu, moc OZE ma znacząco wzrosnąć.

Na przeszkodzie w zastosowaniu dowolnej instalacji magazynującej energię elektryczną z generacji OZE w pierwszej kolejności stoi rażąca dysproporcja mocy do energii nadwyżki uniemożliwiająca godziwy zarobek właścicielom takiej instalacji. Następnie, gdyby dalej rozwijać OZE, narasta potrzeba przerzucenia coraz większych ilości energii „z nad kreski pod kreskę”, aż do ilości trudnych do wyobrażenia przy dzisiejszym stanie techniki. Na rysunku 5 po prawej pokazano roczny, uporządkowany wykres generacji OZE o mocy zainstalowanej 81 GW, a w tle pokazano towarzyszące danym godzinom zapotrzebowanie. Pozwala to wyobrazić sobie pole nadwyżki i niedoboru energii OZE w stosunku do zapotrzebowania w przypadku wizji systemu całkowicie opartego na OZE i magazynowaniu w bateriach.

Oczekiwana przez zwolenników OZE likwidacja bloków systemowych o średniej generacji 10,4 GW wymagałaby magazynów o pojemności 4502 GWh. Całkowita likwidacja tradycyjnej generacji w Polsce wymagałaby magazynów 9000 GWh. Są to oczywiście wielkości znacznie większe, niż obiecywane 17 GWh. Czy dzięki postępowi technicznemu możliwy jest

dalszy spadek kosztów magazynów? Niewątpliwie produkcja seryjna może się przyczynić do obniżki kosztów. Jednak, biorąc pod uwagę gęstość energii podawaną w poradnikach auto-moto dla baterii Tesli możemy powiedzieć, że zastąpienie składów węgla o pojemności 4 mln ton wymagałoby utworzenia składów baterii o masie 37 mln ton. Nie jest to przesłanka, w świetle której należałoby oczekiwać bezproblemowego rozwoju technologii magazynów bateryjnych.

Autor nie uważa za racjonalne, czy też „zrównoważone”, aby dla pokrycia średniego zapotrzebowania rządu 18,6 GW budować instalacje energetyczne o mocy 100–120 GW. Wydaje się to wręcz nieprawdopodobne, ale zwolennicy wiatraków i fotowoltaiki całkowicie bezkrytycznie planują budowę OZE o mocach stanowiących wielokrotność podaży nad popytem i nie dostrzegają przy tym żadnej sprzeczności ani trudności technicznych. Jak napisano, w trakcie pracy przyjęto wiele miejscami abstrakcyjnych założeń akademickich, w tym założenie o „likwidacji elektrociepłowni” i świadomym zlekceważeniu zasad bezpieczeństwa, a była to część tworzona tuż przed awarią systemową w Hiszpanii. W rzeczywistości więc, dla realizacji wizji 100% OZE, oprócz budowy źródeł o sześciokrotności mocy zapotrzebowania i 530 razy większej (niż zaplanowano) pojemności baterii, doszłyby koszty stosownego przewymiarowania sieci i odtworzenia wymaganych funkcji bezpieczeństwa systemu.

Autor zauważa postępowanie w budowie bateryjnych magazynów energii, ale nie uważa za realne, aby miał powstać tani system elektroenergetyczny realizujący jednocześnie ideę „pełnej dekarbonizacji”. ■

