

Elektrownie, które... zużywają energię

Autor: Piotr Olszowiec

(„Energia Gigawat” – nr 11/2010)

Elektrownie szczytowo-pompowe stanowią szczególny rodzaj wodnych źródeł energii. Przeznaczone są do gromadzenia pobranej energii elektrycznej, a następnie oddawania jej do sieci. W porze niskiego zapotrzebowania na moc, nadmiar energii elektrycznej w systemie zostaje wykorzystany do pompowania wody do górnego zbiornika. W strefie zwiększonego popytu woda zostaje wypuszczona z górnego do dolnego zbiornika i przepływając przez turbinę, generuje moc elektryczną. Odwracalne turbozespoły działają więc raz jako silnik-pompa, następnie zaś jako turbina-generator. Większość tych siłowni wykorzystuje dwa naturalne lub sztuczne zbiorniki wodne, rzadziej podziemne jaskinie. Niektóre elektrownie pompowo-szczytowe realizują cykl kombinowany, gdyż posiadają dodatkowo możliwości generacji również przy przepływie wody przez zaporę.

Uwzględniając ubytek odparowanej wody i straty w turbozespołe, przy wytwarzaniu elektryczności odzyskuje się jedynie 70 do 85% pobranej energii na przetłoczenie wody do górnego zbiornika. Stosunkowo niska gęstość energii zawartej w roboczym medium wymaga użycia dużego zbiornika lub dużej różnicy poziomów obu zbiorników. Dla ilustracji: 1 tona wody podniesiona na wysokość 100 m może wytworzyć 0,272 kWh – ta ilość energii elektrycznej wystarczy z kolei do zaświecenia żarówek o łącznej mocy 272 W przez godzinę.

Główny cel i zaleta tych elektrowni polega na wyrównywaniu bilansu mocy w systemie elektroenergetycznym. Poprawia to ekonomikę wytwarzania energii, gdyż umożliwia pracę największych źródeł podstawowych jak elektrownie ciepłe i atomowe ze stałym, optymalnym obciążeniem, zapewniającym najwyższą sprawność. Eliminuje to zarazem konieczność użycia dodatkowych źródeł włączanych krótkotrwale dla pokrycia zapotrzebowania szczytowego. Siłownie te spełniają także ważne zadanie regulacji częstotliwości z uwagi na szybkość reakcji na nagłe zakłócenia równowagi popytu i generacji. Przy szybkim wzroście udziału elektrowni wiatrowych i słonecznych o bardzo zmiennej generacji, elektrownie pompowo-szczytowe zaczną pełnić funkcję zasobników energii, co znacznie poprawi ekonomikę segmentu OZE. Niestety koszty inwestycyjne elektrowni pompowo-szczytowych są bardzo wysokie.

W 2009 r. łączna moc zainstalowana w elektrowniach pompowo-szczytowych na świecie przekroczyła 127 GW. Przewiduje się, że do 2014 r. wartość ta osiągnie 203 GW. Światowym liderem są Stany Zjednoczone z potencjałem wytwórczym 21,5 GW, co stanowi 2,5% wszystkich mocy zainstalowanych w tym kraju. Warto zwrócić uwagę, że praca tych źródeł przyniosła w ub. roku konsumpcję netto (tj. nadwyżkę poboru nad generacją) 6288 GWh. Ta niemiała w sensie fizycznym strata została oczywiście z nawiązką skompensowana przez wspomniane korzyści dla systemu elektroenergetycznego. W 2007 r. kraje UE dysponowały mocą 38,3 GW z ogólnej mocy 140 GW zainstalowanych w energetyce wodnej.

Nowe technologie

Pierwsze elektrownie pompowo-szczytowe zbudowano już w latach 90. XIX wieku. Przed II wojną światową skonstruowano odwracalne turbiny wodne nadające się do pracy pompowej. W ostatnich latach dostępne stały się energooszczędne przemienniki częstotliwości średniego napięcia do napędu pomp. Dla podniesienia efektywności działania elektrowni pompowo-szczytowych opracowano szereg udoskonaleń stosowanych rozwiązań. Między innymi rozważa się użycie podziemnych zbiorników, w szczególności nieczynnych kopalni soli. Roztwór soli jest gęstszy od wody słodkiej o około 20%., dzięki czemu wzrasta energia mechaniczna cieczy gromadzonej w górnym zbiorniku. Inny pomysł polega na wykorzystaniu turbin wiatrowych lub nawet energii słonecznej do napędu pomp tłoczących. Obiecujące perspektywy rokuje też lokalizacja tych siłowni nad morzem, które służyłoby za dolny zbiornik.

Od dawna na niewielką skalę stosowano zamiast wody jako medium robocze również sprężone powietrze. Potwierdzone w praktyce korzyści przyniosło wdrożenie nowej koncepcji wykorzystania energii sprężonego powietrza. Technologia nazwana skrótowo CAES (Compressed Air Energy Storage – gromadzenie energii w sprężonym powietrzu) jest modyfikacją tradycyjnego cyklu elektrowni pompowo-szczytowych opartych na turbinach gazowych. Technologia ta wykorzystuje tanią, pozaszczytową energię elektryczną do gromadzenia sprężonego powietrza, które następnie służy do napędu turbiny gazowej w porze szczytu. Tradycyjne elementy cykli z turbiną gazową (GT- gas turbine) i układu turbiny gazowo-parowej (CC -combined cycle) zostały w technologii CAES skonfigurowane odmiennie w sposób zapewniający ich lepsze wykorzystanie. Główna różnica między technologiami CAES, a GT i CC dotyczy stopnia sprężania. W układzie CAES sprężarka powietrza i turbina gazowa są całkowicie rozdzielone, natomiast w układach GT i CC urządzenia te zainstalowano na jednym wale. Konwencjonalna turbina gazowa pracuje dzięki spalaniu mieszanki powietrza z paliwem. Następnie mieszanina ta ulega rozprężaniu w rozprężaczu niskociśnieniowym. Sprawność turbiny gazowej zależy od przepływu masy i temperatury spalin wylotowych. Niezbędny przepływ mieszanki zapewnia sprężarka zabudowana na tym samym wale. Moc netto układu GT równa się uzyskanej mocy mechanicznej, pomniejszonej o moc napędową sprężarki. Znaczna ilość ciepła uchodząca do atmosfery ogranicza sprawność układu. W układzie CC spaliny wylotowe przepływają przez odzyskicowy kocioł parowy, który zasila turbinę parową. W tym układzie sprawność wzrasta o wielkość odpowiadającą ciepłu wykorzystanemu w turbinie parowej.

Natomiast w technologii CAES oddzielny zespół sprężarek napełnia w porze pozaszczytowej podziemny zbiornik (np. pieczarę skalną) powietrzem o wysokim ciśnieniu. W godzinach szczytu energetycznego zmagazynowane powietrze sprężone zostaje wypuszczone ze zbiornika i po drodze podgrzane przez spaliny wylotowe z części niskoprężnej turbiny gazowej. Część ciepła zawartego w tym wysokociśnieniowym strumieniu podgrzanego powietrza zostaje odzyskana w rozprężaczu wysokiego ciśnienia. Uzyskany strumień powietrza ulega następnie wymieszaniu z paliwem. Po zapłonie mieszanina przepływa przez część niskoprężną konwencjonalnej turbiny gazowej. Znaczna część ciepła pozostałego w strumieniu wylotowym służy do podgrzania wysokociśnieniowego strumienia powietrza wypływającego ze zbiornika. Moc netto układu CAES jest sumą mocy wytworzonych przez części wysoko- i niskoprężnej turbiny. Energia elektryczna zużywana do napędu sprężarek jest pobierana w porze pozaszczytowej. Istotna oszczędność wynika właśnie z poboru taniej energii elektrycznej do napędu sprężarek, co umożliwia wykorzystanie całej wytworzonej mocy w turbinie gazowej do produkcji energii elektrycznej w porze szczytowego

zapotrzebowania. Następną zaletą układu CAES jest wykorzystanie zaworu regulacyjnego zapewniającego stały wpływ powietrza ze zbiornika. Dzięki temu części wysoko- i niskoprężne turbin uzyskują stałe, optymalne warunki pracy.

Dotychczas technologia CAES została wdrożona w dwóch elektrowniach szczytowych: Huntorf (Niemcy) – 290 MW oraz McIntosh Alabama (USA) – 110 MW. Obecnie trwają prace nad realizacją siłowni Norton Energy Storage (NES) w stanie Ohio (USA) o docelowej mocy 2700 MW. Elektrownia NES będzie wykorzystywać tanią, pozaszczytową (nocną) energię z niedociążonych elektrowni podstawowych do wypełniania sprężonym powietrzem podziemnego zbiornika o pojemności 10 mln m³. W porze dziennej powietrze uchodzące ze zbiornika będzie po zmieszaniu z gazem ziemnym napędzać 9 turbin o mocy jednostkowej 300 MW. Przedsięwzięcie umożliwi zamianę bezużytecznego podziemnego wyrobiska wapienia na wielką dochodową strefę przemysłową.

Huntorf: prekursor technologii CAES

Usytuowana w północnych Niemczech E.N. Kraftwerke Huntorf została uruchomiona w 1978 r. jako pierwsza w świecie elektrownia pompowo-szczytowa w technologii CAES. W obiekcie wykorzystano istniejące dwie pieczary solne o łącznej pojemności 310 000 m³, sięgające głębokości 800 m. Podczas cyklu roboczego ciśnienie gromadzonego powietrza zmienia się od 70 do 43 (wyjątkowo 20) atm, przy czym dopuszczalna szybkość jego zmian wynosi 15 atm/godz. Przy pracy turbiny gazowej z nominalnym przepływem powietrza 417 kg/s uzyskuje się moc netto 290 MW. Sprężarka natomiast pobiera 60 MW przetłaczając 108 kg/s powietrza. Napełnianie pieczar zajmuje do 12 godzin, zaś ich opróżnianie około 3 godz. W elektrowni zastosowano dwa podziemne zbiorniki z kilku powodów, m.in. dla wzajemnej rezerwacji i zapewnienia możliwości pracy po odstawieniu jednego z nich oraz dla wytworzenia minimalnego ciśnienia wymaganego przez sprężarkę po stronie tłoczenia 13 atm. Pieczary te wytrzymują ciśnienie wewnętrzne w bardzo szerokich granicach: od atmosferycznego do 100 atmosfer. Na przestrzeni lat średnioroczna liczba cykli pracy elektrowni wahała się od kilkudziesięciu do ponad 400. Stan pieczar jest ciągle monitorowany za pomocą licznych czujników. Po 20 latach eksploatacji wystąpiła konieczność wymiany zużytych rurociągów powietrza, wykonanych z plastiku wzmocnionego włóknem szklanym. Natomiast turbina gazowa przy zawartości ok. 1 mg soli w kilogramie powietrza nie wykazuje oznak korozji.

Hydroenergetyczny gigant za wschodnią granicą

Mimo iż obecnie na świecie buduje się dziesiątki nowych elektrowni pompowo-szczytowych, to zapewne żadna z tych inwestycji nie napotykała na tak wielkie utrudnienia jak hydroenergetyczny gigant u naszych wschodnich sąsiadów. W 1984 r. na radzieckiej wówczas Ukrainie, w obwodzie czerniowieckim koło Mohylowa Podolskiego przystąpiono do budowy wielkiej elektrowni pompowo-szczytowej Dniestrowska GAES (Gidro-Akumulacjonnaja Elektrostancja). W obiekcie tym zaplanowano siedem odwracalnych turbozespołów o mocy 324 MW każdy (przy pracy generatorowej), co miało go uczynić największą elektrownią tego typu w Europie. W porze zmniejszonego zapotrzebowania na energię elektryczną turboagregaty będą pompować wodę do górnego zbiornika (wybudowanego na brzegu Dniestru), zaś w godzinach szczytu energetycznego woda będzie spływać do dolnego zbiornika (w tym przypadku zbiornika pobliskiej elektrowni wodnej),

obracać turbogeneratory oddające moc do sieci. Niektóre rozwiązania techniczne wdrażane w DGAES należą do unikatowych w świecie. W szczególności wyróżnia się rodzima konstrukcja odwracalnego turboagregatu nr 1 (generatora-silnika), umożliwiająca rozruch silnika bez przemiennika częstotliwości. Znaczenie DGAES dla ukraińskiego systemu elektroenergetycznego trudno przecenić. Podstawowym jego problemem jest bowiem deficyt źródeł przeznaczonych do pokrywania zapotrzebowania w szczycie, sięgający od lat kilku tysięcy megawatów. Wykorzystanie elektrowni pompowo-szczytowej ma okazać się skutecznym rozwiązaniem tej trudności.

Budowę DGAES rozpoczęto w schyłkowym okresie istnienia ZSRR. Od początku inwestycja napotykała na liczne przeszkody, które spiętrzyły się w pierwszym okresie niepodległości Ukrainy tj. w latach 90. XX wieku. Wówczas zabrakło środków nawet dla zabezpieczenia obiektu i kontynuacja przedsięwzięcia – jednego z największych projektów hydroenergetycznych świata – stała pod dużym znakiem zapytania. W 2000 r. rząd usiłował uzyskać kredyt z Banku Światowego, lecz starania te nie powiodły się, gdyż instytucja zażądała przeprowadzenia akcji ofertowej dla wyboru dostawcy turbin. Strona ukraińska nalegała zaś na zakup turbin z charkowskiego „Turboatomu”. Również nieudana okazała się próba przyciągnięcia zagranicznego kapitału w drodze przekazania większościowego pakietu akcji kanadyjskiej firmie ESI Engineering & Construction. Inwestor ten nie wypełnił nałożonych zobowiązań i musiał zwrócić akcje państwu, które oddało je państwowej firmie „Ukrgidroenergo”. Impulsem dla ślimaczącej się inwestycji stało się podniesienie ceny na energię elektryczną wytwarzaną przez wspomnianą firmę – środki uzyskiwane ze wzrostu ceny (1-2 kopiejki za kilowatogodzinę) przeznaczono na dofinansowanie przedsięwzięcia. Chociaż wszystkie ostatnie rządy Ukrainy zaliczały ukończenie budowy DGAES do swoich priorytetów inwestycyjnych, budowa napotykała na niezliczone przeszkody wynikłe m.in. z oporu ekologów, protestów strony mołdawskiej i oczywiście permanentnego braku środków finansowych. W grudniu 2009 r. uruchomiono wreszcie pierwszy hydroagregat tej „historycznej” inwestycji. Jednak do jej ukończenia jest jeszcze bardzo daleko ...

Zestawienie największych czynnych (lub budowanych) elektrowni pompowo-szczytowych na świecie i dla porównania w Polsce.

Nazwa	Kraj	Docelowa moc zainstalowana [MW]
Kannagawa	Japonia	2820
Bath County	USA	2772
Guangdong	Chiny	2400
Huizhou	Chiny	2400
Dniestrowska	Ukraina	2268
Grande Dixence	Szwajcaria	2069
Okutataragi	Japonia	1932
	Polska	
Żarnowiec		716
Porąbka - Żar		500
Solina-Myczkowce		200
Żydowo		156
Czorsztyn – Niedzica - Sromowce		94
Dychów		90