

Magazyny energii

Najbardziej znaną i stosowaną na średnią skalę metodą magazynowania energii jest wykorzystanie elektrowni szczytowo-pompowych, w których woda jest pompowana do górnego zbiornika, co pozwala zwiększyć jej energię potencjalną, a następnie jest spuszczana do dolnego zbiornika, powodując po drodze rotację turbin wodnych i połączonych z nimi hydrogeneratorów. W ten sposób energia potencjalna wody zgromadzonej w górnym zbiorniku zamienia się w energię kinetyczną, a następnie w energię elektryczną, którą obracające się uzwojenia wirnika indukują w uzwojeniach stojana hydrogeneratora.

Jednakże możliwości magazynowania energii w elektrowniach szczytowo-pompowych są ograniczone. W systemie europejskim ocenia się je na 50 GW [61]. Jest to stosunkowo niewiele, biorąc pod uwagę sumę mocy zainstalowanej w krajach Unii Europejskiej wynoszącą ponad 1000 GW. Moce zainstalowane w elektrowniach wiatrowych wynoszą w państwach unijnych ponad 170 GW, a w elektrowniach słonecznych typu PV ponad 180 GW. Oznacza to, że elektrownie szczytowo-pompowe nie są w stanie skompensować wahań występujących w produkcji energii ze źródeł odnawialnych.

W Polsce moce zainstalowane elektrowni szczytowo-pompowych wynoszą ok. 1600 MW. Jest to niewiele (5,9%) w stosunku do maksymalnego zapotrzebowania na energię elektryczną sięgającego ponad 27 GW. W praktyce wykorzystywane moce elektrowni szczytowo-pompowych są jeszcze ok. 20 – 30% mniejsze od mocy zainstalowanych.

Do głównych parametrów magazynów energii należą:

- współczynnik energii do mocy, który oznacza stosunek energii do mocy i wskazuje, na jaki czas można magazynować maksymalną wielkość energii;
- gęstość energii, która oznacza ilość magazynowanej energii w stosunku do wielkości magazynu i jest określana w kWh/litr lub kWh/m³;
- gęstość mocy oznaczająca stosunek wielkości mocy do wielkości magazynu w kW/litr lub kW/m³;

- pojemność magazynu wskazująca na ilość energii (kWh) możliwą do zmagazynowania;
- głębokość rozładowania wskazująca na możliwą wielkość rozładowania;
- rozładowanie oznaczające straty występujące przy magazynowaniu energii;
- cykl życia wskazujący na maksymalną liczbę ładowań i rozładowań magazynu;
- kalendarzowy czas życia oznaczający maksymalny czas działania magazynu niezależnie od sposobu użytkowania.

1. Kategorie magazynów energii

Istnieje pięć głównych rodzajów magazynów energii klasyfikowanych ze względu na proces magazynowania (tab. 4.1).

Do najbardziej powszechnych chemicznych magazynów energii należą baterie: (1) litowo-jonowe, (2) ołowiowo-kwasowe, (3) sodowo-siarkowe oraz bizmutowo-cynkowe. Główne parametry chemicznych magazynów mocy podano w tabelach 4.2 i 4.3. Wśród magazynów chemicznych najczęściej spotyka się

baterie litowo-jonowe, powszechnie stosowane w urządzeniach elektronicznych, jak również w energetyce, gdzie wykorzystuje się czasem baterie ołowiowo-kwasowe ze względu na ich niższą cenę. Te dwie kategorie magazynów znajdują też zastosowanie w motoryzacji. Baterie litowo-jonowe oraz baterie ołowiowo-kwasowe używane są do rozruchu silników spalinowych.

Spośród mechanicznych magazynów energii największe zastosowanie mają elektrownie szczytowo-pompowe. Pozwalają one na gromadzenie znacznych ilości energii na okresy kilku dni czy nawet tygodni. Możliwości budowy ESP zależą od ukształtowania terenu. Kraje takie jak Norwegia, Austria czy Szwajcaria posiadają naturalne możliwości budowy ESP. W Polsce ze względu na ukształtowanie terenu możliwości budowy ESP są niewielkie.

2. Magazyny wodorowe

Wiele nadziei pokłada się w technologiach wodorowych, ponieważ można

Tabela 4.1. Kategorie magazynów energii

Kategoria	Technologia	Gęstość energii [kWh/m ³]
Mechaniczne	Energia potencjalna – elektrownie szczytowo-pompowe	1
	Energia kinetyczna – wirujące koło (flywheel)	10
Elektryczne	Pole elektrostatyczne (kondensatory)	10
	Pole elektromagnetyczne (cewki)	10
Elektrochemiczne	Ołowiowo-kwasowe	100
	Litowo-jonowe	500
Ciepłne	Magazynowanie w wodzie	120
	Magazynowanie w parze	630
Chemiczne	Magazyny wodoru	2400
	Magazyny paliw	8500

Tabela 4.2. Parametry chemicznych magazynów energii [62]

Parametry	Bizmutowo-cynkowe	Litowo-jonowe	Ołowiowo-kwasowe	Sodowo-siarkowe
Sprawność	60 – 70%	85 – 90%	75 – 80%	75 – 80%
Gęstość energii	20 – 70 Wh/l	200 – 350 Wh/l	50 – 100 Wh/l	150 – 200 Wh/l
Liczba ładowań	ponad 10 000	1000 – 5000	500 – 2000	1000 – 5000
Głębokość rozładowania	100%	100%	70%	100%
Czas uruchomienia	sekundy	3 – 5 ms	3 – 5 ms	3 – 5 ms

magazynować wodór jako paliwo. W okresach nadmiaru energii ze źródeł odnawialnych możliwa byłaby produkcja wodoru przez elektrolizę wody (zielony wodór), który następnie byłby przechowywany w magazynie do czasu przetworzenia na energię elektryczną. Produkcja wodoru z użyciem energii odnawialnej za pomocą elektrolizy jest bardzo kosztowna, ale technologia ta jest powszechnie znana i prosta w zastosowaniu.

Trudności przysparza natomiast przesyłanie wodoru, które nie jest dobrze opanowane od strony technicznej. Przesyłanie wodoru w istniejących rurociągach wymaga domieszki gazu ziemnego na poziomie 92%, co stawia pod znakiem zapytania racjonalność takiego działania. Nie ma dobrych rozwiązań technicznych dotyczących spalania wodoru w turbinach – chociaż prototyp pierwszej turbiny wodorowej został opracowany w 1936 r., to do dziś nie opanowano wybuchowego charakteru spalania wodoru z efektem *flash back* oraz powodowania przez wodór kruchości konstrukcji stalowych. Ogniwa wodorowe, w jakich można przetwarzać wodór na energię elektryczną, mają moce rzędu kilkuset kW i mogą być wykorzystywane w różnego rodzaju pojazdach, natomiast energetyka wielkoskalowa potrzebuje urządzeń o mocach rzędu tysięcy MW. Jeden typowy dla energetyki wielkoskalowej blok o mocy 1 GW odpowiada mocy ponad 3000 ogniw paliwowych o mocach 300 kW każde.

Transformacja energetyczna zakładająca duże udziały energii ze źródeł odnawialnych będzie możliwa tylko w wypadku opracowania technologii długoterminowego magazynowania energii i to w dużej ilości, jaka jest niezbędna dla elektroenergetyki wielkoskalowej zapewniającej bezpieczeństwo energetyczne. Prace nad wykorzystaniem wodoru w energetyce wielkoskalowej trwają od lat, ale postępy są niewielkie.

3. Przyszłość magazynów energii

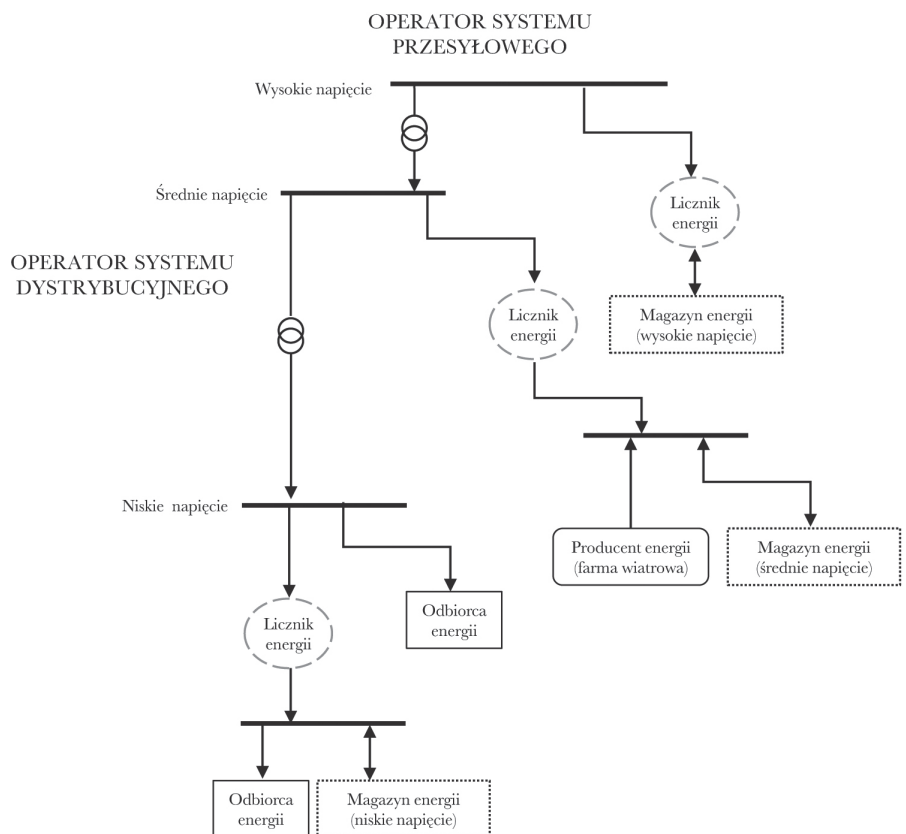
Pomimo prawie 200 lat prac nad magazynami energii postęp jest stosunkowo niewielki. Energii elektrycznej, ze względu na jej naturę (przepływ elektronów), nie można magazynować, dlatego konieczne jest stosowanie magazynowania z użyciem innych technologii, takich jak magazynowanie z wykorzystaniem roztworów chemicznych, energii potencjalnej czy

Tabela 4.3. Parametry magazynów mechanicznych [62]

Parametry	Szczytowo-pompowe	Skompresowane powietrze	Flyweels
Sprawność	70 – 80%	60 – 70%	80 – 95%
Czas życia	60 – 100 lat	25 lat	15 lat
Czas uruchomienia	2 – 3 minuty	3 – 10 minut	10 ms

Tabela 4.4. Najważniejsze zastosowania magazynów energii

Zastosowanie	Rodzaj systemu		
	Przesyłowy 220 kV i 400 kV	Dystrybucyjny - 15 kV, 30 kV i 110 kV	Dystrybucyjny niskich napięć - 230 V/400 V
Opis zastosowania	Bilansowanie zapotrzebowania dobowego	Bilansowanie OZE; zmniejszanie mocy zamówionej	Magazyny prosumentów
Zalecane technologie	Ołowiowo-kwasowe, litowo-jonowe, przepływowo	Ołowiowo-kwasowe, litowo-jonowe, przepływowo	Ołowiowo-kwasowe, litowo-jonowe
Relacja do licznika energii	Przed licznikiem	Przed lub za licznikiem	Za licznikiem
Technologie konkurencyjne	Rozbudowa linii i turbiny gazowe	Rozbudowa linii, turbiny gazowe i silniki wysokoprężne	Rezerwowe generatory i silniki benzynowe lub wysokoprężne



Rys. 4.1. Wykorzystanie magazynów energii w systemie elektroenergetycznym

kinetycznej oraz na mniejszą skalę pola elektrycznego czy magnetycznego. Dużo nadziei pokładano w magazynach przepływowych (*flow storage*), ale pomimo wielu lat badań postęp w tym zakresie jest ograniczony.

Najbardziej obiecujące wydaje się magazynowanie wodoru, możliwe przy

pewnych kosztach, jednak największym problemem jest jego dalsze wykorzystanie. Bez technicznego opanowania przesyłania wodoru oraz jego spalania w instalacjach wielkoskalowych trudne będzie osiągnięcie neutralności emisyjnej i przejście do gospodarki zeroemisyjnej.

4. Wykorzystanie magazynów energii

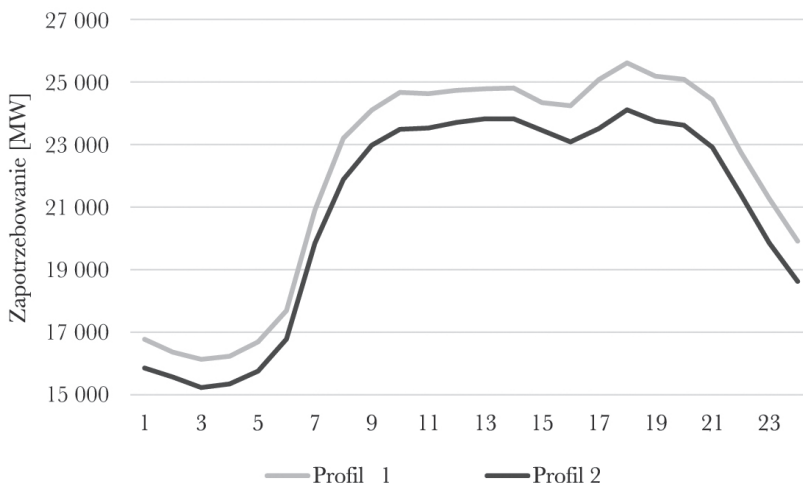
Magazyny energii mogą działać w systemie elektroenergetycznym na trzech głównych poziomach napięciowych: w systemie przesyłowym najwyższych napięć (220 kV i 400 kV), w systemie rozdzielczym na poziomie (15 kV, 30 kV i 110 kV) oraz w systemie najniższych napięć (230 V/400 V), w szczególności w instalacjach prosumenckich (rys. 4.1).

Magazyn energii wysokiego napięcia może działać jako instalacja świadcząca usługi regulacyjne bezpośrednio dla Operatora Systemu Przesyłowego. Taki przypadek nazywany jest „przed licznikiem”. Nazwa ta odzwierciedla dostęp OSP do magazynu energii i możliwość jego pełnej kontroli.

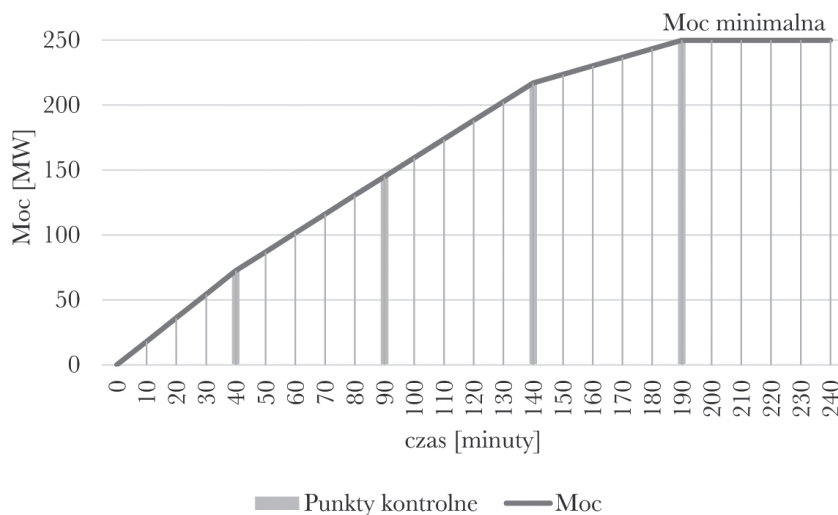
Magazyn energii, który jest związany z instalacją OZE (np. farmą wiatrową), może też działać na poziomie średniego napięcia. Taka instalacja jest nazywana „za licznikiem”, ponieważ operator sieci nie ma bezpośredniego dostępu do magazynu energii, ale może mierzyć całkowity profil mocy jako kombinację produkcji energii elektrycznej z wiatru i jej magazynowania. Operator farmy wiatrowej decyduje o tym, jaka ilość energii elektrycznej jest wprowadzana bezpośrednio do sieci i jaka część tej energii może być przekazywana do magazynu energii lub z niego pobierana. Podobną rolę mogą odgrywać magazyny energii w zakładach przemysłowych, gdzie zmagazynowana energia elektryczna może służyć do zmniejszenia maksymalnego poboru tej energii (szczyt zapotrzebowania), a tym samym zmniejszyć moc zamówioną i związane z tym koszty.

Niskonapięciowy magazyn energii może być też zainstalowany u prosumentów. Słońce operuje głównie w godzinach porannych i wczesnopółdniowych, kiedy obecność odbiorców w ich domach jest ograniczona. Wówczas większość energii wyprodukowanej przez panele PV zostałaby utracona, gdyby nie było możliwości jej magazynowania.

Magazyny energii mają zastosowanie na wszystkich poziomach napięcia systemu elektroenergetycznego – od systemu przesyłowego najwyższych napięć do systemu dystrybucyjnego niskich napięć 230 V/240 V (tab. 4.4).



Rys. 4.2. Dwa profile dobowe poboru energii elektrycznej w czasie zimy



Rys. 4.3. Przykładowa charakterystyka rozruchu jednostki cieplnej produkującej energię elektryczną

5. Magazyny energii w systemie przesyłowym

Pobór energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym, w tym w systemie przesyłowym, zależy od sposobu życia społeczeństwa oraz funkcjonowania gospodarki. Tradycyjnie najniższy pobór energii elektrycznej występuje w ciągu nocy, po czym rano obserwuje się szybki wzrost wynikający z aktywności społeczeństwa. Szczyt poboru energii elektrycznej jest notowany w godzinach wieczornych (od 19.00 do 21.00), szczególnie w okresie zimowym.

Wzrost poboru energii elektrycznej w tzw. szczycie porannym (od godz. 5.00 do godz. 10.00) wynosi ponad 60% wielkości poboru maksymalnego. W celu zaspokojenia tego zapotrzebowania Operator Systemu Przesyłowego stosuje dwa główne działania: (1) zwiększenie

produkcji energii elektrycznej przez jednostki w pełni dyspozycyjne (JWCD), które są już dołączone do systemu i produkują energię, oraz (2) uruchamianie nowych jednostek wytwórczych (rys. 4.2).

Uruchamianie jednostki wytwórczej cieplnej jest długim procesem, w czasie którego zachodzi konieczność równomiernego nagrzewania się wszystkich elementów bloku wytwórczego. Wchodzący do ruchu generator musi w określonych odstępach czasowych osiągać moc wyznaczoną przez charakterystykę rozruchu (rys. 4.3).

Prowadzenie rozruchu znacznej liczby jednostek wytwórczych w czasie porannego szczytu poboru energii elektrycznej stwarza ryzyko dla działania systemu elektroenergetycznego, ponieważ w tym czasie jednostki są nieelastyczne i muszą ściśle przechodzić przez punkty

wyznaczone na charakterystyce rozruchu.

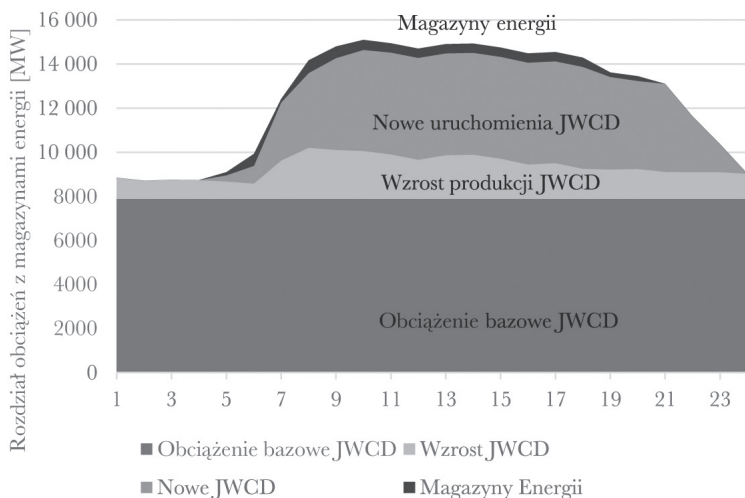
Dlatego atrakcyjną opcją jest zastosowanie magazynów energii elektrycznej, które mogłyby wspomagać działanie systemu elektroenergetycznego przez magazynowanie energii w czasie godzin nocnych, kiedy występuje jej pewien nadmiar, oraz oddawanie pobranej energii w sposób elastyczny w czasie dużego poboru energii, a szczególnie w czasie porannego wzrostu poboru. Przykład zastosowania magazynów energii w bilansowaniu dziennego zapotrzebowania pokazuje rysunek 4.4.

W rozważanym przykładzie zastosowano magazyn energii o mocy 1600 MW, który w godzinach późnowieczornych dnia poprzedniego i w godzinach nocnych do godziny 5.00 rano zdołał zmagazynować energię w wielkości 6300 MWh. Magazyn energii wspomagał działanie systemu elektroenergetycznego w godzinach 5.00 – 19.00, oddając do systemu 6176 MWh. Straty magazynowania wyniosły 124 MWh (rys. 4.5).

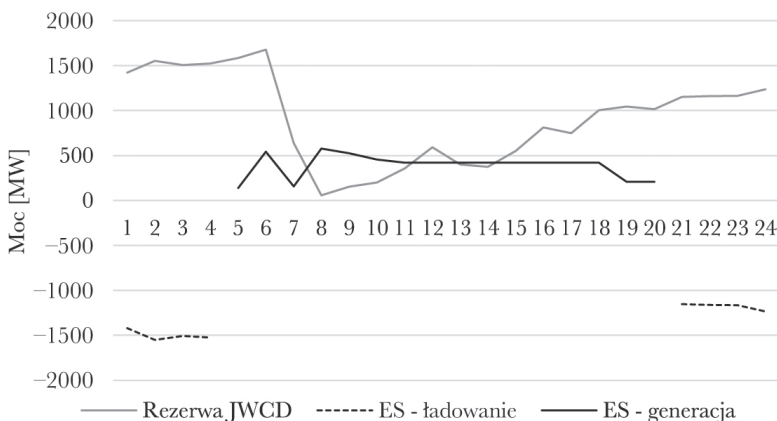
Wpływ magazynu energii na działanie systemu elektroenergetycznego w formie wspomaganie bilansowania jest niewielki ze względu na niewielkie moce jednostek szczytowo-pompowych w Polsce. Wykorzystanie magazynu o większej energii z pewnością miałooby większy wpływ, ale wymagałoby uruchamiania specjalnych, dodatkowych jednostek wytwórczych w nocy, aby zapewnić energię do zmagazynowania. Uruchamianie dodatkowych, specjalnych jednostek wytwórczych tylko na potrzeby magazynowania energii w nocy, a następnie jej oddawania w dzień z magazynu energii, wiąże się z dodatkowymi kosztami utrzymania tych jednostek oraz budowy magazynów energii i nie jest akceptowalne od strony ekonomicznej.

Szczegółowy rozdział obciążeń dla systemu elektroenergetycznego z magazynami energii został pokazany w tabeli 4.5. Zapotrzebowanie na energię z JWCD w kolumnie drugiej odpowiada popytowi wyznaczonemu dla jednostek

reklama



Rys. 4.4. Dobowy rozdział obciążeń z wykorzystaniem magazynu energii



Rys. 4.5. Ładowanie i rozładowanie magazynu energii oraz rezerwa w JWCD

Tabela 4.5. Rozdział obciążeń dla systemu elektroenergetycznego z magazynami energii [w MW]

Kol.	1	2	3	4	5	6	7
Godzina	Popyt dla JWCD	Bazowe obciążenie JWCD	Wzrost obciążenia JWCD	Nowe JWCD	Rezerwa mocy	Magazyny energii	Produkcja ES + JWCD
1	8839,2	7880	959,2		1421	-1421	8839
2	8708	7880	828	-	1552	-1552	8708
3	8752	7880	872	-	1508	-1508	8752
4	8735	7880	855	-	1525	-1525	8735
5	9094	7880	794	280	1586	140	10 680
6	9928	7880	702	804	1678	542	11 606
7	12 420	7880	1742	2642	638	156	13 058
8	14 171	7880	2321	3392	59	578	14 230
9	14 796	7880	2226	4165	154	525	14 950
10	15 099	7880	2179	4585	201	455	15 300
11	14 944	7880	2024	4620	356	420	15 300
12	14 707	7880	1787	4620	593	420	15 300
13	14 901	7880	1981	4620	399	420	15 300
14	14 927	7880	2007	4620	373	420	15 300
15	14 749	7880	1829	4620	551	420	15 300
16	14 489	7880	1569	4620	811	420	15 300
17	14 550	7880	1630	4620	750	420	15 300
18	14 296	7880	1376	4620	1004	420	15 300
19	13 624	7880	1334	4200	1046	210	14 670
20	13 446	7880	1366	3990	1014	210	14 460
21	13 098	7880	1228	3990	1152	-1152	13 098
22	11 618	7880	1218	2520	1162	-1162	11 618
23	10 355	7880	1215	1260	1165	-1165	10 355
24	9025	7880	1145	-	1235	-1235	9025

w pełni dyspozycyjnych przez odjęcie od całego zapotrzebowania produkcji energii jednostek mających pierwszeństwo pracy, takich jak elektrociepłownie oraz generacja przemysłowa. W obliczaniu zapotrzebowania dla JWCD (remaining demand) uwzględniono również wymianę międzysystemową. Wielkość popytu na energię z JWCD w przytaczanym przykładzie jest podobna do tej, jaka może występować w polskim systemie elektroenergetycznym.

Jednostki JWCD pracują z pewną mocą bazową (kolumna 2) wynikającą głównie z minimum technicznego oraz świadczonych usług rezerwy mocy pierwotnej i wtórnej. Dodatkowo (kolumna 3) jednostki te zwiększają produkcję w celu zaspokojenia popytu ponad moc bazową. Po zrównoważeniu zapotrzebowania z produkcją JWCD posiadają jeszcze pewne rezerwy mocy (kolumna 5) i te rezerwy mocy mogą być użyte do ładowania magazynu energii (kolumna 6, w której liczby ujemne oznaczają pobór energii przez magazyn, a liczby dodatnie oddawanie energii z magazynu do systemu elektroenergetycznego).

Wielkość energii przeznaczony do zmagazynowania w godzinach 1.00 – 4.00 wynika z ograniczeń systemu, natomiast o wielkości energii elektrycznej i czasie jej przekazywania z magazynu do systemu decydował algorytm optymalizacyjny, dla którego jednym z celów było utrzymanie dodatnich poziomów rezerw mocy (kolumna 5) o wielkości rzędu kilkuset MW, co było możliwe przez cały czas z wyjątkiem jednej godziny.

Analiza tabeli 4.5, a w szczególności porównanie rezerw mocy (kolumna 5) z wielkością energii przekazywanej do magazynu (kolumna 6 – godziny 1.00 do 4.00 rano), pokazują, że maksymalne wielkości rezerw mocy, jakie mogą być przeznaczone na magazynowanie energii, nie przekraczają 1600 MW i dlatego w omawianym przykładzie zastosowano magazyn o takiej wielkości. Zwiększenie mocy magazynu energii i jego pełne wykorzystanie wymagałoby dodatkowej produkcji ponad wielkość, jaką są w stanie wyprodukować przyłączone do systemu JWCD. Praca dodatkowych jednostek wytwórczych tylko na potrzeby magazynowania nie ma większego sensu

z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia, chyba że byłaby to nadmiarowa produkcja ze źródeł odnawialnych, ale ze względu na niepewność tej produkcji nie można na niej oprzeć ciągłego działania systemu.

Ponieważ wielkości zapotrzebowania na energię z JWCD pokazane w tabeli 4.5 są zbliżone do wielkości w polskim systemie elektroenergetycznym, należy sądzić, że potencjał dla zastosowania magazynów energii w Polsce dla wspomaganie rozruchu jednostek wytwórczych jest nie większy niż 1500 – 2000 MW.

6. Magazyny energii w systemie dystrybucyjnym

W sieciach średniego napięcia (15 kV i 30 kV) magazyny energii mogą być wykorzystywane w dwojaki sposób: (1) do kompensowania różnic między prognozami a rzeczywistą produkcją OZE oraz (2) do obniżania wielkości mocy zamówionych w zakładach przemysłowych (rys. 4.6). W obu wypadkach magazyny energii są dołączone równolegle do instalacji, której pobór energii będą bilansować. Taki system jest nazywany „za

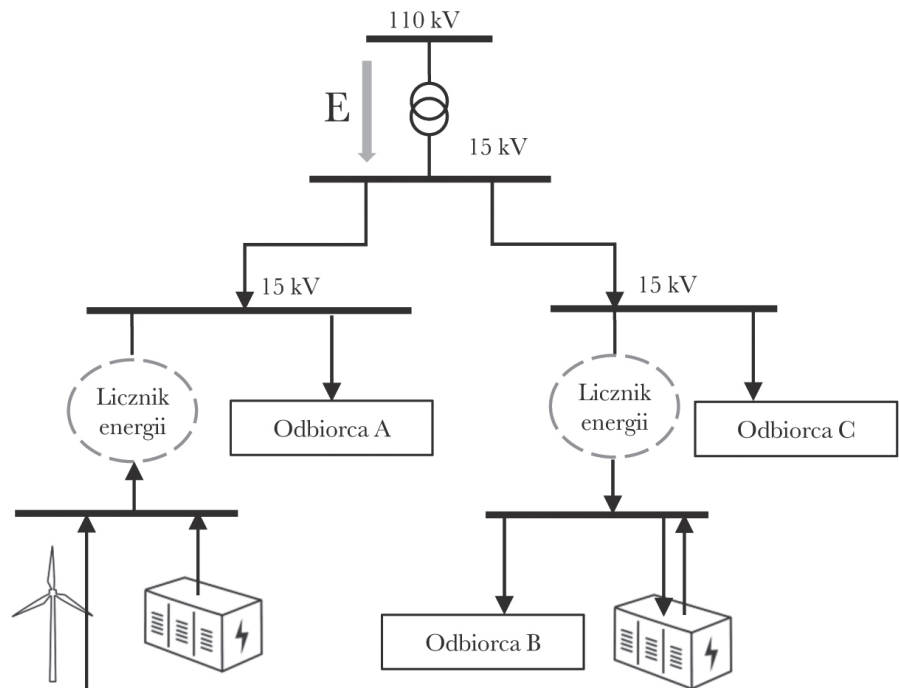
licznikiem”, ponieważ operator sieci nie monitoruje wzajemnej wymiany energii elektrycznej między instalacją a magazynem energii.

6.1. Magazyny energii przy farmach wiatrowych

Produkcja energii w farmach wiatrowych może się znacznie zmieniać nawet w okresie 24 godzin, na jaki są składane wiążące oferty na rynku bilansującym. Przykładowo farma o mocy 50 MW może wyprodukować w jednej godzinie 44 MWh energii, po czym po kilku godzinach produkcja ta może zmniejszyć się do 10 MWh, czyli ponad czterokrotnie.

Wzrost przyłączanych instalacji OZE, których produkcja ma osiągnąć w roku 2030 aż 32% całej energii, a w latach późniejszych nawet 50% i więcej, wymaga, aby energia z OZE była sprzedawana na rynku konkurencyjnym, na którym zawiera się kontrakty określające wolumeny i ceny energii dla każdej godziny w okresie kontraktu: miesięcznego, kwartalnego czy rocznego. Aby wywiązać się ze zobowiązań kontraktowych, farmy wiatrowe czy inni producenci OZE muszą zawierać kontrakty na rezerwy mocy lub instalować urządzenia będące w stanie magazynować energię.

W wypadku zainstalowania magazynu energii jego ładowanie następuje w okresach dużej produkcji energii z wiatru, natomiast przekazywanie energii z magazynu do sieci następuje w okresach mniejszej produkcji. Powoduje to większą stabilność produkcji energii, co będzie



Rys. 4.6. Zastosowania magazynów energii w sieci średniego napięcia

pozwalalo producentom OZE z wiatru zawierać kontrakty na dłuższe okresy i zwiększać ilość energii produkowanej w farmach wiatrowych.

Trzeba jednak wziąć pod uwagę, że farmy wiatrowe i inne instalacje OZE nadal mają priorytet pracy ze względu na niewdrożenie rozporządzenia UE (2019/943) o samobilansowaniu. Priorytet pracy pozwala na wprowadzenie do sieci dowolnej ilości energii w dowolnym czasie. Dlatego dopóki nie zostanie wdrożone rozporządzenie o samobilansowaniu się OZE, nie będą one zainteresowane

stabilizacją produkcji i ponoszeniem z tego powodu kosztów. Koszty bilansowania instalacji OZE ponoszą odbiorcy energii elektrycznej poprzez opłatę rynku mocy.

6.2. Magazyny energii w przemyśle

Zakłady przemysłowe są zobowiązane ponosić opłaty za moc zamówioną. Przekroczenie wielkości mocy zamówionej wiąże się z bardzo dotkliwymi dla odbiorcy karami. Dlatego jednym z możliwych rozwiązań prowadzących do zmniejszenia opłat za moc zamówioną

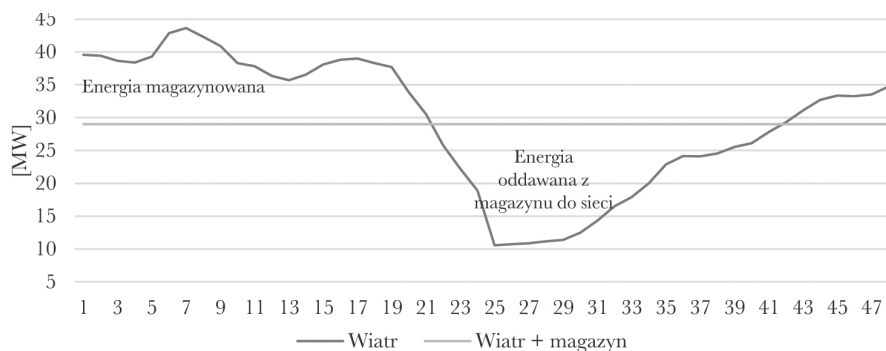
oraz ograniczenia ryzyka przekroczenia tej mocy i ponoszenia kar jest instalowanie magazynów energii.

W czasie niskiego poboru energii, np. w nocy, następuje ładowanie magazynu energii, który następnie oddaje energię w godzinach najintensywniejszej pracy zakładu produkcyjnego (rys. 4.10). W pokazanym przykładzie magazyn energii o mocy 6 MW pobiera energię w godzinach 1.00 – 4.00, a następnie oddaje pobraną energię w godzinach 6.00 – 16.00. W kolejnych godzinach (16.00 – 21.00) magazyn energii nie pracuje ze względu na malejące zapotrzebowanie oraz wysokie ceny. Ponowne ładowanie magazynu rozpoczyna się po godzinie 21.00, kiedy zmniejszają się ceny energii. W tym wypadku magazyn energii o mocy 6 MW jest w stanie obniżyć pobór mocy z 13 MW do 8,33 MW, wyrównując profil poboru.

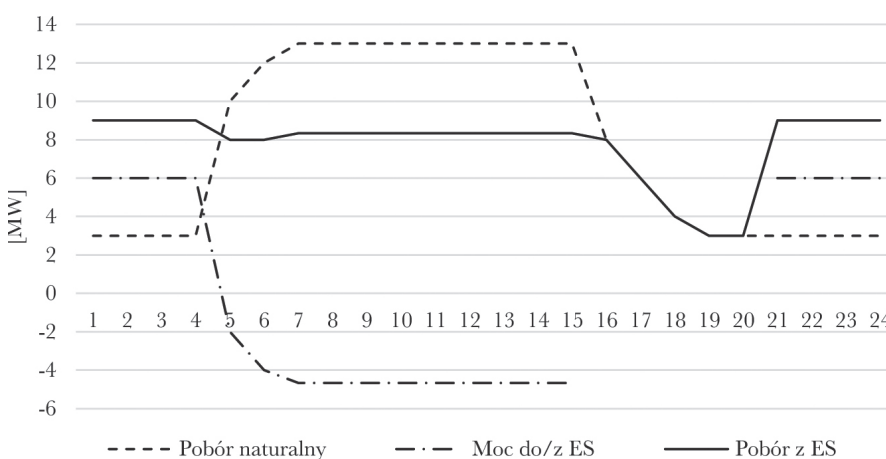
7. Prosumenckie magazyny energii

Produkcja energii elektrycznej z paneli fotowoltaicznych silnie zależy od nasłonecznienia w czasie dnia oraz od pory roku. Największą produkcję można obserwować w maju i czerwcu, kiedy dzień jest długi, a temperatura zewnętrzna niezbyt wysoka. W lipcu i sierpniu produkcja z paneli PV bywa mniejsza ze względu na nagrzewanie się paneli i spadek ich sprawności, który optymalne wielkości osiąga w temperaturach 15 – 20°C. Wielkość produkowanej energii zależy również od kierunku ustawienia paneli względem słońca, dlatego stosuje się czasem systemy nadążne lub systemy zmieniające kąt pochylenia paneli. Niestety rozmiary, waga oraz koszty urządzeń nadążnych znacznie ograniczają ich zastosowanie w mniejszych instalacjach.

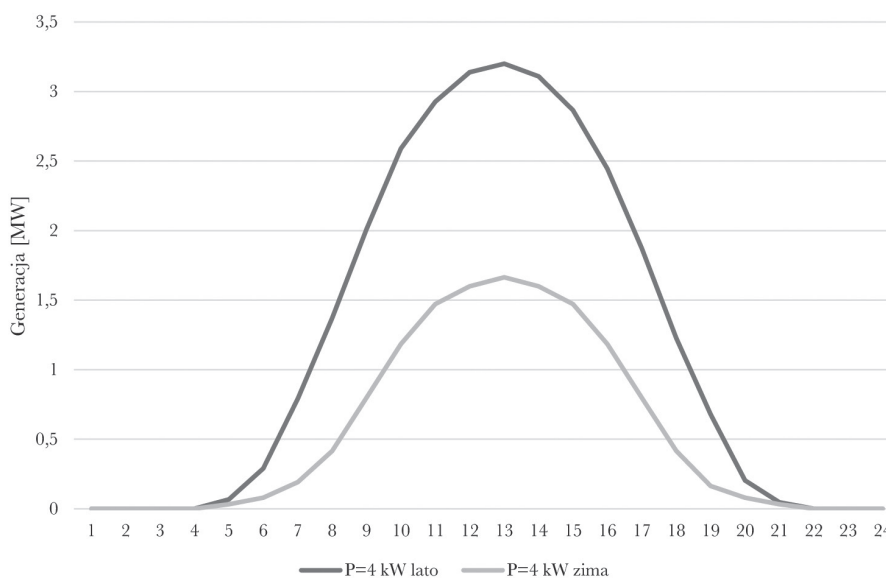
Przedstawione w tym rozdziale symulacje zostały wykonane przy założeniu instalacji panelu o mocy 4 kW, który z racji umocowania względem południa oraz strat w urządzeniach elektronicznych (falowniki) osiąga maksymalną moc wielkości 3,2 kW około godziny 13.00 (w związku z przesunięciem południa czasu astronomicznego względem południa czasu administracyjnego). Produkcja energii elektrycznej w miesiącach zimowych jest znacznie mniejsza, szczególnie w listopadzie i grudniu, kiedy niskiemu położeniu Słońca towarzyszy często zachmurzenie. Wówczas



Rys. 4.7. Współpraca farmy wiatrowej z magazynem energii



Rys. 4.8. Magazyn energii w zakładzie przemysłowym



Rys. 4.9. Dobowe 15-minutowe profile generacji panelu PV o mocy 4 kW [63]

maksymalna moc panelu rzadko osiąga moc powyżej 1,5 kW (rys. 4.9). Dobowa produkcja energii elektrycznej z paneli prosumenckich różni się znacznie latem i zimą. Produkcja dobowa w zimie bywa często 2 – 3-krotnie mniejsza od produkcji dobowej w lecie (rys. 4.10).

Produkcja energii elektrycznej przez panele PV nie odpowiada profilowi zużycia energii elektrycznej przez prosumenta.

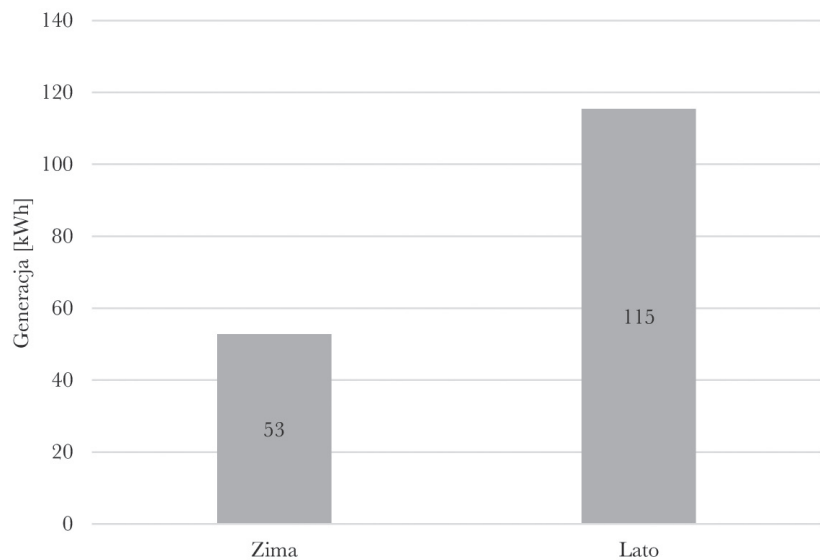
Zużycie energii elektrycznej przez prosumenta latem jest niewielkie w stosunku do produkcji energii elektrycznej przez panel PV w tym okresie (rys. 4.11).

Powstaje problem zagospodarowania nadmiaru produkcji w okresie letnim. Jednym z rozwiązań jest stosowanie magazynów energii. Jednak dostępne obecnie magazyny, najczęściej litowo-jonowe, są w stanie przechowywać

energię przez najwyżej kilkadziesiąt godzin, a więc można mówić o magazynowaniu z dnia na dzień. Nawet gdyby zmagazynować całą nadwyżkę produkowanej energii elektrycznej w czasie pracy panelu w dzień, to zostanie ona zużyta w bardzo niewielkim stopniu w nocy ze względu na niskie zapotrzebowanie. Porównanie, nawet wzrokowe, pola pod profilem generacji PV z profilem zużycia bieżącego pokazuje, że krótkoterminowe magazyny energii nie rozwiązują problemu dużej produkcji energii elektrycznej przez panele PV w okresie letnim (rys. 4.11).

Zupełnie inaczej relacje między dobową produkcją energii elektrycznej a bieżącym zużyciem przez prosumentów układają się zimą (rys. 4.12). Wówczas cała wyprodukowana przez panele PV energia jest zużywana na bieżące potrzeby i dodatkowo zachodzi konieczność zakupu z systemu elektroenergetycznego znacznych ilości energii w celu uzupełnienia jej braków w miesiącach zimowych.

Analiza produkcji energii elektrycznej przez panele prosumenckie PV w czasie



Rys. 4.10. Dobowa generacja energii elektrycznej profili PV o mocy 4 kW

okresu letniego i zimowego oraz porównanie z możliwością bieżącego zużycia produkowanej energii wskazuje na konieczność magazynowania długoterminowego obejmującego okres 5 – 6 miesięcy. Obecnie nie mamy jeszcze długoterminowych magazynów energii i jest mało prawdopodobne, aby były one

dostępne w dającej się przewidzieć perspektywie czasowej.

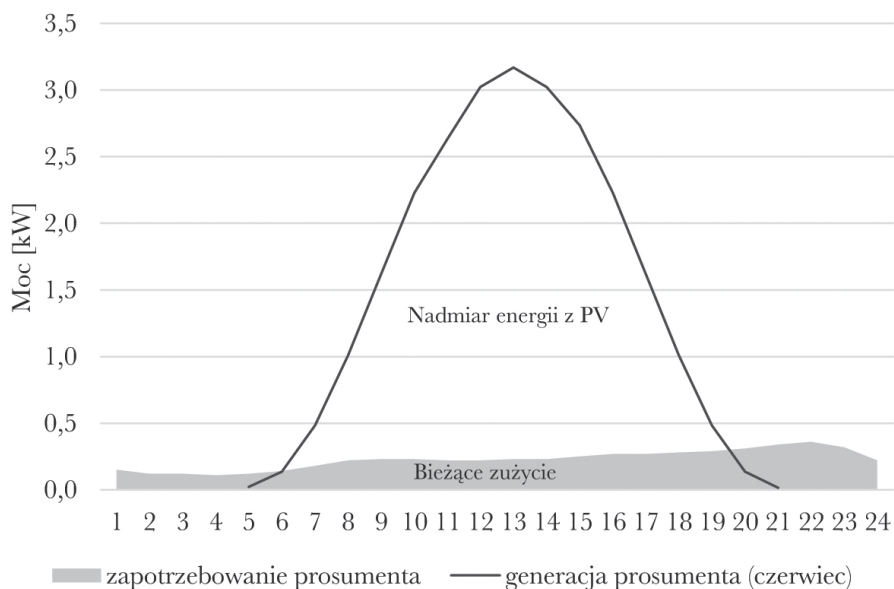
Znacznie lepsze wykorzystanie energii elektrycznej produkowanej przez panele PV pojawia się, kiedy energia z paneli jest wykorzystywana w działalności gospodarczej (odbiorca C11), nawet w okresie letnim. Wówczas możliwe jest

zagospodarowanie na potrzeby bieżące większych ilości energii w porównaniu z gospodarstwem domowym ze względu na inny profil zużycia, chociaż w dalszym ciągu występują pewne problemy z zagospodarowaniem całej produkcji PV w okresie letnim (rys. 4.13). Problemy z zagospodarowaniem energii z paneli pojawiają się także u odbiorcy komercyjnego (C11) w dni nierobocze. W okresie zimowym odbiorca prowadzący działalność gospodarczą może zagospodarować już prawie całą energię elektryczną produkowaną przez panele, uzupełniając zapotrzebowanie zakupem energii.

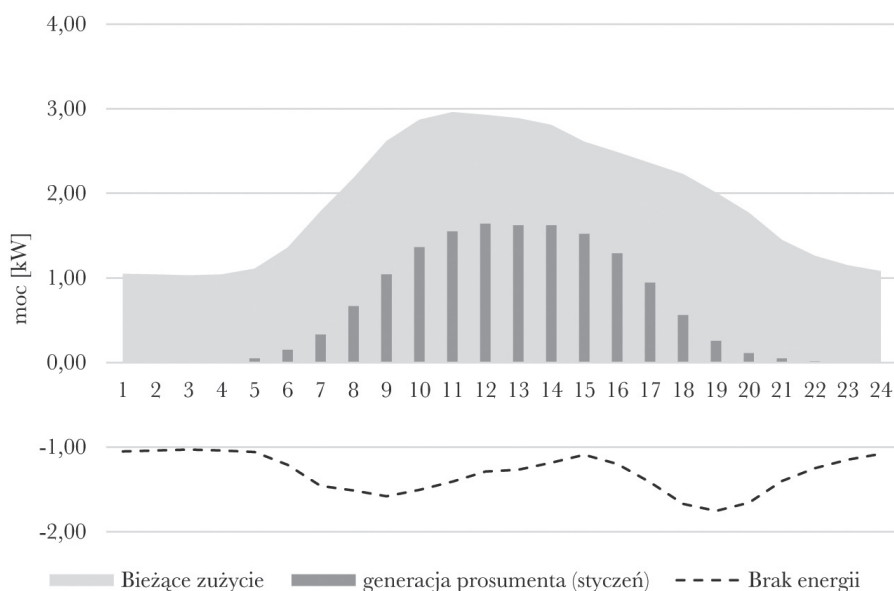
Przeprowadzona analiza wskazuje, że odbiorca domowy (prosument) nie jest w stanie wykorzystać odpowiednio energii produkowanej przez zainstalowane panele PV ze względu na niedopasowanie profili produkcji energii elektrycznej z profilami odbioru energii. Profile odbioru można poprawić przez zużywanie części energii do podgrzewania wody lub nawet podgrzewania pomieszczeń, jednak efekty takich działań są małe. Tylko niewielka część energii może zostać zużyta na podgrzewanie wody i tylko w okresie letnim, a w okresie zimowym i tak będzie zachodziła konieczność zakupu znacznych ilości energii.

W analizie wykorzystano profile poboru mocy przez różnego typu odbiorców publikowane przez Energa SA. Ponieważ nie ma możliwości długoterminowego magazynowania energii, pozwalającej na bilansowanie generacji i konsumpcji energii na poziomie prosumenta, pozwala się prosumentom na wirtualne „magazynowanie” energii w systemie elektroenergetycznym. Sposoby rozliczania się prosumenta z kosztów magazynowania energii przez system elektroenergetyczny to inaczej *net-metering* lub – jak wprowadzony od kwietnia 2022 r. nowy system rozliczeń – *net-billing*.

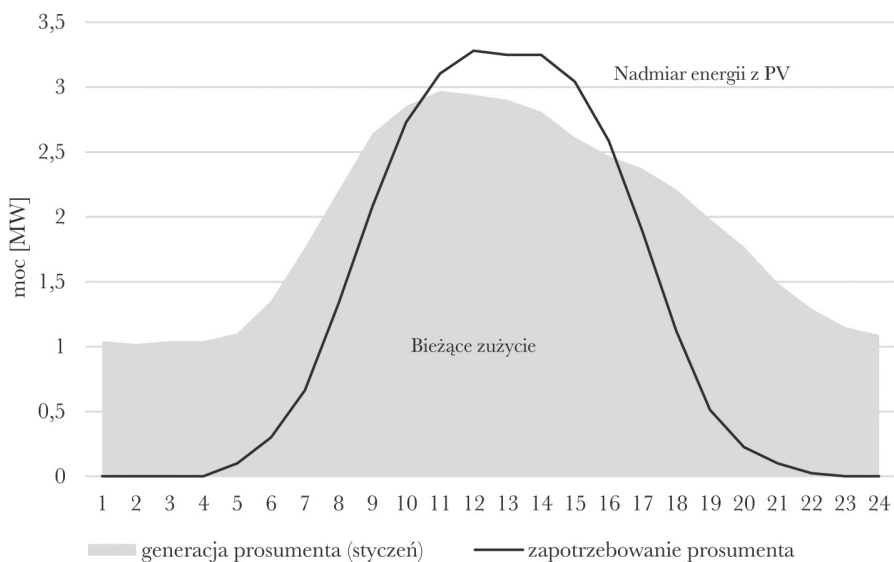
Oczywiście system elektroenergetyczny nie jest magazynem. Sieci elektroenergetyczne są zbudowane z przewodów, najczęściej aluminiowych, i niezależnie od tego, czy przewody tworzą linię napowietrzną, kabel elektryczny czy transformator, nie gromadzą energii. Rolę długoterminowego magazynu energii dla prosumentów odgrywają więc tradycyjne hałdy węgla w kopalni lub



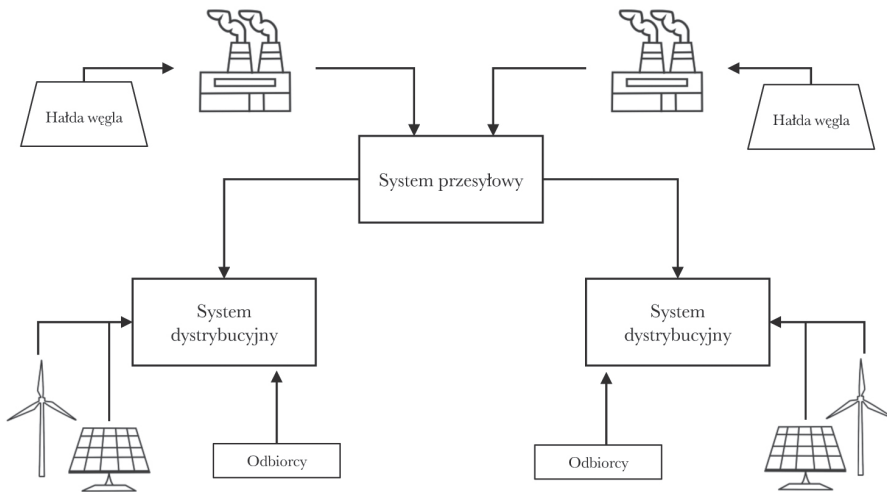
Rys. 4.11. Generacja PV i pobór u odbiorcy G11 - czerwiec



Rys. 4.12. Generacja PV i pobór u odbiorcy G11 - styczeń



Rys. 4.13. Generacja PV i pobór u odbiorcy z działalnością gospodarczą typu C11 - czerwiec



Rys. 4.14. Wykorzystanie hałd węgla do magazynowania energii z OZE

elektrowni, z czego wielu prosumentów nie zdaje sobie sprawy.

Podsumowując, gdy nadmiar niezużytej energii produkowanej w instalacjach prosumenckich jest wprowadzany do sieci, elektrownie węglowe zmniejszają produkcję na polecenie operatora. W innym wypadku doszłoby do niezbilansowania popytu z podażą i wzrostu częstotliwości

powyżej wartości znamionowej wynoszącej 50 Hz. Elektrownie konwencjonalne odkładają więc w czasie zużycie węgla do momentu, kiedy prosumenci nie będą w stanie pokryć swojego zapotrzebowania własnymi źródłami (rys. 4.14).

Można się zastanawiać, czy inne elektrownie dyspozycyjne, mogą pełnić funkcję magazynów energii, tak jak robią to

elektrownie węglowe. Oczywiście jest to możliwe, ale tylko do pewnego stopnia. Magazynów gazu nie buduje się przy elektrowniach czy elektrociepłowniach gazowych. Pobierają one paliwo za pomocą systemu rurociągów z magazynów, które są z reguły znacznie oddalone od elektroenergetycznych instalacji. Ewentualne zbiorniki gazu dla elektrociepłowni na Żeraniu w Warszawie znajdują się w okolicy Gniezna czy Wrocławia. Zbiorniki gazu ziemnego mają jako główne zadanie wyrównywanie zapotrzebowania na gaz między sezonem letnim a zimowym, a ich rola w magazynowaniu energii dla systemu elektroenergetycznego jest bardzo ograniczona.

Podobnie ograniczone możliwości magazynowania mają elektrownie jądrowe. Po załadowaniu paliwa do reaktora bardzo trudno jest regulować energię wyjściową i odbywa się to ze znacznymi kosztami.

 Fragment pochodzi z książki

Energetyka w okresie transformacji

Władysław Mielczarski, Izabela Filipiak

Wydawnictwo Naukowe PWN SA