

Nowoczesne systemy energetyczne „słońce – wiatr – woda”

Autorzy: dr inż. Krzysztof Piotrowski, Wydział Chemiczny, Politechnika Śląska, prof. Tomasz Wiltowski, dr Kanchan Mondal, Southern Illinois University Carbondale, USA

(„Czysta Energia” – styczeń 2007)

Racjonalnym i efektywnym sposobem na zwiększenie niezawodności ekologicznego systemu energetycznego pracującego w danych warunkach klimatycznych może być jednoczesne wykorzystanie kilku lokalnie dostępnych źródeł energii odnawialnej. Są to tzw. systemy hybrydowe lub systemy kombinowane.

Każde z energetycznych źródeł odnawialnych ma zarówno swoje wady, jak i zalety, niemniej ich umiejętne, optymalne zintegrowanie pozwala na maksymalne wykorzystanie ich możliwych zalet, a jednocześnie na znaczną minimalizację ewentualnych konsekwencji ich wad. Obserwowane korzyści ekonomiczne z zastosowania zintegrowanych systemów energetyki odnawialnej to przede wszystkim mniejszy koszt eksploatacyjny (przy wciąż stosunkowo wysokich nakładach inwestycyjnych, jako że są to jeszcze w większości urządzenia prototypowe) i bardziej przyjazny ekologicznie wpływ na otaczające środowisko naturalne.

Woda – słońce

Jako praktyczny przykład może być przedstawione połączenie energii promieniowania słonecznego i – bardziej stabilnej – energii wodnej, co zasadniczo zwiększa niezawodność ciągłych dostaw energii elektrycznej¹. Systemy energetyczne „woda – słońce” mogą być szczególnie przydatne i ekonomicznie efektywne w oddalonych od głównych sieci energetycznych, nieuprzemysłowionych rejonach geograficznych charakteryzujących się sezonową zmiennością obu tych źródeł energii (np. Azja, Ameryka Pd, Afryka, Australia), stanowiąc ważne ogniwa w lokalnej infrastrukturze energetyki rozproszonej i dostarczając tanią energię elektryczną. Należy w tym miejscu mocno zaznaczyć wzajemną naprzemienność sezonową co do ich intensywności (np. energia słońca dominuje w czasie suszy przy ograniczonym natężeniu przepływu lokalnych cieków wodnych, hydroenergia przeważa zaś w porze deszczowej, kiedy z kolei nie ma możliwości efektywnego wykorzystania energii słonecznej), a jednocześnie możliwość wystąpienia znacznych wahań krótkookresowych. Woda (np. deszczowa) może być również dodatkowo magazynowana w systemie zbiorników retencyjnych na odpowiednio wyższej wysokości względnej i doprowadzana do łopatek hydroturbiny dopiero w sytuacji, gdy zajdzie taka potrzeba. Taką potrzebą może być awaryjna interwencja w sytuacji doraźnego braku energii słonecznej wskutek np. zachmurzenia, przy jednoczesnym niskim poziomie wody w rzekach, co mogłoby zdecydowanie obniżyć całkowitą wydajność tego typu kombinowanego systemu energetycznego. Zaznaczyć należy, iż ogólnie systemy hybrydowe oparte na czystych źródłach energii są bardziej opłacalne ekonomicznie (m.in. zdecydowanie niższe koszty eksploatacyjne), niemniej wykazują pewne zachowania stochastyczne z uwagi na ściśle uzależnienie od nieprzewidywalnych warunków pogodowych, co znacznie ogranicza pewność szacunkowych obliczeń projektowych. Wobec konieczności uwzględnienia sezonowej zmienności stanu wody w rzekach ekonomiczne obliczenia modelowe dla oszacowania zdolności energetycznej urządzenia oparte są m.in. na najmniej korzystnych warunkach hydrologicznych. Zakłada się zwykle, że mały strumień (ok. 300 m³/h) zdolny jest wytworzyć przeciętnie ok. 1 kWh energii elektrycznej przy średniej wysokości efektywnej spadku wynoszącej 2,5 m (przy 50-procentowej efektywności zastosowanej konstrukcji hydroturbiny o danej charakterystyce mocy). Dla celów modelowo-projektowych stosuje się w tych przypadkach m.in. stochastyczne modele Markowa dotyczące zachmurzenia (które zasadniczo wpływa na „przechwytywanie” energii słonecznej, dostępnej potencjalnie dla danego położenia

geograficznego). Sezonowa zmienność hydrologiczna rzek, szczególnie w klimacie monsunowym (nagłe zmiany natężenia przepływu spowodowane przez intensywne, lecz krótkotrwałe ulewy tropikalne, znaczne wahania co do amplitudy i okresu), powodować może również znaczące wahania mocy generowanej w hydroturbinie. W zależności od zaistniałych warunków pogodowych możliwy jest jej chwilowy, gwałtowny wzrost, a następnie spadek nawet do ułamka maksymalnej mocy nominalnej, zaprojektowanej dla określonych, uśrednionych warunków hydrologicznych.

Woda – wiatr

Innym możliwym połączeniem różnych źródeł energetyki odnawialnej jest zintegrowanie energii wiatru i energii wodnej². Pompy napędzane wiatrem (bezpośrednio za pomocą prostych układów mechanicznych lub też pośrednio – poprzez generowanie energii elektrycznej napędzającej pompę) gromadzić mogą wodę w wyżej położonym zbiorniku dla jej ewentualnego późniejszego wykorzystania w hydroturbinie w okresach niedoboru wiatru („ciszy”). Połączenie tych dwóch źródeł energii odnawialnej prowadzi również do bardziej stabilnych i niezawodnych projektów rozwiązań technicznych, m.in. dla małych, lokalnych sieci energetycznych, np. odizolowanych wysp greckich (Morze Egejskie) lub północnej Portugalii. Celem złożonych obliczeń projektowo-symulacyjnych jest w tym przypadku zapewnienie możliwie maksymalnej efektywności energetycznej i ekonomicznej całego zintegrowanego zespołu energetycznego dla różnych kombinacji dostępnych parametrów procesowych przy narzuconych lokalizacją geograficzną warunkach klimatyczno-hydrogeologicznych.

System hybrydowy typu „woda – wiatr” składa się zazwyczaj z zespołu turbin wiatrowych usytuowanych na niewielkiej przestrzeni, małej hydroelektrowni oraz stacji pomp uzupełnionej infrastrukturą rezerwowych zbiorników wodnych położonych na wyższym poziomie w stosunku do hydroturbiny, gdzie woda jest tłoczona i magazynowana w sytuacji wystąpienia niewykorzystanej nadwyżki energetycznej pochodzącej z zespołu turbin wiatrowych (lub hydroturbin), a przekazywanej silnikowi pompy. Ta zgromadzona w systemie zbiorników woda ma zastosowanie w przypadku braku wiatru, kiedy jej zmagazynowana energia potencjalna zamienia się w energię kinetyczną przekazywaną hydroturbinie. Istnieje również możliwość podłączenia takiego kombinowanego zakładu energetycznego do lokalnej sieci energetycznej i uzupełnienia jej w zakresie ewentualnych niedoborów energetycznych. Analizowana jest też możliwość samodzielnej pracy takich minikompleksów energetycznych, składających się na sieć czystej energetyki rozproszonej.

Zauważyć należy, iż energia wiatru z uwagi na zmienność pogody (szczególnie zależną od lokalnego klimatu) podatna jest na krótkookresowe fluktuacje, mogące powodować wahania energetyczne i być źródłem niestabilności lokalnego systemu energetycznego. Wahania te w pewnym stopniu łagodzi właśnie zintegrowana z nią hydroenergetyka. Z uwagi na wspomnianą krótkookresową zmienność użyta hydroturbina musi być w stanie dopasowywać na bieżąco swe obciążenie energetyczne w zależności od doraźnych, szybko zmieniających się potrzeb sieciowych.

Całkowita moc przedstawionego systemu hybrydowego typu „woda – wiatr” jest sumą mocy dostarczanych przez turbinę wodną i przez zespół turbin wiatrowych. W przypadku braku energii wiatru energetyka wodna powinna teoretycznie dostarczyć całą ilość wymaganej energii elektrycznej i na odwrót, co powoduje, że systemy kombinowane są pewniejsze i bardziej niezawodne energetycznie niż indywidualnie rozpatrywane systemy energetyczne wiatrowe lub wodne. Warto również w tym miejscu zauważyć, że aby zagwarantować niezmienną dostawę energii – nawet w przypadku wystąpienia któregoś z wariantów skrajnie niekorzystnych warunków (tzn. hydroenergia bez nawet częściowego współdziałania energii wiatrowej i na odwrót) – moc nominalna turbiny wodnej lub sumaryczna moc zespołu turbin wiatrowych musi być równa całkowitej mocy projektowej dostarczanej z takiego kombinowanego systemu energetycznego.

Jako przykład można podać Meksyk, gdzie istnieją znaczne zasoby energii wodnej i wiatrowej, których wzajemna integracja może być znaczącym źródłem taniej i ekologicznej energii elektrycznej. Planuje się wybudowanie systemów hybrydowych stacji energetycznych o nominalnych wartościach mocy w zakresie 20-50 MW, m.in. w okolicach Juchitan, Oaxaca lub na zaporze wodnej „Presidente Benito Juarez” w Jalapa del Marques, Oaxaca³. Przykładowy projekt takiego systemu hybrydowego obejmuje dwa bloki energetyczne – hydroturbinę o mocy nominalnej 20 MW oraz zespół turbin wiatrowych o mocy nominalnej 20,4 MW. Ogólnie maksymalnie dostępnych jest więc 40,4 MW, niemniej opisywany system hybrydowy dostarczyć ma planowo 20 MW energii, co zapewniają – awaryjnie, w najbardziej niekorzystnych warunkach, indywidualnie i samowystarczalnie – hydroturbina lub zespół turbin wiatrowych. Współczynnik rocznej wydajności wynosi w tym przypadku 49,5%, a system hybrydowy dostarczyć ma planowo 175,2 GWh energii elektrycznej na rok.

Dla zapewnienia optymalnych warunków pracy i możliwie najlepszych parametrów technicznych planowanego hybrydowego systemu energetycznego jeszcze przed rozpoczęciem planowanej inwestycji należy przeprowadzić dla danej, potencjalnej lokalizacji geograficznej dogłębną analizę symulacyjną lokalnych uwarunkowań hydrogeologicznych powiązanych ściśle z siłą i kierunkiem wiatru.

Spośród parametrów wpływających na wydajność energetyczną przedstawionych tu systemów hybrydowych typu „woda – wiatr”, a tym samym na analizowane wskaźniki ekonomiczne zintegrowanej instalacji energetycznej, najbardziej istotne są:

- lokalne „zasoby” wiatru (co warunkuje odpowiednio dobrana lokalizacja geograficzna – m.in. uwarunkowania klimatyczne, bliskość morza lub gór, przebieg większych prądów powietrznych itp.),
- liczba zastosowanych wiatrowych turbin energetycznych, ich wydajność, typ, konstrukcja, wzajemna lokalizacja na analizowanym obszarze,
- zasoby wodne i ich przydatność energetyczna (uwarunkowana szerszymi względami ekonomicznymi),
- charakterystyka hydrogeologiczna potencjalnie dostępnych, rezerwowych zasobów wodnych i ich sezonowa dostępność,
- wydajność i charakterystyka generatorów hydroturbiny oraz turbiny wiatrowej.

Metoda „pośredniego magazynowania”

Systemy hybrydowe typu „woda – wiatr” stają się również coraz popularniejsze w krajach Afryki oraz Azji ze względu na uniwersalność konstrukcji, wszechstronność zastosowań i łatwość ich potencjalnej adaptacji do zróżnicowanych potrzeb lokalnych. Pojawia się tu interesująca koncepcja prostej, taniej i bezpiecznej metody „pośredniego magazynowania” energii elektrycznej. Najprostszym i najbardziej efektywnym w tych warunkach sposobem jest korzystanie z wiatrowych generatorów prądu, wytwarzających energię elektryczną do napędu pomp tłoczących wodę do zbiorników położonych na wyższym poziomie, skąd jest ona z kolei – w razie potrzeby – spuszczana, a poprzez doprowadzenie jej na łopatki hydroturbiny wytwarzana jest żądana porcja elektryczności. Jest to tym samym prosty, ekologicznie czysty, tani i niezawodny sposób „magazynowania energii elektrycznej”, szczególnie w biedniejszych rejonach Azji i Afryki, gdzie magazynowanie energii w formie np. wodoru mogłoby być niebezpieczne z uwagi na brak odpowiedniej infrastruktury technicznej i koniecznych odpowiednich zabezpieczeń. Przykładowo w

Indiach pracuje już 3000 wiatraków, gdzie do pomp tłoczących kierowane są nadwyżki prądu powstałego podczas przerwy przy nawadnianiu obszarów uprawnych⁴.

Innym przykładem może być wyspa Icaria w Grecji (9000 mieszkańców), posiadająca ze względu na swe dogodne położenie geograficzne stosunkowo duży potencjał wiatru, który powinien być możliwie najlepiej eksploatowany i wykorzystany technicznie. Symulacje przeprowadzone przez Laboratory of Energy Economy Democritus University of Thrace wskazały na ekonomicznie uzasadnioną możliwość zastosowania systemów hybrydowych zlokalizowanych w autonomicznych, rozproszonych stacjach energetycznych, mogących wydatnie wspomagać lokalną energetykę wyspy. Oprócz widocznych korzyści ekologicznych, wynikających z ograniczenia zanieczyszczenia środowiska z uwagi na dotychczasowe wykorzystanie energetyczne ropy naftowej i mazutu, znacznie zredukowane mogą być nakłady eksploatacyjne (obniżone koszty transportu surowców paliwowych do wyspy) oraz przejściowe trudności w zaspokajaniu zapotrzebowania energetycznego w szczycie sezonu. Zaprojektowany system integracji obu źródeł energii (woda – wiatr) może być z kolei włączony w system energetyczny wyspy, co znacznie zwiększa jej autonomię, a tym samym uniezależnienie strategiczne i ekonomiczne. W przedstawionym projekcie zastosowano dwie pompy – hydroturbiny po 2,5 MW mocy każda (dostępne objętościowe natężenie przepływu możliwych do wykorzystania lokalnych cieków wodnych zmienia się w granicach 0,74-4,3 m³/s) i 14-23 turbiny wiatrowe⁵. Górne (rezerwowe) zbiorniki magazynowe napełniają się również podczas ulewnych deszczy, co w pewnym stopniu obniża koszty tłoczenia wody i tym samym zwiększa ekonomiczną atrakcyjność i konkurencyjność tego typu rozwiązania technicznego.

Inne kombinacje systemów hybrydowych

Często występują jeszcze inne, lokalnie uzasadnione kombinacje systemów hybrydowych, wykorzystujące odnawialne źródła czystej energii – np. integracja energii hydro- i geotermalnej. Problemem jest jednak magazynowanie wytworzonej energii – tutaj na coraz szerszą skalę wprowadzany jest wodór jako nośnik tej energii. Tak zwany H₂RES Model (o potencjalnej mocy 1-100 MW) został przetestowany na archipelagu Madera (wyspa Porto Santo). Opiera się on na połączeniu odnawialnych źródeł energii i sposobów magazynowania pozyskanej energii w formie chemicznej (elektrolizer – wodór – ogniwa paliwowe). Połączenie energii wiatru, słońca i wodnej w końcowym efekcie pozwala otrzymać bardziej uniwersalny, wszechstronny i niezawodny system energetyczny. Przedstawiony tu problem jest dość ważny dla Unii Europejskiej z uwagi na uwarunkowaną względami techniczno-ekonomicznymi konieczność rozwoju energetyki rozproszonej na peryferiach zintegrowanych sieci energetycznych pokrywających całą Europę (6% terytorium UE stanowi 500 zaludnionych wysp, na których mieszka ok. 14 mln Europejczyków). Do rozwiązania pozostaje więc istotny problem techniczny związany z niemożliwością połączenia siecią energetyczną znacznie oddalonego od brzegu archipelagu wysp konwencjonalną z kontynentem, co teoretycznie gwarantowałoby bezpieczeństwo ciągłości dostaw energii elektrycznej. Izolacja obszarów wysp powoduje, że w takich specyficznych warunkach przewagę ekonomiczną zyskują nowoczesne, dopiero testowane i usprawniane technologie, oparte na odnawialnych źródłach energii. Infrastruktura i niezawodność nie są w tych przypadkach wyłącznie funkcją wielkości systemu energetycznego, jak ma to miejsce w przypadku systemów energetycznych opartych na paliwach kopalnych, lecz pomysłu na umiejętne zintegrowanie i maksymalne wykorzystanie możliwości oferowanych przez dostępne na wyciągnięcie ręki źródła energii odnawialnej.

Śródtytuły od redakcji

Źródła

1. Ehnberg S.G.J., Bollen M.H.J.: *Reliability of a small power system using solar power and hydro*. „Electric Power Systems Research” 74/2005.
2. Castronuovo E.D., Pecas Lopes J.A.: *Optimal operation and hydro storage sizing of a wind-hydro power plant*. „Electrical Power and Energy Systems” 26/2004.
3. Jaramillo O.A., Borja M.A., Huacuz J.M.: *Using hydropower to complement wind energy: a hybrid system to provide firm power*. „Renewable Energy” 29/2004.
4. Jagadeesh A.: *Indian wind power – wind as a supplementary energy source in India*. „RE Focus” 5/2001.
5. Bakos G.C.: *Feasibility study of a hybrid wind/hydropower – system for low-cost electricity production*. „Applied Energy” 72/2002.