

Marcin Gańko

Technologie magazynowania energii elektrycznej

Koło Naukowe Energetyków
Instytut Techniki Ciepłej, Politechnika Warszawska
Konferencja: Nowoczesna Energetyka Europy Środkowo-Wschodniej 2015

Opiekun naukowy: prof. dr hab. inż. Henryk Kaproń

Abstrakt

W czasach współczesnych bardzo ważne jest rozwijanie technologii magazynowania energii elektrycznej. Jest ona niezbędna do pełnego rozwinięcia odnawialnych źródeł energii, których mocą nie można sterować, oraz do ustalenia dobowej produkcji energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym. Celem referatu jest przedstawienie problemu i potrzeby efektywnego magazynowania energii elektrycznej, oraz zaprezentowania stosowanych współcześnie technologii takich jak: baterie akumulatorów, kinetyczne zasobniki energii, koła zamachowe, elektrownie szczytowo pompowe, sprężone powietrze, nadprzewodnikowe zasobniki energii (SMES), superkondensatory, oraz paliwo wodorowe.

W dzisiejszych czasach obserwujemy intensywny rozwój odnawialnych źródeł energii. Od początku XXI wieku energetyka wiatrowa rozwija się w tempie 20-30% rocznie, natomiast energetyka słoneczna 40%. Jest to spowodowane rozwojem technologii, za czym idzie wzrost efektywności oraz spadek cen za MWh, które wciąż nie są konkurencyjne dla konwencjonalnych źródeł energii. Produkcja 1 MWh przez elektrownie na węgiel kamienny kosztuje około 280 zł, natomiast pozyskanie energii ze słońca jest prawie 4 razy droższe – ok. 1090zł/MWh, a z turbin wiatrowych na lądzie ok. 460zł/MWh. Również ważnym powodem wzrostu udziału OZE w miksie energetycznym, szczególnie w Europie, ma polityka klimatyczna UE, która zakłada, że do 2030 roku udział energii odnawialnej w całkowitym zużyciu energii elektrycznej w Unii wyniesie co najmniej 27% (obecnie ok. 14%). Z uwagi na fakt, iż zasoby paliw kopalnianych na świecie są ograniczone stopniowy wzrost udziału OZE w produkcji energii jest konieczny. Eksperci szacują, że światowe złoża ropy naftowej przy obecnym wykorzystaniu wyczerpią się za ok. 40 lat, gazu ziemnego za 62, natomiast zasoby węgla kamiennego w Polsce wystarczą na okres od około 50 do 100 lat.

Przeszkodą stojącą na drodze do pełnego rozwoju odnawialnych źródeł energii (takich jak energia wiatrowa oraz energia słoneczna) i zastąpieniu przez nie konwencjonalnych źródeł ciepłych jest brak przewidywalności produkcji energii elektrycznej. Ilość energii uzyskanej zarówno przez farmy wiatrowe, jak i fotowoltaiczne, w dużej mierze jest zależna od pogody, która jest zmienna i trudna do przewidzenia. Zatem operator systemu musi skompensować ubytki mocy wytwarzanej w tych źródłach dostawami z innych źródeł. Dostosowywanie produkcji energii do zapotrzebowania za pomocą konwencjonalnych źródeł energii powoduje, że nie pracują one z nominalną mocą, co implikuje spadek sprawności, a zatem wzrost kosztów. Poważne trudności występują także z dotrzymaniem parametrów jakości energii wytwarzanej w elektrowniach wiatrowych, zwłaszcza pod względem stabilności generowanych napięć i zawartości wyższych harmonicznych.

Nadzieją na rozwiązanie tych problemów jest rozwój oraz szersze wykorzystanie technologii magazynowania energii elektrycznej. Zasobniki te w połączeniu z OZE sprawiają, że energia produkowana przez niestabilne źródła może być pozyskiwana w sposób ciągły poprzez magazynowanie energii elektrycznej podczas, gdy produkcja jest duża, a oddawać do sieci gdy niska. W ten sposób uzyskuje się pewniejsze źródło energii w mniejszym stopniu zależne od nagłych zmian warunków atmosferycznych oraz o stabilniejszych parametrach.

Oprócz dużego znaczenia dla szerszego zastosowania odnawialnych źródeł energii, efektywne magazyny energii elektrycznej rozwiązałyby problem przymusu produkcji energii dostosowanego do obecnego zapotrzebowania, które zmienia się zarówno w ciągu doby, jak i roku. Elektrownie mogłyby ustalić swoją produkcję na stałym poziomie, przez co spadłyby ceny, wzrosła sprawność, a obsługa stała się łatwiejsza. Rozwój technologii magazynowania energii ma duży wpływ nie tylko na przemysł energetyczny, lecz znajduje również wiele zastosowań w takich dziedzinach jak: motoryzacja, elektronika, lotnictwo itp.

Gdy mówimy o magazynowaniu energii elektrycznej, pierwsze co przychodzi na myśl to akumulatory, gdyż są one najbardziej rozpowszechnione w życiu codziennym, jednak wynaleziono wiele innych urządzeń, które spełniają podobną rolę. Można je podzielić na dwie

grupy: technologie magazynowania bezpośredniego – w polu elektrycznym i magnetycznym oraz technologie magazynowania pośredniego wykorzystujące konwersję energii elektrycznej na inny rodzaj energii np.: kinetyczną, chemiczną, potencjalną.

Obecnie jedyną metodą magazynowania energii na ogromną skalę są elektrownie szczytowo-pompowe. Jest to dobrze poznana i rozwinięta technologia. Pierwsze elektrownie tego typu powstały już pod koniec XIX w. Ich nazwa wywodzi się z funkcji jaką pełnią w systemie elektroenergetycznym, a mianowicie są źródłami szczytowymi wykorzystywanymi w celach optymalizacji zarządzania energią w systemach elektroenergetycznych. Podczas, gdy energia elektryczna jest tania, woda przepompowywana jest z dolnego zbiornika do górnego, natomiast w okresie wzmożonego zapotrzebowania odzyskiwana podczas procesu odwrotnego – poprzez przepływ wody do niższego zbiornika przez turbinę, która napędza generator. W takich zasobnikach możliwe jest uzyskanie bardzo dużej ilości energii oraz mocy. Te wartości zależą od wielkości zbiorników oraz różnicy poziomów. Największy obiekt tego typu znajduje się w Virgini w Bath County o mocy 3003MW (po modernizacji). Sprawność elektrowni szczytowo – pompowych waha się w granicach 70 – 85%. Czas ich eksploatacji wynosi od 30 do 50 lat, podczas których ich pojemność energetyczna nie spada. Niestety możliwości ich zastosowania silnie zależą od warunków hydrogeologicznych terenu, a koszty inwestycyjne są bardzo wysokie. Problemy w znalezieniu odpowiedniej lokalizacji na budowę elektrowni wymagają szukania nowych rozwiązań. Jednym z nich jest pomysł lokalizacji dolnego zbiornika pod ziemią w nieczynnych kopalniach. Bazując na raporcie przedstawionym w 2011 r. przez Centrum Badań nad Energią Dolna Saksonia przeprowadzono ekonomiczną analizę rentowności przedsięwzięcia, z którego wynika, że szacowany zwrot z inwestycji może wynieść od 9 do 50% kosztów. Mimo braku uzasadnienia ekonomicznego takiego obiektu temat nie został porzucony - mają powstać pilotażowe projekty, aby lepiej zbadać i ulepszyć technologię.

Alternatywą dla elektrowni szczytowo – pompowych są systemy pneumatycznego magazynowania energii – CAES (Compressed Air Energy Storage), w których czynnikiem roboczym zamiast wody jest powietrze. W technologii CAES zespół sprężarek napędza w porze pozaszczytowej zbiornik (najczęściej znajdujący się pod ziemią – wyeksploatowane kopalnie) powietrzem o wysokim ciśnieniu (do 100 atmosfer). W godzinach szczytu energetycznego zmagazynowane powietrze zostaje wypuszczone ze zbiornika i po drodze podgrzane przez spaliny wylotowe z części niskoprężnej turbiny gazowej. Uzyskany strumień powietrza ulega następnie wymieszaniu z paliwem. Po zapłonie mieszanina przepływa przez część niskoprężną konwencjonalnej turbiny gazowej. Dzięki zastosowaniu tej technologii z obiegu turbiny gazowej można wyeliminować sprężarkę, która zużywa ok. 60% energii mechanicznej produkowanej przez turbinę gazową. W ten sposób cała energia turbiny zostaje przekazana do generatora. Zasobnik pozwala na magazynowanie bardzo dużych ilości energii, a jego sprawność dochodzi do 85%. Podobnie jak w przypadku podziemnych elektrowni szczytowo – pompowych, układy CAES uzależnione są od istnienia odpowiedniego zbiornika podziemnego o odpowiedniej szczelności. Ponadto dodatkowym problemem są zmiany temperatur towarzyszące przemianom rozprężania i sprężania powietrza. Dotychczas technologia CAES została wdrożona w dwóch elektrowniach szczytowych: Huntorf (Niemcy)

– 290 MW, w której zbiornik ma pojemność 310 000 m³ i umożliwia pracę turbiny przez 3 godziny oraz McIntosh Alabama (USA) –110 MW.

Kolejnym sposobem magazynowania energii elektrycznej jest jej akumulacja postacią wodoru. Wodór według przewidywań jest uważany za paliwo przyszłości, które zastąpi obecnie stosowane nieodnawialne źródła konwencjonalne. Jednak aby stało się to możliwe konieczne jest opracowanie wydajnej i taniej metody produkcji wodoru. Dotychczasowe technologie pozyskiwania wodoru opierają się na procesach termiczno-chemicznych, w których wykorzystuje się paliwa kopalniane takie jak: węgiel, ropa naftowa czy gaz ziemny. Są one wyczerpalne, a więc dopóki są głównym źródłem produkcji energii elektrycznej nie można powiedzieć, że wodór jest alternatywnym paliwem. Najbardziej rozpowszechnioną metodą wytwarzania metanu jest reforming parowy metanu. Proces prowadzi się przepuszczając mieszaninę par surowca węglowodorowego i pary wodnej przez złożę katalizatora w odpowiednich warunkach, w wyniku czego powstaje gaz złożony z tlenu węgla i wodoru. Jest to obecnie najpopularniejsza i najtańsza metoda pozyskiwania wodoru. Kolejnym sposobem produkcji wodoru jest proces elektrolizy wody, który zachodzi pod wpływem przyłożonego napięcia do wody. Katoda przyciąga dodatnio naładowane kationy wodoru, natomiast anoda ujemnie naładowane aniony tlenu. Po dotarciu do elektrod jony przekazują im swój ładunek, w wyniku czego stają się obojętnymi elektrycznie cząsteczkami tlenu i wodoru. W przeciwieństwie do reformingu, tą metodą uzyskujemy wodór o czystości ~99,9%, jednak jest ona mniej opłacalna z uwagi na duże zużycie energii elektrycznej w procesie elektrolizy. Mimo, że wodór ma dużą wartość opałową na kilogram – 121 MJ/kg oraz produktami jego spalania jest jedynie woda, to ma małą gęstość, przez co jego wartość opałowa na metr sześcienny jest bardzo mała – 10,8 MJ/m³ oraz jego magazynowanie i transport jest utrudniony.

Najczęściej spotykanym w życiu codziennym magazynem energii jest akumulator. Akumulatory stosuje się do zasilania urządzeń elektronicznych takich jak: telefony komórkowe, aparaty, laptopy itp. oraz jako urządzenie rozruchowe w pojazdach mechanicznych (coraz częściej również jako alternatywny napęd), zasilacze awaryjne budynków, jak i również do magazynowania energii produkowanej przez OZE.

Akumulatory są rodzajem ogniwa galwanicznego – układu składającego się z dwóch elektrod zanurzonych w elektrolicie, w którym różnica potencjałów jest wynikiem reakcji chemicznych zachodzących pomiędzy elektrodami i elektrolitem. Najbardziej rozpowszechnionym akumulatorem jest kwasowo-ołowiowy, który zbudowany jest z elektrody ołowiowej oraz tlenkowo-ołowiowej, a rolę elektrolitu spełnia roztwór kwasu siarkowego. Z uwagi na swoją budowę są one bardzo ciężkie oraz z czasem zmniejsza się ich pojemność z powodu przechodzenia siarczanu ołowiu w stan krystaliczny, w którym staje się on izolatorem elektrycznym. Akumulatory ołowiowe pracują najczęściej przez 3 - 5 lat, a ich sprawność dochodzi do 70%.

Akumulator wanadowy jest akumulatorem przepływowym, którego zasada działania opiera się na zmianie stopnia utlenienia metalu (wanadu), co wiąże się z oddaniem lub pobraniem elektronów. Energia jest magazynowana w dużym stopniu w elektrolicie, dlatego

jego pojemność jest zależna od ilości elektrolitu. Niesie to za sobą również możliwość ładowania go poprzez wymianę elektrolitu na „naładowany”, co daje możliwość stosowania go jako napęd samochodów. Niestety ma on małą gęstość energii, co sprawia, że budowane są jedynie duże jednostki. Akumulatory te osiągają sprawność powyżej 75% i to przy długich cyklach ładowania oraz rozładowywania. Ich żywotność jest wyższa w stosunku do ołowiowych - osiąga okres aż do 15 lat, co czyni je bardziej opłacalnymi.

Duże nadzieje wiąże się z akumulatorami sodowo-siarkowymi (NaS), które charakteryzują się wysoką energią właściwą. W czasie eksploatacji ich temperatura musi być utrzymywana na poziomie 300-400 °C, dzięki czemu elektrody pozostają w ciekłym stanie skupienia, a stały elektrolit (trójtlenek aluminium, w postaci rozdrobionego materiału ceramicznego) ma odpowiednie właściwości przewodzące. Utrzymanie odpowiedniej temperatury jest ważne, gdyż ochłodzenie do temperatury otoczenia podczas braku eksploatacji po czym ponowne podgrzanie do pożądaney temperatury powoduje obniżenie żywotności. Akumulatory te posiadają wysoką sprawność, są niezależne od temperatury otoczenia oraz nie dochodzi w nich do samowyładowywania.

Akumulatory stosowane w energetyce łączy się w grupy szeregowo-równoległe w celu uzyskania odpowiednich parametrów napięciowo-prądowych. Wraz z przetwornicami energoelektronicznymi tworzą one bateryjne zasobniki energii (BES – Battery Energy Storage) o mocach sięgających dziesiątków megawatów. Wadą akumulatorów jest długi czas ładowania, mała gęstość mocy oraz spadek pojemności z biegiem czasu.

Rozwój nanotechnologii sprawił, że zasobniki związane z magazynowaniem energii w polu elektrycznym zaczynają być konkurencyjne dla akumulatorów. Superkondensator jest rodzajem kondensatora elektrolitycznego, który charakteryzuje się bardzo dużą pojemnością, sięgającą kilku tysięcy faradów. Zasada działania polega na gromadzeniu ładunku na podwójnej warstwie elektrycznej, która powstaje na granicy elektrolitu i elektrody. Dzięki zastosowaniu nanorurek węglowych uzyskuje się ogromne powierzchnie, a co za tym idzie pojemności. W przeciwieństwie do akumulatorów, superkondensatory charakteryzują się bardzo dużą gęstością energii, co oznacza, że można pobierać z nich bardzo duże moce, a zatem rozładowywać i ładować bardzo dużymi prądami. Kolejnymi zaletami są: sprawność dochodząca do 95%, długi czas eksploatacji (20 lat) oraz bardzo duża liczba cykli ładowania ok. 1000000. Dodatkowo charakteryzują się małym spadkiem właściwości użytkowych, małą szkodliwością dla środowiska oraz możliwością całkowitego rozładowania nie powodującego spadku żywotności. Wadą ultrakondensatorów jest mała gęstość energii (mniejsza o rząd wielkości od gęstości energii akumulatorów), spadek napięcia podczas rozładowywania co wymaga zastosowania skomplikowanych układów energoelektronicznych oraz bardzo wysoka cena, która jednak może się zmienić z uwagi na dynamiczny rozwój nanotechnologii.

Nadprzewodnikowe zasobniki energii SMES (ang. Superconducting Magnetic Energy Storage) wykorzystują zjawisko nadprzewodnictwa w celu zmagazynowania energii w polu magnetycznym cewki indukcyjnej wytworzonym przez prąd stały. Dzięki znikomej rezystancji możliwe jest stosowanie bardzo dużych prądów (rzędu kA) oraz przenoszenie dużych mocy. Niestety ich wadą jest magazynowanie małych gęstości energii. Zasobniki te

charakteryzują się bardzo wysokimi sprawnościami sięgającymi 95%, a ich czas eksploatacji przewidywany jest do 30 lat. Ze względu na wysokie koszty elementów nadprzewodnikowych oraz koszty chłodzenia (uzyskanie właściwości nadprzewodnikowych wymagają utrzymania bardzo niskich temperatur) zasobniki SMES są rzadko stosowane w praktyce, a technologia ta wymaga wielu ulepszeń.

Ostatnią metodą magazynowania energii elektrycznej są kinetyczne zasobniki energii, w których energia elektryczna jest zamieniana za pomocą silnika elektrycznego w energię kinetyczną koła zamachowego. Ilość energii jaką może gromadzić ten zasobnik jest uzależniona od prędkości obrotowej mas, dlatego ich prędkość dochodzi do 100000 obr/min. W celu zmniejszenia strat stosuje się wirnik kompozytowy, który obraca się w próżni na łożyskach magnetycznych. Odbiór energii elektrycznej przebiega podczas hamowania koła przy pomocy generatorów i przekształtników energetycznych, dlatego posiadają one bardzo duże gęstości mocy, natomiast mniejszą gęstość energii. Zasobniki te posiadają wysoką sprawność przekraczającą 90% oraz długi czas eksploatacji (rzędu 20 lat), lecz szybko tracą energię do 10%/godzinę, dlatego stosuje się je, gdy energia ma być szybko wykorzystana po naładowaniu. Kolejną wadą jest wysoka kosztocłonność tych urządzeń, przez co nie stanowią one konkurencji dla tańszych technologii.

Magazyny energii elektrycznej w obecnych czasach to kluczowa kwestia, która całkowicie odmieni współczesną energetykę. Obecnie wytwórcy energii są uzależnieni od chwilowego zapotrzebowania na energię elektryczną, które jest określone przez operatora na podstawie przewidywań. W przyszłości, gdy zasobniki będą powszechnie stosowane, elektrownie ustalą swoją produkcję, a zainstalowane magazyny energii będą łagodzić krzywą obciążenia dobowego. Przyniesie to ogromnie korzyści zarówno dla odbiorców energii jak i spółek zajmujących się wytwarzaniem oraz dystrybucją energii elektrycznej. Zwiększy się niezawodność dostaw energii. Jednakże największym przełomem będzie uniezależnienie odnawialnych źródeł energii od konwencjonalnych elektrowni, które zastępują ich moc podczas gdy te nie pracują. W obliczu wyczerpujących się zasobów kopalnianych jest to wyjątkowo ważna kwestia. Mimo wielu rodzajów zasobników energii elektrycznej wciąż większość z nich jest zbyt droga lub uwarunkowania techniczne nie pozwalają na dostateczny rozwój, dlatego do powszechnego zastosowania magazynów energii dużych mocy jeszcze długa droga.

LITERATURA:

- [1] Józef Paska, Mariusz Kłos, Paweł Antos, Grzegorz Błajszczak: Koncepcja zasobnika energii elektrycznej o zdolności magazynowania 50 MWh. „Acta Energetica” 2/11 (2012) str. 32–37.
- [2] Karol Bednarek, Leszek Kasprzyk: Zasobniki energii w systemach elektrycznych – część 1. Charakterystyka problemu.
- [3] Karol Bednarek, Leszek Kasprzyk: Zasobniki energii w systemach elektrycznych – część 2. Analizy porównawcze I aplikacje. Academic Journals, Electrical engineering, No 69, Poznan University of Technology, Poznań 2012, str. 209-218
- [4] Ryszard Sikora, Michał Zeńczak: Magazynowanie energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym. www.wnp.pl
- [5] Piotr Olszowiec: Elektrownie, które... zużywają energię. „Energia Gigawat” – nr 11/2010
- [6] Barbara Adamska: Elektrownie szczytowo-pompowe ponad 100-letnia technologia szansą na przyszłość. GLOB Energia 4/2013
- [7] Włodzimierz Kotowski, Eduard Konopka: Energia elektryczna. Nowe technologie magazynowania „Energia Gigawat” – nr 2-3/2013
- [8] Henryk Majchrzak, Grzegorz Tomasik, Mieczysław Kwiatkowski: Wykorzystanie technologii magazynowania energii do integracji energetyki wiatrowej z systemem elektroenergetycznym. www.energetyka.eu, 10/2012.
- [9] <http://ncbj.edu.pl/nezalezna-ocena-kosztow-produkcji-energii-elektrycznej>
- [10] http://energetyka.wnp.pl/ue-uzgodnila-ramy-polityki-klimatycznej-do-2030-roku,236892_1_0_0.html
- [11] http://ep.com.pl/artykuly/10300-Akumulatory_i_nie_tyko.html
- [12] <http://krzysp.w.interiowo.pl/Ogniwa/Wanad/Wanad.htm>
- [13] <http://gramwzielone.pl/trendy/842/magazynowanie-energii-konieczne-do-rozwoju-energii-odnawialnej>
- [14] <http://www.planergia.pl/rozne/item/660-wod%C3%B3r-paliwo-przysz%C5%82o%C5%9Bci>
- [15] <http://www.uw.edu.pl/wodorowe-paliwo-przyszlosci/>
- [16] <http://www.gigawat.net.pl/archiwum/article/articleview/810/1/68/index.html>
- [17] <http://www.ogniwa-paliwowe.info/Article2.php>
- [18] http://www.redinpe.com/attachments/article/124/146-147_Sieci_elektroenergetyczne.pdf
- [19] <http://www.inwestycjawekologie.pl/koniec-ery-paliw-kopalnych-2/>