

Radosław Gutowski

CENTRUM KOMPETENCJI FOTOWOLTAICZNYCH

Radosław Figura

UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNO-HUMANISTYCZNY
IM. KAZIMIERZA PUŁASKIEGO W RADOMIU

Nowoczesne magazyny energii ¹⁾

Streszczenie: Do niedawna systemy magazynowania energii wykorzystywano w celu redukcji kosztów, poprawy niezawodności sieci elektroenergetycznej, poprawy jakości energii. W sytuacji coraz większego udziału generacji ze źródeł odnawialnych magazyny energii potrafią rozwiązać kilka problemów wynikających z występowaniem perturbacji z poziomem mocy dostępnych w systemie.

Dzięki intensywnemu rozwojowi inteligentnych sieci elektrycznych jest możliwa pełna integracja systemów wytwarzania, magazynowania i odbioru energii w celu zwiększenia efektywności energetycznej na każdym poziomie systemu elektroenergetycznego, począwszy od pojedynczego odbiorcy, firmy, społeczności lokalnej, a na systemie ogólnokrajowym kończąc.

Modern energy storage

Summary: Until recent days, energy storage systems were used to reduce costs, to improve reliability of the power grid, to improve power quality. In the case of increasing share of generation from renewable energy sources the energy storages are able to solve several problems arising from the presence of perturbations to the level of power available in the power system.

Thanks to the intensive development of smart power networks it is possible to fully integrate the manufacturing systems, energy storage and energy consumption in order to increase the energy efficiency at every level of the power system, from a single recipient, businesses, local communities, and a national power system.

WPROWADZENIE

Historia magazynowania energii, a w szczególności tej pochodzącej ze źródeł odnawialnych, jest tak długa jak samo jej pozyskiwanie. Od początku rozwoju systemów energetycznych wiadomo było, że lepiej mieć dostępne źródło zasilania połączone z pewnym magazynem energii, niż prowadzić nieustanny proces balansowania produkcji i zużycia przy pomocy działań techniczno-administracyjnych, choć do tej pory właśnie taki model systemu jest wykorzystywany w większości rozwiniętych krajów świata. Natomiast w nowoczesnej energetyce gromadzenie energii jest jedną z kluczowych technologii i stanowi jeden z filarów jej rozwoju. Znane od lat różnorakie metody jej magazynowania wielokrotnie pokazały unikalne zalety, jakie daje możliwość gromadzenia energii.

W XXI wieku będziemy obserwować bardzo widoczny postęp w stosowaniu systemów magazynowania energii w inteligentnej sieci elektroenergetycznej, w której znajdują się nieodnawialne i odnawialne źródła energii [2].

AKTUALNA SYTUACJA RYNKOWA

Dzisiaj w skali globalnej widać wyraźnie, że jesteśmy na początku przełomowej epoki związanej z przechowy-

waniem energii na większą skalę. Nieuchronnie jest to czas systemów z odnawialnymi źródłami energii, magazynów energii popularnych jak lodówki i pojazdów elektrycznych (rowery, hulajnogi, samochody). Te wszystkie elementy stanowiąc będą jeden spójny inteligentny system przepływu energii, zapewniając większe bezpieczeństwo wszystkim uczestnikom rynku.

Widać to było wyraźnie na targach Intersolar w Monachium w 2016 r. Już po raz drugi najgłośniej rozmawiano nie o modułach czy też o inwerterach fotowoltaicznych, ale właśnie o systemach magazynowania energii. Ponadto wielu ekspertów rynku odnawialnych energii uważa, że jesteśmy dopiero na początku drogi dynamicznego rozwoju systemów magazynowania i jego rola będzie stale rosła.

Jednocześnie widać wyraźnie dwa podstawowe obszary zastosowań zasobników energii. Pierwszy obszar to odbiorcy energii elektrycznej – czyli systemy małe i średnie instalowane po stronie odbiorców domowych i biznesowych. Drugi to rozwiązania wielkoskalowe w obszarze energetyki zawodowej. Rola magazynów energii w obu tych obszarach będzie zupełnie inna.

Po ogłoszeniu w roku 2014 przez Teslę – amerykańskiego potentata w dziedzinie elektrycznych samochodów – ogólnoświatowej ekspansji w zakresie małych i średnich systemów magazynowania energii – rynek gwałtownie zaczyna się

¹⁾ Artykuł ten jest podsumowaniem trzyczęściowego materiału opublikowanego w czasopiśmie „Fotowoltaika” w latach 2015 i 2016.

zmieniać [3]. Producenci ogniw i systemów magazynowania muszą i podejmują stosowne kroki w celu zdynamizowania procesu obniżki cen oraz dostarczania coraz elastyczniejszych i wyrafinowanych rozwiązań zasobników. Takie wyzwanie rzucone rynkowi może tylko przynieść w szerszym horyzoncie zdecydowane upowszechnienie procesu gromadzenia energii [4].

ZASTOSOWANIA I APLIKACJE

OGRANICZENIE ZUŻYCIA ENERGII

W przypadku gdy użytkownik posiada ograniczoną wartość mocy zakontraktowanej u danego dostawcy, to dzięki zastosowaniu systemów magazynowania energii może uzupełnić swoje dodatkowe potrzeby energetyczne z energii zgromadzonej w zasobniku. W przypadku dobrze dobranego zasobnika do profilu odbiorcy można ograniczyć całkowitą moc zamówioną u operatora sieci dystrybucyjnej [5].

OPTYMIZACJA ZUŻYCIA WŁASNEGO ENERGII

Mając do dyspozycji własne, odnawialne źródła energii skojarzone z magazynem energii można regulować zużycie własnej energii zależnie od naszego okresowego zapotrzebowania, a ewentualne jej nadwyżki magazynować i wykorzystać je w czasie późniejszym [5]. Przy optymalnie zwymiarowanych pracujących wspólnie różnych systemach energii odnawialnych oraz współpracującego z nimi odpowiednio dużego magazynu energii jest możliwe zapewnienie pełnej samowystarczalności energetycznej dla odbiorów, których profile są przewidywalne i dobrze zdefiniowane.

REZERWA MOCY I POPRAWA JAKOŚCI ENERGII

W przypadku gdy w systemie energetycznym pracują zespoły wytwórcze dużej mocy, rezerwa mocy powinna odpowiadać co najmniej mocy największego zespołu wytwórczego. Wyposażenie takiego systemu w optymalnie zaprojektowany magazyn energii pozwala ograniczyć wielkość zespołów wytwórczych, a co za tym idzie rezerwę mocy. Jednocześnie jeżeli w systemie energetycznym istnieją problemy z utrzymaniem wysokich parametrów jakości sieci energetycznej, zastosowanie magazynu energii jako elementu stabilizującego pozwala na poprawę parametrów jakościowych dostarczanej energii.

TECHNOLOGIE DOGODNE DO MAGAZYNOWANIA ENERGII W SYSTEMACH FOTOWOLTAICZNYCH

Na rynku są dzisiaj dostępne dwie dojrzałe technologie. Starsza oparta o akumulatory kwasowo-ołowiowe i młodsza oparta o akumulatory litowo-jonowe. Pod tym względem nie ma tu dużego jakościowego pola do innowacji. Jedyne co może się wydarzyć w najbliższych latach to stała poprawa

parametrów jakościowych zarówno w obszarze parametrów technicznych (wzrost gęstości energii, wzrost pojemności, większe zakresy temperatur pracy etc.) oraz w obszarze bezpieczeństwa i wzrostu żywotności liczonej w dziesiątkach lat. Jest to dobra sytuacja z punktu widzenia rynkowego, gdyż przy tak dojrzałych technologiach kolejne wzrosty wolumenów produkcji doprowadzą do obniżek cen podobnie jak przez ostatnie 20 lat dokonała się obniżka cen systemów fotowoltaicznych. Analizując obie technologie, można zauważyć, że przyszłość należy do akumulatorów litowo-jonowych. Ich gęstość energii, temperaturowe zakresy pracy, czy duże ilości cykli życia – 5000 tysięcy i więcej powodują, że eksploatacja takiego magazynu energii wiąże się z mniejszą awaryjnością i z mniejszymi kosztami [6].

TECHNOLOGIE LITOWO-JONOWE

Z punktu widzenia różnych aplikacji na rynku wykryły się trzy główne technologie oparte na związkach litu.

TECHNOLOGIA NMC

Katodą wykonaną z $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z\text{O}_2$ i anoda grafitowa. Jej główne przeznaczenie to pojazdy elektryczne (małe i średnie) oraz systemy stacjonarne do pracy cyklicznej – czyli właśnie systemy fotowoltaiczne – i do pracy buforowej czyli UPSy. Napięcie obwodu otwartego dla pojedynczego ogniwa wynosi 3,6-3,7 V. Typowe prądy ładowania i rozładowania są na poziomie 2°C, temperaturowy zakres pracy od -20°C do + 60°C przy ilości cykli w zakresie 1500-5000 w zależności od głębokości rozładowania (DoD) i temperatury pracy. Napięcie obwodu otwartego dla pojedynczego ogniwa wynosi 3,6-3,7 V [6,7].

TECHNOLOGIA LFP (LiFePO_4)

Katoda LiFePO_4 i anoda również grafitowa. Jej główne przeznaczenie to pojazdy średnie i duże oraz stacjonarne magazyny energii do pracy cyklicznej. Typowe prądy ładowania i rozładowania są na poziomie 3-5C, temperaturowy zakres pracy od -30°C do + 70°C przy ilości cykli w zakresie 200-7000 w zależności od głębokości rozładowania (DoD) i temperatury pracy [8].

TECHNOLOGIA LTO

Katoda wykonana z LiCoO_2 i anoda $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$. Jej główne zastosowanie to pojazdy średnie i duże oraz systemy stacjonarnych zasobników energii w rozwiązaniach trakcyjnych. Typowe prądy ładowania i rozładowania są na poziomie 10C, temperaturowy zakres pracy od -30°C do + 40°C przy ilości cykli w zakresie 10 000-100 000 w zależności od głębokości rozładowania (DoD) i temperatury pracy. Napięcie obwodu otwartego dla pojedynczego ogniwa wynosi 2,5-2,6 V [9].

W wszystkich tych przypadkach kluczową sprawą jest bezpieczeństwo użytkownika. Dlatego też wszyscy znaczący producenci ogniw i gotowych magazynów energii przykładają ogromną wagę do procesu badań i certyfikacji, aby przyszły użytkownik mógł cieszyć się wieloletnią bezpieczną i bezawaryjną pracą.

BUDOWA I ZARZĄDZANIE MAGAZYNEM ENERGII

Dowolny zasobnik energii elektrycznej zbudowany z ogniw litowo-jonowych może posiadać napięcie od kilkadziesiąt (24 V) do kilkuset (800 - 900 V) w zależności od mocy systemu. Mając na względzie wartość napięcia pojedynczego ogniwa w zależności od technologii (od 2,5 V do 3,7 V), uzyskanie odpowiednich napięć DC będzie osiągnięte poprzez szeregowe łączenie ogniw.

W bateriach litowo-jonowych nie występuje problem gazowania i wydzielania się wodoru oraz par kwasu siarkowego. Z tej to przyczyny nie muszą one pracować w specjalnych pomieszczeniach z systemem wentylacji. Z powodu wysokiej gęstości energii w bateriach litowo-jonowych mogą potencjalnie pojawić się problemy związane z przeładowaniem, zbyt głębokim rozładowaniem oraz ucieczką termiczną (ang. thermal runaway) ogniw. Aby zapewnić bezpieczną pracę takiego magazynu energii, niezbędne jest wyposażenie go w wewnętrzny system zarządzania energią BMS (Battery Management System). Układ ten kontroluje rozdzielczością +/- 1 mV napięcia poszczególnych ogniw w szeregu, zapewniając bezpieczną pracę w zakresie pomiędzy najniższym a najwyższym dopuszczalnym napięciem na pojedynczym ogniwie.

Ponieważ w połączeniu szeregowym mamy do czynienia z niejednakowym ładowaniem i rozładowywaniem poszczególnych ogniw, układ zarządzania jest wyposażony w efektywny układ balansowania. Pozwala on wyrównywać napięcia i ładunki na poszczególnych ogniwach przez co zapewnia efektywne wykorzystywanie pojemności baterii oraz wydłuża jej czas życia.

Ponadto prawidłowo zarządzany magazyn energii posiada system kontroli temperatur na każdym z ogniw z rozdzielczością do 1°C. Pozwala to na bezpieczną pracę całej baterii i natychmiastową reakcję w przypadku przekroczenia dolnej lub górnej dopuszczalnych temperatury pracy na konkretnym ogniwie.

Aby taki magazyn mógł efektywnie pracować w systemie fotowoltaicznym pozwalającym na magazynowanie, zużycie i odsprzedaż energii, musi posiadać sprawny system transmisji danych, który uzgodnionym protokołem wymienia na bieżąco informacje z inwerterem. Ta stała wymiana informacji pozwala na optymalne gromadzenie energii w okresach wysokiego nasłonecznienia przy jednoczesnym braku potrzeb własnych użytkownika systemu PV i braku możliwości odsprzedaży

energii do sieci. Z drugiej strony gdy magazyn jest pełny, a produkcja z generatora fotowoltaicznego jest niewystarczająca bądź jej w ogóle nie ma, inwerter przekieruje zgromadzoną w zasobniku energię wprost do sieci wewnętrznej użytkownika bez potrzeby jej zakupu od operatora systemu dystrybucyjnego. Dodatkowo, znając profil obciążenia danego obiektu wyposażonego w system fotowoltaiczny z magazynem oraz zważywszy na fakt, że profesjonalny zasobnik energii dostarcza dodatkowo parametry mówiące o stanie całego systemu, takie jak: stan naładowania (ang. state of charge, SOC) i stan zdrowia baterii (ang. State of health, SOH) inwerter może dostosować odpowiednią strategię pracy w zależności od przyszłych przewidywanych zachowań systemu.

MAGAZYNOWANIE ENERGII W DOMOWYCH SYSTEMACH FOTOWOLTAICZNYCH

W chwili obecnej istnieje wiele rozwiązań magazynów energii różniących się między sobą technologią wykonania oraz funkcjonalnością. Niemniej jednak każde z tych urządzeń pozwala użytkownikowi magazynować energię w sposób wydajny, zwiększając efektywność instalacji fotowoltaicznej. Niższy koszt za kilowatogodzinę, więcej cykli ładowania, większa głębokość rozładowania, większa pojemność, bezpieczeństwo użytkowania oraz lepsza estetyka to podstawowe elementy, na które zwraca uwagę instalator i użytkownik końcowy.

Dotychczasowe rozwiązania instalacji fotowoltaicznych były skonfigurowane jako podłączone do sieci (*on grid*) i nie podłączone do sieci (*off grid*)[4]. Z punktu widzenia gospodarowania wyprodukowaną energią mamy tu do czynienia z dwoma skrajnymi przypadkami.

W systemach *on grid* cała wyprodukowana energia oddawana jest do sieci, a w systemach *off grid* cała wyprodukowana energia jest zużywana na potrzeby własne. Z punktu widzenia warunków rzeczywistych panujących w sieci energetycznej stale nasycanej nowymi instalacjami PV najrozsądniejszym rozwiązaniem jest budowa systemów o charakterze hybrydowym. W zależności od potrzeb użytkownika i przy uwzględnieniu stabilności sieci energetycznej, systemy hybrydowe pozwolą na pracę skierowaną na bezpośrednią obsługę potrzeb zarówno sieci, jak i użytkownika końcowego. W przypadku braku obciążenia lokalnego pozwolą na magazynowanie nadwyżek wyprodukowanej energii lub jej sprzedaż do sieci operatora. Aby taki system pracował efektywnie, niezbędne jest spełnienie kilku warunków.

Po pierwsze sam magazyn energii nie może być tylko prostym zestawem połączonych akumulatorów dających jedynie odpowiednią pojemność i napięcie, gdyż bez wymiany danych na temat jego aktualnego stanu, ilości cykli żywotności będzie on tylko zbędnym wydatkiem niespełniającym

zakładanych funkcji. Taki magazyn musi posiadać własny system nadzoru (BMS – Battery Management System) pozwalający na pełną kontrolę stanu poszczególnych ogniw w całym systemie magazynowania, monitoring temperatury, kontrolę prądu ładowania i rozładowania [10].

Po drugie instalacja musi posiadać odpowiedni falownik pozwalający na bezpiecznie podłączenie magazynu energii przy zapewnieniu inteligentnej komunikacji z zasobnikiem energii.

Po trzecie dzięki uzgodnionemu protokołowi komunikacji inwerter wymienia informację z BMSem baterii w celu jak najefektywniejszej pracy systemu fotowoltaicznego, uwzględniając potrzeby energetyczne użytkownika, aktualne warunki pogodowe oraz uwarunkowania techniczne i taryfowe w sieci elektroenergetycznej [11].

Z roku na rok poprzez rozwój technologii wymienione parametry będą się poprawiały, dając klientom większe możliwości ich stosowania. Poniżej opisane zostały kluczowe produkty dostępne na rynku europejskim i polskim.

MAGAZYNY FIRMY SONNENBATTERIE

Niemiecki lider magazynów energii firma Sonnen-Batterie, która zainstalowała ponad 10000 systemów, proponuje na rok 2016 nowe rozwiązanie. System magazynowania energii zamknięty w zwartej kompaktowej obudowie pozwala na uzyskanie niezależności i maksymalnej trwałości. Ponadto dzięki modułowej konstrukcji użytkownik może elastycznie dobierać żądaną pojemność w zależności od użytkowanego systemu od 2 kWh do 16 kWh. Długość życia 10000 cykli ładowania. Wydajność 1,5 kW-3,3 kW. Wymiary: 69,5 cm x 70 cm x 22 cm inteligencja systemu. Ponadto urządzenie posiada predykcyjny algorytm ładowania, co pozwala na zmaksymalizowanie wydajności PV. Produkt jest objęty 10-letnią gwarancją.



Fot. 1. Magazyn firmy Sonnenbatterie [12]

MAGAZYN ENERGII FIRMY PANASONIC

System jest zbudowany z akumulatorów litowo-jonowych o pojemności 8 kWh. Jest reklamowany jako „doskonałe uzupełnienie istniejących i nowych systemów solarnych”. Jego

głównym zadaniem jest zmniejszenie uzależnienia gospodarstw domowych od energii z sieci energetycznej. Magazyn ten posiada wyjście o mocy 2 kW. Posiada możliwość lokalnego i zdalnego programowania profili ładowania i rozładowania wraz z funkcją UPS w przypadku nagłej przerwy w zasilaniu z sieci energetycznej. Wymiary 1,4 m x 96,6 cm x 27,8 cm.



Fot. 2. Zabudowany magazyn energii firmy Panasonic [7]

MAGAZYN FIRMY OXIS ENERGY

Zestaw litowo-siarkowy (Li-S) firmy Oxix Energy zadebiutuje na rynku w roku 2016. W poprzednich latach baterie testowano w rzeczywistych instalacjach słonecznych.



Fot. 3. Magazyn firmy Oxix [13]

System posiada budowę modułową. Podstawowa jego jednostka posiada pojemność 3 kWh. Akumulatory litowo-siarkowe mogą osiągnąć powyżej 2000 cykli z utratą pojemności poniżej 20% pojemności początkowej (BOL). Akumulatory Li-S są także lżejsze niż Li-ioni znacznie lżejsze od baterii kwasowo-olowiowych, co pozwala na łatwiejszą i prostszą instalację. Baterie litowo-siarkowe są bezpieczniejsze i tańsze od rozwiązań litowo-jonowych. Nie zawierają szkodliwych metali, takich jak ołów i kobalt. Recykling po okresie użytkowania będzie niższy niż w przypadku baterii litowo-jonowych czy też kwasowo-olowiowych.

MAGAZYN SUN-PAC LION STORAGE FIRMY SOLARWORLD

Niemiecki producent systemów fotowoltaicznych wprowadził na rynek pod koniec 2015 roku system Sun-Pac, który bazuje na ogniwach LiFePO₄.

System jest skalowalny co 2 kWh, a każdy kolejny moduł jest podłączony w technologii plug-and-play. Producent twierdzi, że osiągalne jest 100% głębokości rozładowania (DoD) przez cały okres życia przez gwarantowane 10 000 cykli. Wyposażony we własny inwerter AC może być bezpośrednio łączony z istniejącą instalacją fotowoltaiczną.



Fot. 4. Magazyn firmy SolarWorld [14]

MAGAZYN B-BOX BATTERY FIRMY BYD

Chiński producent baterii i elektrycznych samochodów *BYD* wypuścił na rynek magazyn energii B-Box. Zbudowany z ogniw LiFePO_4 posiada podstawową pojemność 2,5 kWh i wysokość 3U. Przy prądach rozładowania 1C jego żywotność wynosi 6 000 cykli. Produkt nie posiada własnego inwertera AC. Musi współpracować z falownikiem fotowoltaicznym. Dzięki konstrukcji modułowej pozwala na większą elastyczność dla użytkownika systemu. Obudowa oparta na 19' szafie może być stosowana zarówno w instalacjach rezydencjalnych jak i w przemyśle czy biznesie.



Fot. 5. Magazyn B-Box [15]

MAGAZYN REACT FIRMY ABB

Szwajcarski producent wyprodukował magazyn REACT dedykowany dla osiedli mieszkaniowych. System jest dostępny w dwóch pojemnościach: 3,6 kWh i 4,6 kWh. Obejmuje jednofazowy falownik ABB oraz akumulator litowo-jonowy i dostarcza 2 kWh energii użytkowej. Oczekiwany czas życia baterii wynosi około dziesięciu lat, co czyni go dobrym rozwiązaniem dla typowych domowych instalacji fotowoltaicznych.

Zintegrowany port Ethernet pozwala na zdalne lub lokalne monitorowanie bez konieczności wprowadzania dodatkowych interfejsów. System ten energii może być rozszerzony o dodatkowe moduły baterii, do 6 kWh energii użytkowania, dzięki cze-

mu pasuje on do większości domowych instalacji fotowoltaicznych. Posiada również wyjście AC oraz możliwość pracy *off grid* w przypadku wystąpienia przerwy w dostawie prądu.



Fot. 6. Magazyn firmy ABB [11]

MAGAZYNY ENERGII FONA FIRMY ICPT

Moduł FONA MEGALION polskiego producenta firmy *ICPT* jest kompletnym systemem baterii litowo-jonowych o napięciu znamionowym 48 V i pojemności 2,5 kWh. Znamionowy prąd ciągły wynosi 45 A. Pozwala na współpracę z falownikami fotowoltaicznymi różnych producentów, zapewniając większą autonomiczność domowej instalacji. Jego estetyczna budowa pozwala na instalację w każdym miejscu w domu. Dzięki zastosowaniu ogniw litowo-jonowych osiąga wysoką żywotność ponad 5000 cykli. Waży 25 kg i ma wymiary pozwalające na wygodne przenoszenie nawet przez jedną osobę.



Fot. 7. Magazyn FONA firmy ICPT S.A. [10]

MAGAZYNY ENERGII DENSIS FIRMY COMMENER

Magazyny energii serii Densis polskiej firmy *Commener* są przeznaczone do współpracy z falownikami fotowoltaicznymi. Wykonany jest w technologii LiFePO_4 i może być ładowany i rozładowywany prądami do 2C. Dostępna pojemność w zależności od wersji wynosi 3 kWh, 6 kWh i 10 kWh.



Fot. 8. Magazyn Densis firmy Commener [16]

Magazyny serii DENSIS charakteryzują się dużą gęstością energii, małym samo rozładowaniem w czasie, dużym zakresem temperatur pracy, długą żywotnością niezależną od temperatury pracy. Posiada port komunikacyjny CAN lub RS 232/485 do komunikacji z pozostałymi elementami systemu.

WIELKOSKALOWE SYSTEMY MAGAZYNOWANIA ENERGII

Obserwowany w ostatnich latach dynamiczny rozwój systemów wytwórczych energii ze źródeł odnawialnych (fotowoltaika, elektrownie wiatrowe, biomasa i inne) w sposób naturalny prowadzi do konieczności instalowania dużych systemów magazynujących energię przez operatorów systemów energetycznych, czy też duże firmy przemysłowe o znaczącym zużyciu energii. Ich głównym zadaniem jest realizacja zaawansowanych usług systemowych, prowadzących do utrzymania szerokiego zestawu parametrów (napięcia, częstotliwości, mocy czynnej i biernej i wielu innych) w zakresie zgodnym z normami niezależnie o niespodziewanych zdarzeń zachodzących w sieci [4].

MAGAZYNY ENERGII FIRMY WIZN ENERGY SYSTEMS

Prezentowana przez firmę *ViZn Energy Systems* modułowa platforma magazynowania energii jest kompletnym rozwiązaniem pod klucz, zrealizowana w oparciu o cynkowo-żelazowe baterie przepływowe Z20. System jest wyposażony w inwertery, urządzenia sprzęgające z siecią oraz inne urządzenia pomocnicze firmy *Princeton Power*. Prezentowane rozwiązanie kompletnego zasobnika energii z możliwością podłączenia do sieci AC zostało zaprojektowane specjalnie dla klientów komercyjnych i przemysłowych. System jest dostępny w pojemnościach od 320 kWh do 960 kWh z opcją podłączenia do sieci energetycznej operatora przesyłowego lub do wydzielonej sieci przemysłowej na potrzeby autokonsumpcji energii wytworzonej we własnych, odnawialnych źródłach wytwórczych, np. takich jak fotowoltaika.

Dzięki zintegrowanemu systemowi sterowania pozwala w sposób intuicyjny monitorować zużycie energii. Firma twierdzi, że dzięki zastosowaniu technologii akumulatorów przepływowych jest to jedno z najbardziej opłacalnych tego typu rozwiązań na rynku pozwalającym na szybką reakcję na potrzeby natychmiastowego ładowania i rozładowania wiele razy dziennie w dowolnych warunkach pogodowych.



Fot. 9. Magazyn firmy Wizn [17]

MAGAZYN ENERGII FIRMY ALEVO GRUP

Szwajcarski start-up – firma *Alevo* oferuje rozwiązanie dedykowane dla odbiorców sektora utility pod nazwą *GridBank*. System o mocy 2 MW i pojemności 1 MWh jest umieszczony wewnątrz 40-stopowego kontenera. Zbudowany na bazie ogniw litowo-jonowych kompletowanych w szafach. Firma twierdzi, że system zapewni użytkownikowi kilkadziesiąt tysięcy cykli ładowania podczas 10-letniego okresu życia. System ma budowę modułową i może być skalowalny w celu dopasowania do potrzeb konkretnego użytkownika.

Zaimplementowane usługi sieciowe i system stałego monitorowania oraz analizy stanu sieci pozwala właścicielowi na określenie, gdzie i kiedy należy dostarczyć lub pobrać energię. Rozwiązanie to pozwala na większą integrację odnawialnych źródeł energii, które wpływają na jakość parametrów sieci. System pozwala na realizację usług stabilizacji częstotliwości, kontroli napięcia. Ponadto w pełni realizuje usługi *peak saving* i *time shifting*, zapewniając optymalne korzyści dla użytkowników sieci w czasie rzeczywistym.



Fot. 10. Magazyn firmy Alevo [18]

MAGAZYN ENERGII FIRMY IMERGY

Wielkoskalowy system magazynowania ESP30 z *Imergy* to rozwiązanie bazujące na wanadowych akumulatorach przepływowych. Jest to rozwiązanie pod klucz, w pełni skalowalne z możliwością dostosowania do potrzeb dowolnego klienta przemysłowego w przypadku konieczności realizacji wielu usług systemowych czy też możliwości skorzystania z własnej energii w dogodnym dla użytkownika czasie.

Optymalnie zaprojektowane oprogramowanie systemowe i bardzo prosta obsługa pozwala na łatwe zarządzanie tym urządzeniem z poziomu administratora.

Rozwiązanie pod nazwą ESP30 oferuje szereg pojemności 120 kWh do 200 kWh i głębokości rozładowania do 100%. Jest ono dedykowane do rozwiązań w obszarach o bardzo słabej infrastrukturze sieciowej jako niedroga i bezpieczna alternatywa dla dieslowskich agregatów prądotwórczych. System ESP30 pozwala elastycznie reagować na popyt w godzinach szczytu, stabilizować częstotliwość i napięcie sieci, doskonale integruje odnawialne źródła energii, posiada możliwość pracy

jako system backupowy dla danego lokalnego obszaru zasilania. Daje możliwość realizacji bardzo dużej ilości cykli ładowania i rozładowania.



Fot. 11. Magazyn firmy Imergy [19]

MAGAZYN ENERGII FIRMY ELECTORWAYA

Kanadyjska firma Electrovaya MWh opracowała rozwiązanie do magazynowania dużych ilości energii dedykowane do rozwiązywania problemów z jakością energii, niezawodnością i bezpieczeństwem energetycznym dla dużych obszarów sieciowych. Jako rozwiązanie w pełni skalowalne system udostępnia moduły w przedziale od 0,3 do 2 MWh, wykorzystując technologię litowo-jonową superPolymer 2.0.



Fot. 12. Magazyn firmy Elektrowaya [20]

Dzięki temu sprawność systemu dla wysokich mocy i towarzysząca jej wydajność baterii w obie strony wynoszą ponad 90%. Firma informuje, że dzięki elastycznej technologii planowane inwestycje w infrastrukturę sieci mogą być odroczone, a system oferuje nieprzerwane zasilanie, możliwość integracji źródeł odnawialnych, budowę mikrosieci oraz efektywną regulację napięcia i częstotliwości. System może być również stosowany do terenów o charakterze przemysłowym jak źródło zasilania rezerwowego lub wsparcia podstawowego źródła przy obniżaniu opłat w szczycie popytu czy też ograniczania poboru mocy maksymalnych.

MAGAZYN ENERGII FIRMY GILDEMEISTER

Firma *Gildemeister* prezentuje system magazynowania energii dużej mocy CellCube zbudowany w oparciu o prze-

ływowe akumulatory wanadowe. Został zaprojektowany tak, aby spełniał dwie zasadnicze funkcje: ograniczał moc szczytową oraz zapewniał zasilanie awaryjne dla jego właścicieli.

System jest skalowalny i może pracować równolegle z siecią elektroenergetyczną oraz współpracować ze wszystkimi rodzajami źródeł energii odnawialnej, w tym fotowoltaiki. Według dostawcy system zapewnia wysoki poziom bezpieczeństwa i bardzo dużą ilość cykli o głębokości rozładowania 100% oraz także szybki czas reakcji na zdarzenia w sieci. Jest to idealne rozwiązanie dla klientów komercyjnych, którzy potrzebują niezawodnego i elastycznego systemu do realizacji wielu usług sieciowych i zasilania backupowego.



Fot. 13.
Magazyn firmy
Gildemeister [21]

System jest oferowany jako kompletne rozwiązanie pod klucz łącznie z montażem, a nawet z utrzymaniem i eksploatacją dla klientów, którzy nie mają odpowiednich zasobów ludzkich do pracy przy tego typu rozwiązaniu.

MAGAZYN ENERGII FIRMY TESVOLT

Niemiecki start-up – firma *Tesvolt* oferuje system magazynowania energii o standardowej pojemności 0,5 MWh. Zbudowany przy użyciu baterii litowo-manganowo-żelazowych jako mobilny, plug&play system magazynowania energii do pracy w sieci elektroenergetycznej jak i poza nią. Ze względu na krótki czas rozładowania przy dużych mocach, w połączeniu z jego dostępną pojemnością, system zapewnia skuteczną dostawę energii. Współpracuje z systemami fotowoltaicznymi oraz innymi źródłami energii odnawialnej – biogazowniami i generatorami wiatrowymi. Właściciele systemu mogą dopasować system TLC do własnego zużycia energii w ciągu doby lub system może pełnić funkcję zasilania awaryjnego, w przypadku gdy jest zanik sieci. System został zaprojektowany jako rozwiązanie modułowe i w pełni bezpieczne – co pozwala na elastyczne dostosowanie do potrzeb energetycznych konkretnej aplikacji. Dzięki dostarczonemu oprogramowaniu zapewnia łatwe monitorowanie i eksploatację na platformie internetowej.



Fot. 14. Magazyn firmy Tesvolt [22]

MAGAZYNY ENERGII FIRMY BYD

Jeden z największych producentów baterii i zarazem elektrycznych samochodów chińska firma BYD, bazując na zaawansowanej technologii akumulatorów żelazowych, opracowała całą rodzinę magazynów energii. Wyposażony w inteligentny system zarządzania baterią, niezawodny system przekształtników DC/AC, firma BYD jest w stanie dostarczyć kontenerowe rozwiązanie w zależności od zapotrzebowania klientów. Zabudowane w szafach moduły bateryjne pozwalają na optymalne dostosowanie pojemności do konkretnych potrzeb danej instalacji, a cała instalacja może być skalowalna w zakresie od kilkudziesięciu kWh do wielu MWh.



Fot. 15. Magazyn wielkoskalowy firmy BYD [25]

MAGAZYNY ENERGII FIRMY HITACHI

Hitachi opracowała pakietowy system magazynowania energii, aby pomóc stabilizować pracę sieci elektroenergetycznej poprzez przechowywanie dużych ilości energii elektrycznej. System zawiera około 1600 akumulatorów litowo-jonowych dużej mocy i zdolnych do wykonania ponad 8000 cykli ładowania/rozładowania. Jest to kompletny system, który zawiera jednostkę sterującą, układ przetwarzania mocy i wszystkie inne systemy w jednym 40-stopowym kontenerze. Taka modułowa konstrukcja pozwala na elastyczny dobór zasobnika dla konkretnej lokalizacji.

Hitachi opracowała również symulator, który można przewidzieć czas pracy baterii. Zastosowane środki bezpieczeństwa obejmują również mechanizmy odłączenia zasobnika w razie sytuacji awaryjnej oraz automatyczny system gaśniczy. Rozwiązanie firmy Hitachi pozwala na stabilizację systemów zasilania poprzez szybkie, w ciągu kilku sekund, dostosowanie wejścia i wyjścia w odpowiedzi na sygnały zmian częstotliwości i napięcia, występujące w krótkich okresach.



Fot. 16. Kontenerowy magazyn firmy Hitachi [23]

WDROŻENIA W POLSCE

Polska energetyka oparta w ponad 80% na węglu, z premedytacją opóźniająca dynamiczny rozwój odnawialnych źródeł energii rozpoczyna nieśmiało pierwsze instalacje magazynów energii w krajowej sieci elektroenergetycznej [24].

Energa-Operator w rejonie Pucka buduje lokalny obszar bilansowania, wykorzystujący system magazynowania energii. System ma dostarczyć konsorcjum, w którym liderem jest spółka Qumak [25]. Głównym zadaniem magazynu energii elektrycznej jest gromadzenie energii i wykorzystywanie jej do bilansowania systemu energetycznego oraz poprawy jakości energii elektrycznej. Magazyn energii jest jednym z kluczowych elementów budowy nowoczesnych, inteligentnych sieci Smart Grid. Magazyn ten, w połączeniu z planowaną farmą fotowoltaiczną o mocy 84 kW i istniejącymi źródłami wiatrowymi, biogazownią i odbiorcami utworzy lokalny obszar bilansowania (LOB), na którym będzie testowane świadczenie usług systemowych i regulacyjnych [26].



Fot. 17. Kontenerowy magazyn zainstalowany w Energa-Operator [24, 25]

Z kolei firma Innogy (dawniej RWE) realizuje magazyn energii w stacji SN/nN [27]. System dostarczy na zasadach komercyjnych polska firma Impact Clean Power Technology S.A. [10].

Będzie on służył jako dynamiczna i bezpieczna odpowiedź na zmienne zapotrzebowanie nie tylko odbiorców energii elektrycznej, ale również prosumentów. Odbiorca zlokalizowany blisko prosumenckiego źródła energii oczekuje stabilnego napięcia, a prosument oczekuje pewności odbioru energii, a tę mogą zapewnić m.in. magazyny energii zlokalizowane w takim właśnie węźle



Fot. 18. Przykładowy magazyn dla energetyki zawodowej firmy ICPT S.A. [10]

sieci. Uruchomienie układu magazynowania energii w stacji SN/nN w Warszawie jest projektem badawczo-rozwojowym, który ma dać odpowiedź m.in. na pytania dot. Możliwości poprawy pewności zasilania dla klientów, realizacji nowych usług systemowych i techniczno-ekonomicznych uwarunkowań implementacji takich instalacji na szeroką skalę. Pilotażowa instalacja zostanie poddana szeregom testów, w tym próbie wydzielenia wyspy (odłączenie stacji SN/nN od sieci zasilającej SN i podtrzymaniu kluczowych Klientów zasilanych z tej stacji) oraz sprawdzeniu współpracy układu: magazyn – sieć elektroenergetyczna.

PODSUMOWANIE

Stale rozwijające się systemy elektroenergetyczne, przede wszystkim generacji rozproszonej i nowe usług systemowych będą stymulowały rozwój technologii magazynowania energii.

Pomimo wykorzystywania różnych technologii chemicznych źródeł prądu, zbudowane na ich bazie zasobniki energii posiadają wiele cech wspólnych takich jak: skalowalność, mobilność dzięki budowie kontenerowej, zdolność do realizacji wielu usług sieciowych związanych z jakością energii i ograniczaniem jej odbioru wraz z optymalizacją użycia odnawialnych źródeł energii.

Dostępne na rynku rozwiązania doskonale wpisują się do aktualnych wyzwań stojących przed nowoczesnym systemem elektroenergetycznym, dając możliwość realizacji wielu unikalnych usług w zakresie bezpieczeństwa, niezawodności i jakości dostaw energii.

W szerokim zakresie czasów magazynowania, dynamiki zmian mocy generowanej i pobieranej oraz wielkości mocy i energii od kilku kilowatów i kilowatogodzin do pojedynczych megawatów i megawatogodzin, baterijny zasobnik energii w technologii litowej jest podstawowym i najprostszym rozwiązaniem. Taki zasobnik staje się ważnym elementem systemu, pełniąc rolę nie tylko bufora energii, ale również jest aktywnym elementem stabilizującym w systemie.

LITERATURA

- [1] Hashimoto T., Kurita A., Minami M., Development of grid-stabilization power-storage systems using lithiumion rechargeable batteries. Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 48 No. 3, September, 2011.
- [2] de Hoog J., Fleurbaey K., Nikolian A. et. al., Aging phenomena for Lithium-Ion batteries. European Electric Vehicle Congress Brussels, Belgium, 3rd–5th December 2014.
- [3] www.tesla.com
- [4] Kairies K., Magnor D., Sauer D. U., Technologies and Operating Strategies for PV Battery Storage Systems, 2014, Intersolar Europe, Munich, Germany, 2014
- [5] <http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-energystorage-LR-en.pdf>
- [6] A Comparison of Li-ion vs. Lead-Acid Battery. Delta EMEA, 27.01.2015.
- [7] www.panasonic.com
- [8] www.a123systems.com
- [9] www.toshiba.com
- [10] www.icpt.pl
- [11] www.abb.com
- [12] www.sonnenbatterie.de
- [13] www.oxisenergy.com
- [14] www.solarword.com
- [15] www.byd.com
- [16] www.commener.com
- [17] www.viznenergy.com
- [18] www.alevo.com
- [19] www.imergy.com
- [20] www.electrowaya.com
- [21] www.gildemeister.com
- [22] tesvolt.com
- [23] www.hitachi.com
- [24] www.paiz.gov.pl
- [25] www.equmak.pl
- [26] www.energa-operator.pl
- [27] innogy.pl

Artykuł ukazał się w nr 1/2016 (22) Biuletynu Informacyjnego Oddziału Radomskiego SEP. Przedruk za zgodą redaktora naczelnego Biuletynu.