

**Kazimierz HERLENDER<sup>1</sup>**

Politechnika Wrocławska, Instytut Elektroenergetyki

## **Magazynowanie energii w systemach generacji rozproszonej**

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono przykładową strukturę Lokalnego Systemu Energetycznego (LSE) jako przykład wykorzystania generacji rozproszonej oraz opisano wpływ wykorzystania systemów magazynowania energii elektrycznej w LSE mających na celu zwiększenie optymalnych warunków pracy.

**Słowa kluczowe:** generacja rozproszona, lokalne sieci elektroenergetyczne, magazynowanie energii elektrycznej

### **Wprowadzenie**

Kształt polityki energetycznej Polski, której zasadniczym celem winno być zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego państwa nie może nie uwzględniać działań podejmowanych przez Unię Europejską. Zatem wszelkie akty prawne, polityki energetyczne państwa i wytyczne dotyczące zakresu kreowania polityki energetycznej państwa muszą uwzględniać przepisy unijne.

*Polityka Energetyczna Polski do 2030* [1] w zakresie rozwoju wykorzystania OZE zakłada m.in.

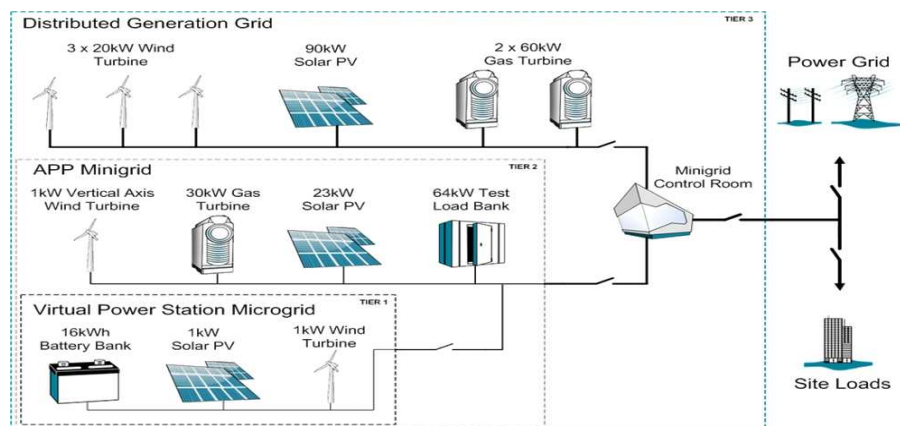
- wzrost udziału OZE w finalnym zużyciu energii co najmniej do 15 % w 2020 roku oraz dalszy wzrost tego wskaźnika w następnych latach,
- osiągnięcie w 2020 roku 10 % udziału biopaliw w rynku paliw transportowych oraz zwiększenie wykorzystania biopaliw II generacji,
- ochronę lasów przed nadmierną eksploatacją w celu pozyskiwania biomasy oraz równoważone wykorzystanie obszarów rolniczych na cele OZE, tak aby nie doprowadzić do konkurencji pomiędzy rolnictwem a energetyką odnawialną,
- zwiększenie stopnia dywersyfikacji źródeł dostaw oraz stworzenie optymalnych warunków do rozwoju energetyki rozproszonej opartej na lokalnych dostępnych surowcach.

Kierunki rozwoju polskiej energetyki w zakresie OZE zawarte w *Polityce Energetycznej Polski do 2030* wpisują się w przyjętą Dyrektywę 2009/28/WE z 23 kwietnia 2009 [2].

### **Generacja rozproszona**

Główne zalety generacji rozproszonej, dotyczące systemów wytwarzających energię elektryczną to: poprawa pewności zasilania, uniknięcie nadmiernej mocy zainstalowanej, zmniejszenie obciążenia szczytowego, zmniejszenie strat sieciowych oraz korzyści związane z siecią: odroczenie kosztów infrastruktury sieci rozdzielczej, poprawa jakości energii, zwiększenie niezawodności. Oczywiście w takich sytuacjach należy brać pod uwagę dodatkowe koszty związane m.in. z wykonaniem przyłącza, układów sterowania, pomiarami energii i jej bilansowaniem.

Jednym z podstawowych obecnie kierunków rozwoju generacji rozproszonej to tworzenie Lokalnych Systemów Energetycznych (LSE) tzw Smart Grid (rys 1).



Rys. 1. Przykład struktury lokalnego systemu elektroenergetycznego [3]

LSE (microgrid) to lokalizacja grup wytwarzania energii elektrycznej, przechowywania energii, oraz obciążeń, które normalnie działają w podłączeniu do tradycyjnego centralnego systemu energetycznego (macrogrid). LSE może funkcjonować autonomicznie.

Generacja i obciążenia w LSE są zwykle połączone do sieci niskich i średnich napięć. Z punktu widzenia operatora sieci, podłączony LSE może być kontrolowany tak, jak gdyby był to jeden podmiot.

Główne cechy tych systemów to zredukowane wymiary jednostek wytwarzania energii elektrycznej, sąsiedztwo generacji i obciążenia i bardzo często wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Badania tych lokalnych systemów zajmują się interakcją i kombinacją generacji mocy oraz zarządzaniem energią.

Jednym z podstawowych elementów LSE powinny być systemy magazynujące energię co w znaczny sposób ułatwi zarządzanie takim systemem. Oczywiście jest, że należy odpowiedzieć na pytania: Jaki sposób magazynowania energii wykorzystać i jak optymalnie go zaprojektować?

### Sposoby magazynowania energii

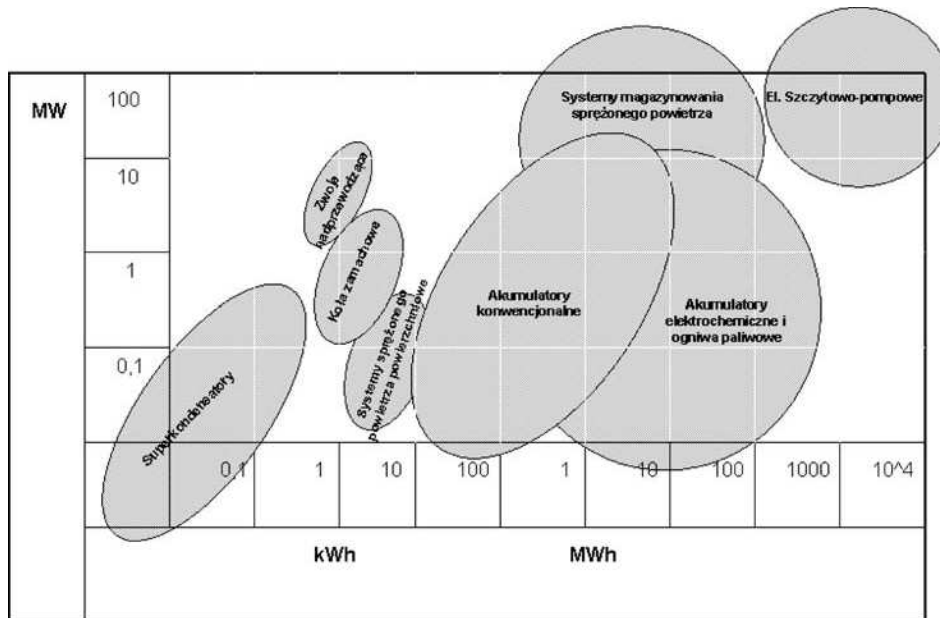
W obecnej chwili istnieje kilka technologii magazynowania energii elektrycznej, niektóre z nich są już dobrze znane, inne zaś są jeszcze w fazie prób i zastosowań laboratoryjnych. Do najważniejszych zaliczyć można [4]:

- elektrownie szczytowo-pompowe,
- bateryjne zasobniki energii typu BES,
- koła zamachowe (zasobniki magazynujące energię kinetyczną),
- nadprzewodnikowe zasobniki energii (SMES),
- kondensatory mocy,
- sprężone powietrze (CASE).

Najważniejszymi parametrami decydującymi o możliwości wykorzystania poszczególnych technologii magazynowania są: nominalna moc technologii, zdolność magazynowania energii, czas rozładowywania w ramach jednego cyklu pracy oraz jednostkowy koszt inwestycyjny. Innymi parametrami decydującymi o możliwości wykorzystania mogą również być: sprawność, gabaryty zewnętrzne, czas życia oraz dostępność.

Na rysunku 2 zaprezentowano rozkład typowych mocy i możliwości magazynowania energii elektrycznej dla wybranych technologii.

**VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012**



Rys. 2. Rozkład typowych mocy i możliwości magazynowania energii elektrycznej przy wykorzystaniu niektórych technologii [5]

W tabeli 1 zestawiono jednostkowe koszty inwestycyjnych i eksploatacyjnych wybranych technologii magazynowania energii [6].

Tabela 1

Porównanie jednostkowych kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych wybranych technologii magazynowania energii

| Lp. | Nazwa technologii   | Jednostkowy koszt inwestycyjny [\$/kW] | Koszt zmienny eksploatacyjny [\$/kWh] | Czas pracy [godz.] |
|-----|---|--|---------------------------------------|--------------------|
| 1.  | Systemy sprężonego powietrza:<br>– duże, podziemne wyrobiska solne (100–300 MW) | 590–730                                | 1–2                                   | 10                 |
|     | – małe, naziemne (10–20 MW)   | 700–800                                | 200–250                               | 4                  |
| 2.  | Elektrownie szczytowo-pompowe (1000 MW)   | 1 500–2 000                            | 100–200                               | 10                 |
| 3.  | Akumulatory (10 MW):<br>– kwasowe, przemysłowe                                  | 420–660                                | 330–480                               | 4                  |
|     | – zaawansowane (docelowo)   | 450–550                                | 350–400                               | 4                  |
|     | – elektrochemiczne (docelowo)   | 425–1 300                              | 280–450                               | 4                  |
| 4.  | Koła zamachowe (docelowo) (100 MW)  | 3 360–3 920                            | 1 340–1 570                           | 0,25               |
| 5.  | Cewki magnetyczne nadprzewodzące (1 MW)   | 200–250                                | 650 000–860 000                       | 1/3 600            |
| 6.  | Superkondensatory (docelowo)  | 250–350                                | 20 000–30 000                         | 1/360              |

## Rozwój odnawialnych źródeł energii

Zgodnie z założeniami Polityki Energetycznej Polski do 2030 roku [1] w tabeli 2 zestawiono moce wytwórcze energii elektrycznej dla różnych technologii do roku 2030.

Tabela 2

Moce wytwórcze energii elektrycznej brutto [MW]

| Paliwo /<br>technologia       | 2006  | 2010  | 2015  | 2020  | 2025  | 2030  |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| W. Brunatny -<br>PC/Fluidalne | 8819  | 9177  | 9024  | 8184  | 10344 | 10884 |
| W. Kamienny<br>- PC/Fluidalne | 15878 | 15796 | 15673 | 15012 | 11360 | 10703 |
| W. Kamienny<br>– CHP          | 4845  | 4950  | 5394  | 5658  | 5835  | 5807  |
| Gaz ziemny –<br>CHP           | 704   | 710   | 810   | 873   | 964   | 1090  |
| Gaz ziemny –<br>GTCC          | 0     | 0     | 400   | 600   | 1010  | 2240  |
| Duże wodne                    | 853   | 853   | 853   | 853   | 853   | 853   |
| Wodne<br>pompowe              | 1406  | 1406  | 1406  | 1406  | 1406  | 1406  |
| Jądrowe                       | 0     | 0     | 0     | 1600  | 3200  | 4800  |
| Przemysłowe<br>Węgiel – CHP   | 1516  | 1411  | 1416  | 1447  | 1514  | 1555  |
| Przemysłowe<br>Gaz – CHP      | 51    | 50    | 63    | 79    | 85    | 92    |
| Przemysłowe<br>Inne – CHP     | 671   | 730   | 834   | 882   | 896   | 910   |
| Lokalne Gaz                   | 0     | 0     | 22    | 72    | 167   | 278   |
| Małe wodne                    | 69    | 107   | 192   | 282   | 298   | 298   |
| Wiatrowe                      | 173   | 976   | 3396  | 6089  | 7564  | 7867  |
| Biomasa stała<br>– CHP        | 25    | 40    | 196   | 623   | 958   | 1218  |
| Biogaz CHP                    | 33    | 74    | 328   | 802   | 1293  | 1379  |
| Fotowoltaika                  | 0     | 0     | 0     | 2     | 16    | 32    |
| RAZEM                         | 35043 | 36280 | 40007 | 44464 | 47763 | 51412 |

Dane zawarte w tabeli 2 pokazują, że planuje się dynamiczny rozwój odnawialnych źródeł energii. Planuje się zwiększenie generacji zarówno w energetyce wodnej, szczególnie w małych elektrowniach wodnych, w elektrowniach biogazowych i biomasowych oraz w elektrowniach wiatrowych i fotowoltaicznych. Z danych bezwzględnych widać, że największy przyrost generacji zaplanowano w energetyce wiatrowej – w 2030 roku ok. 8 GW co przy założonej całkowitej generacji w tym czasie w kraju (ok. 51,5 GW) stanowi 15%.

Przewiduje się również zdecydowany rozwój takich sektorów jak: biogazownie, czy ko generacyjne układy na biomasę, ale ich udział w generacji całkowitej w kraju będzie zdecydowanie mniejszy. Dużą zaletą tych układów jest przewidywalność i sterowność

## **VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012**

produkcją energii elektrycznej czego nie można powiedzieć o elektrowniach wiatrowych i fotowoltaicznych. Mając na uwadze niestabilny charakter tego typu źródeł należy szukać rozwiązań, które umożliwią racjonalne wykorzystanie wytworzonej w ten sposób energii elektrycznej w tym czasie kiedy nie ma na nią zapotrzebowania w systemie elektroenergetycznym.

Magazynowanie energii wytworzonej w elektrowniach fotowoltaicznych wydaje się być zagadnieniem prostszym ze względu na większą przewidywalność produkcji i zużycia energii elektrycznej oraz z faktu, że instalacje tego typu są zdecydowanie mniejsze niż elektrownie (farmy) wiatrowe.

### **Sposoby magazynowanie energii elektrowni wiatrowych**

Biorąc pod uwagę możliwość magazynowania energii odniesioną do jednostki mocy, w przypadku współpracy ze elektrowniami wiatrowymi technologie można podzielić na umożliwiające kompensację ich pracy w okresach krótko- i długoterminowych. Dla pojedynczych turbin wiatrowych w okresie krótkoterminowym potrzeby magazynowania wynoszą w granicach 5–10 kWh/MW mocy zainstalowanej. Do tych celów mogą być stosowane takie technologie, jak: baterie akumulatorów konwencjonalnych, koła zamachowe lub zwoje magnetyczne nadprzewodzące (przyszła technologia). Do zastosowań okresowych, gdzie potrzeby w zakresie magazynowania wynoszą kilka MWh/MW, mogą być również wykorzystane akumulatory elektrochemiczne (przyszła technologia) lub ogniwa paliwowe.

W przypadku farm wiatrowych o całkowitej mocy zainstalowanych turbin wiatrowych od kilkudziesięciu do kilkuset MW potrzeby w zakresie magazynowania energii są znacznie większe. Przy kompensacji krótkoterminowej potrzeby w zakresie magazynowania mogą rozpoczynać się od kilku MWh, natomiast okresowo mogą dotyczyć od kilkuset do kilku tysięcy MWh. Największe zdolności magazynowania spośród opisywanych technologii mają elektrownie szczytowo-pompowe lub instalacje magazynowania sprężonego powietrza.

Coraz częściej mówi się również o takich rozwiązaniach jak:

- wykorzystanie elektrowni biogazowych jako elektrowni rezerwowych dla elektrowni wiatrowych - musiałyby mieć powiększone zbiorniki i większe agregaty w stosunku do standardowych.
- ładowanie akumulatorów samochodów elektrycznych w okresach wietrznych.
- produkcja sprężonego powietrza dla potrzeb zakładów przemysłowych i oczyszczalni ścieków.
- wykorzystywanie energii pochodzącej z elektrowni wiatrowych w energochłonnych procesach przemysłowych, np. galwanizowanie, plazmogazyfikacja

Obecnie jednak elektrownie szczytowo-pompowe są najlepszym i najtańszym sposobem gromadzenia energii produkowanej przez elektrownie wiatrowe. Stanowią obecnie podstawę bilansowania mocy energii wiatrowej w wielu krajach (np. w Danii). Jednym z podstawowych ograniczeń są warunki geograficzne uniemożliwiające budowanie takich elektrowni w dowolnych miejscach.

Instalacje magazynowania energii w postaci sprężonego powietrza są już wykorzystywane do współpracy z systemem elektroenergetycznym. Dwie największe istniejące instalacje tego typu wykorzystujące zbiorniki podziemne do magazynowania sprężonego powietrza są zlokalizowane w Huntorf (Niemcy) o mocy 300 MW oraz w stanie Alabama (USA) w postaci tzw. projektu Mc Intosh o mocy 110 MW. Instalacja niemiecka pełni funkcje rezerwowego źródła zasilania dla zlokalizowanych w regionie elektrowni jądrowych, natomiast instalacja amerykańska jest typowym źródłem mocy

szczytowej dla lokalnego przedsiębiorstwa elektroenergetycznego (*Alabama Electric Cooperative –AEC*).

Najistotniejszym problemem dla całego układu „farma wiatrowa – instalacja magazynowania” jest jego odpowiednie zoptymalizowanie pod kątem potrzeb systemu elektroenergetycznego. Dotyczy to właściwego doboru wielkości zbiornika podziemnego, mocy elektrycznej dostarczanej przez farmę wiatrową, mocy sprężarek i mocy turbin gazowych. W zależności od przyjętych założeń, układ współpracy farmy wiatrowej z instalacją magazynującą może dokonywać opróżniania zbiornika podziemnego w cyklu dobowym lub np. w cyklu tygodniowym.

Przy odpowiednio dobranej mocy urządzeń naziemnych w stosunku do pojemności zbiornika istnieje możliwość tylko częściowego jego opróżniania w dni robocze i częściowego zwrotnego doładowywania. Zapobieganie całkowitemu opróżnianiu zbiornika podziemnego daje takiej instalacji również zdolność do pracy interwencyjnej w przypadku pojawiania się nieprzewidzianych zagrożeń w integralności systemu elektroenergetycznego. Pod tym względem podstawowa zasada pracy instalacji nie różni się od pracy elektrowni szczytowo-pompowej. Jej wspomnianą już wcześniej zaletą są natomiast niższe koszty, zarówno inwestycyjne, jak i eksploatacyjne.

Ograniczeniem w budowie instalacji magazynowania energii w postaci sprężonego powietrza jest konieczność powiązania lokalizacji farm wiatrowych i podziemnych warstw geologicznych nadających się na zbiorniki sprężonego powietrza. Bierze się tutaj pod uwagę podziemne wyrobisko po zakończeniu wydobywania soli lub węglowodorów (ropy naftowej lub gazu ziemnego), a także skalne struktury porowate (np. piaskowce). Również tzw. typoszeregi turbin gazowych i sprężarek oferowane przez producentów tego sprzętu nie zawsze dokładnie odpowiadają potrzebom instalacji wynikającym z obliczeń projektowych.

## **Podsumowanie**

Wzrost cen energii elektrycznej będzie wymuszał poszukiwanie coraz to lepszych sposobów wykorzystania każdej wyprodukowanej kilowatogodziny energii elektrycznej zarówno w elektrowniach konwencjonalnych jak i w układach z odnawialnymi źródłami energii, które są integralną częścią powstających lokalnych systemów energetycznych.

Jedym z takich sposobów jest magazynowanie energii w sytuacjach kiedy system elektroenergetyczny jej nie potrzebuje. Wśród technologii wykorzystywanych do magazynowania energii na większą skalę, na wyróżnienie zasługuje technologia magazynowania sprężonego powietrza. Zarówno przykłady realizacji praktycznych instalacji wykorzystujących technologię CAES jak i prowadzone badania wykazują, że jest to rozwiązanie, które może być wykorzystane w realiach polskich.

## **Bibliografia**

1. *Ministerstwo Gospodarki, Polityka Energetyczna Polski do 2030*, URM 202/2009
2. Dyrektywę 2009/28/WE z 23 kwietnia 2009
3. *Platt G.*, „Local Energy Systems, An Intelligent Demand Side”
4. *Herlender K.*, Sposoby magazynowania energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym. Klient, Dystrybucja, Przesył. 2004 nr 5
5. *Lund P.D., Paatero J.V.*, Energy Storage Options for Improving Wind Power Quality. Nordic Wind Power Conference, 22–23 May, Espoo, Finland, 2006
6. *Schainker R.B.*, EPRI Advanced Compressed Air Energy Storage (CAES) Demonstration Project. Electric Power Research Institute (EPRI). Palo Alto. March 31, 2009

**Autor:** dr inż. *Kazimierz Herlender*; Instytut Elektroenergetyki Politechniki Wrocławskiej, wyb. St. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, e-mail: [kazimierz.herlender@pwr.wroc.pl](mailto:kazimierz.herlender@pwr.wroc.pl)