

Magazynowanie energii elektrycznej przy użyciu sprężonego powietrza. Pod ciśnieniem

Autor: dr inż. Mariusz Filipowicz

(Nafta & Gaz Biznes – czerwiec 2004)

Temat magazynowania energii nabiera ostatnio coraz większego znaczenia w związku z powszechniejszym stosowaniem odnawialnych źródeł energii, które pracują z bardzo zmienną wydajnością (zwłaszcza energetyka wiatrowa). Jedno z większych wyzwań stojących przed sektorem energii elektrycznej to jak wykorzystać ogromne zasoby odnawialnych źródeł energii i dostarczyć energię użytkownikowi wtedy, kiedy jej potrzebuje.

Technologie ostatnich lat pozwoliły na zrealizowanie bezpośredniego magazynowania energii elektrycznej w postaci energii pola magnetycznego (nadprzewodzące cewki) czy elektrycznego (superkondensatory). Jednak w tym momencie, pomimo olbrzymiego rozwoju wspomnianych technologii, wielkości energii magazynowane w ten sposób są raczej niewielkie. Zmagazynowanie większej ilości energii elektrycznej wymaga konwersji energii elektrycznej na inną postać energii łatwiejszą do magazynowania, a następnie powtórnej konwersji na energię elektryczną. Najbardziej znanym i najczęściej stosowanym układem tego typu są elektrownie wodne szczytowo-pompowe. Inną metodą jest użycie sprężonego powietrza zamiast wody (*Compressed Air Energy Storage – CAES*).

Zasada działania systemu CAES

Powietrze, ze względu na możliwość sprężania do wysokich ciśnień, posiada dużą zdolność do magazynowania energii (w przeliczeniu na jednostkę objętości ok. 10 razy większą niż woda). Magazynowanie energii za pomocą sprężonego powietrza (CAES) jest stosunkowo prostą metodą, teoria CAES bazuje na 60-letnich doświadczeniach związanych z podziemnym magazynowaniem gazu. CAES używa energii elektrycznej o niskim koszcie – dostępnej w nocy i w weekendy – do sprężania powietrza w wielkich podziemnych jaskiniach, takich jak opuszczone kopalnie. Powietrze sprężane jest do ciśnienia rzędu 70 atmosfer. Kiedy zapotrzebowanie na energię elektryczną jest wysokie, powietrze jest uwalniane z jaskini i używane do wytwarzania energii elektrycznej za pomocą turbiny spalającej paliwo.

System bazuje na technologii konwencjonalnej turbiny gazowej. Zaletą zgromadzenia sprężonego powietrza jest eliminacja na turbinie stopnia sprężania (kompresora) powietrza wlotowego, kompresor zużywa ok. 60% energii mechanicznej produkowanej przez standardową turbinę gazową. Używając sprężonego powietrza CAES, efektywnie „magazynuje” energię

mechaniczną wału napędowego, która w przeciwnym razie byłaby wymagana na napęd kompresora turbiny i w ten sposób prawie cała energia mechaniczna turbiny jest używana na napęd generatora elektrycznego.

Na rys. 1 przedstawiona jest idea najprostszego układu CAES. Gdy energię magazynujemy, silnik, pobierając energię elektryczną z sieci, napędza kompresory niskiego i wysokiego ciśnienia sprężające powietrze; ogrzane podczas sprężania powietrze, przed przesłaniem do podziemnego zbiornika jest chłodzone. Podczas zwiększonego zapotrzebowania na energię sprężone powietrze jest uwalniane ze zbiornika i kierowane do turbin, gdzie przedostaje się do komory spalania, w której spalany jest gaz ziemny. Spaliny, rozprężając się podczas przejścia przez turbiny wysokiego i niskiego ciśnienia, wykonują pracę. Obydwie turbiny podłączone są do układu silnik/generator pracującego teraz w trybie generacji. O kierunku przepływu powietrza w tym systemie decyduje układ zaworów.

Podczas sprężania konieczne jest ochładzanie powietrza, gdyż temperatura sprężanego do wysokiego ciśnienia powietrza dochodzi do 1000°K, co może być niebezpieczne dla zbiornika. W przeciwieństwie do innych systemów magazynowania energii CAES nie jest czystym systemem magazynowania energii, ponieważ wymaga paliwa do turbiny gazowej. W tym sensie CAES może być traktowany jako hybrydowy system wytwarzania/magazynowania energii. Czas potrzebny na uruchomienie magazynu energii i rozpoczęcie generacji wynosi kilkanaście minut.

Możliwe są dodatkowe modyfikacje tego prostego systemu CAES polegające m.in. na:

- recyklingu ciepła odpadowego z chłodzenia powietrza kierowanego do zbiornika i użycie go do podgrzania powietrza wychodzącego ze zbiornika,
- dodaniu modułu nawilżania powietrza, nawilżacz służy do nawilżenia i wstępnego podgrzania zimnego powietrza napędowego pochodzącego ze zbiornika, przez wodę podgrzaną spalinami wylotowymi z turbiny, zaletą jest efektywniejsze wykorzystanie ciepła kompresji,
- pracy bez wysokociśnieniowych komór spalania, zaletą jest uproszczona obsługa jednostki turbiny i poprawa niezawodności elektrowni,
- chemicznej rekuperacji ciepła polegającej na wykorzystaniu gazów odlotowych do konwersji mieszaniny metanu i pary wodnej do paliwa bogatego w wodór, zaletą jest efektywniejsze wykorzystanie ciepła gazów odlotowych.

Projektowane są także małe systemy CAES, m.in. do zastosowania dla celów generacji rozproszonej.

Istniejące instalacje

Obecnie istnieją dwie działające instalacje typu CAES, a trzecia jest w budowie, poniżej i w tabeli przedstawione są ich podstawowe dane:

- pierwszą komercyjną instalacją CAES była jednostka w Huntorf, Niemcy, wykorzystano dwie jaskinie – pozostałość po kopalni soli, powietrze jest sprężane do ciśnienia 70 atmosfer.

Czas startu jednostki wynosi 11 minut (6 minut w sytuacjach awaryjnych),

- druga jednostka to instalacja w stanie Alabama, USA. Budowa zajęła 30 miesięcy i kosztowała 65 mln USD (ok. 600 USD/kW). Zbiorniki to także pozostałości po kopalni soli. Czas startu jednostki to 14 minut (8 minut w sytuacjach awaryjnych),
- trzecia, największa instalacja budowana jest w Norton, stan Ohio (USA), składać się będzie z dziewięciu jednostek (turbin). Zbiorniki są tworzone w opuszczonej kopalni wapienia na głębokości 700 m.

O budowie trzeciej instalacji zdecydował sukces instalacji w Alabamie. Zaczęto poszukiwać następnej korzystnej lokalizacji. Wybór padł na opuszczoną kopalnię wapienia. O skali budowanej elektrowni może świadczyć fakt, że zmagazynowana energia będzie mogła zasilić 675 tys. gospodarstw domowych przez dwa dni.

Elektrownia będzie budowana modułowo przez pięć lat, każda z dziewięciu turbin będzie oddawała do sieci 300 MW, do przewidywanej daty zakończenia (rok 2006) inwestycja pochłonie ponad miliard dolarów.

Efektywność energetyczna

Można powiedzieć, że instalacja typu CAES ma dwa cele:

- praca jako elektrownia szczytowo--pompowa,
- gromadzenie energii.

Pobiera dwa rodzaje energii – energię elektryczną w fazie sprężania powietrza i paliwo w fazie generacji, są to energie o różnej jakości, zatem ocena efektywności instalacji tego typu różni się od oceny efektywności dla zwykłych systemów magazynujących (zdefiniowanej jako ilość energii wprowadzonej do magazynu do ilości energii uzyskanej po rozładowaniu magazynu).

Dla nowoczesnych systemów CAES, używających zaprojektowanych specjalnie w tym celu kompresorów, generatorów oraz udoskonalonych systemów chłodzenia i odzysku ciepła obowiązuje przybliżona relacja: 1 kWh wygenerowanej energii elektrycznej wymaga ok. 0,75 kWh energii zużytej na kompresję powietrza i 4,2 MJ energii zawartej w paliwie.

Zatem efektem zastosowania CAES jest używanie turbiny, która wymaga ok. 4,2 MJ/kWh w porównaniu do ok. 9,5 MJ/kWh jak w konwencjonalnej turbinie. Oczywiście należy tu jeszcze uwzględnić energię potrzebną na sprężenie powietrza. Opłacalność ekonomiczna takiej instalacji będzie zależeć od relacji cen energii elektrycznej w szczycie i poza szczytem oraz ceny paliwa (gazu ziemnego).

Podziemne zbiorniki

Największym problemem w budowie tego typu instalacji jest wybór odpowiednich zbiorników. Można wykorzystać zarówno naturalne zbiorniki, jak i wytworzyć je w sposób sztuczny.

W przypadku sztucznego tworzenia zbiornika poprzez rozpuszczenie soli proces ten zajmuje ok.

1,5 do 2 lat.

Najlepszym medium do gromadzenia sprężonego powietrza są opuszczone kopalnie, np. kopalnie soli (rys. 3 a). Także odpowiednie są jaskinie w twardych skałach.

Ponadto rozpatrywane są inne typy zbiorników przydatne do magazynowania sprężonego powietrza (rys. 3 b, c):

- skały z powierzchniowym zbiornikiem kompensującym, zapewnia to możliwość gromadzenia powietrza pod stałym ciśnieniem, równym ciśnieniu hydrostatycznemu słupa wody odpowiadającemu różnicy wysokości zbiornik powierzchniowy-jaskinia,
- warstwa wodonośna, kształt warstwy wodonośnej powinien być taki jak na rysunku (3c), wtedy pomiędzy dwiema nieprzepuszczalnymi warstwami może zostać uwięziona pewna ilość powietrza, w wyniku tłoczenia powietrza z zewnątrz obniża się poziom wody w warstwie wodonośnej.

Należy wspomnieć, że we wszystkich możliwych przypadkach gromadzenia powietrza wybór lokalizacji i przygotowania odpowiedniego miejsca to sprawa bardzo delikatna. Pomimo że ogólna budowa geologiczna danego obszaru będzie znana, jednak szczegółowe parametry rozważanych zbiorników nie będą dokładnie poznane, zanim instalacja „ruszy”. Może się zdarzyć, że zbiorniki w kopalniach soli będą miały mniejszą zdolność „trzymania ciśnienia” niż się oczekiwało na podstawie badań testowych. Stabilność naturalnych jaskiń czy jaskiń wytworzonych sztucznie jest także niepewna.

W przypadku warstwy wodonośnej testy przepuszczalności mogą być przeprowadzone w ograniczonej liczbie miejsc, więc także i tutaj niespodzianki są możliwe. Na stabilność zbiorników w trakcie eksploatacji mają wpływ zmienne ciśnienie i zmienna temperatura. Najlepiej, aby temperatura gromadzonego powietrza była stała – stąd wspomniana potrzeba stosowania układów chłodzenia. Także pożądana byłaby stałość ciśnienia – stąd zainteresowanie układami z rys. 3 b, c. Tego typu systemy przypominają już wodne elektrownie szczytowo-pompowe, z tym że zamiast pompować wodę, pompujemy powietrze.

Perspektywy

Systemy gromadzenia energii wielkiej skali dostarczają istotnych korzyści dla systemów elektroenergetycznych, m.in. dostarczanie mocy podczas szczytu zapotrzebowania czy poprawę stabilności sieci. Natomiast znacznie większą rolę niż obecnie systemy te mają do odegrania w przypadku zwiększania mocy zainstalowanej w odnawialnych źródłach energii elektrycznej (ze względu na ich okresowość i nieprzewidywalność produkcji). Zwłaszcza coraz bardziej rosnąca moc elektrowni wiatrowych może być czynnikiem decydującym o ich rozwoju. W chwili obecnej systemy CAES są pierwszym kandydatem na tego typu układy w Stanach. Instalacje w Niemczech i Stanach pokazały techniczne i ekonomiczne możliwości ich zastosowania. Planowane są instalacje w innych krajach.

Testowe badania prowadzone są m.in. w Japonii, nie ma tam jednak kopalni soli, dlatego badane są alternatywne możliwości, m.in. warstwy wodonośne. Instalacja testowa jest projektowana i badana na wyspie Kiusiu.

Oprócz opisanych, dużych systemów do gromadzenia dużych ilości energii, systemy CAES mogą być użyte do magazynowania energii na znacznie mniejszą skalę (np. jako magazyny dla pojedynczych odnawialnych źródeł energii pracujących w ramach rozproszonej generacji), wtedy rolę podziemnego zbiornika powietrza może przejąć np. stalowy, wysokociśnieniowy zbiornik naziemny.

Autor jest pracownikiem naukowym w Katedrze Wykorzystania Paliw, Wydział Paliw i Energii AGH w Krakowie.