Józef Paska[1)]

Generacja rozproszona z wykorzystaniem hybrydowych układów wytwórczych

Distributed generation with the application of hybrid generation systems

Rozproszone źródła energii, wytwarzanie rozproszone, generacja rozproszona, energetyka rozproszona – to synonimy określające dynamicznie rozwijającą się (od początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku) dziedzinę elektroenergetyki, dobrze wpisującą się w ideę rozwoju zrównoważonego.

Generacja rozproszona rozumiana jako wytwarzanie energii elektrycznej i/lub ciepła w obiektach małej skali, zlokalizowanych w sieciach rozdzielczych lub u odbiorców, często z wykorzystaniem zasobów odnawialnych i w skojarzeniu, nie jest bynajmniej nowym zjawiskiem w funkcjonowaniu systemu elektroenergetycznego. Pierwsze elektrownie z końca XIX wieku były w istocie źródłami niezależnymi i zasilały wydzielone sieci lokalnych odbiorców. Po blisko stuletnim, niepodzielnym panowaniu energetyki scentralizowanej coraz większych mocy, pojawiły się tendencje „powrotu do korzeni", wyrażające się ponownym zainteresowaniem małymi źródłami energii, tj. źródłami rozproszonymi [5-7].

W rozproszonych źródłach energii są (lub mogą być) stosowane [5-7]:

- spalinowe lub parowe silniki tłokowe,
- turbiny i mikroturbiny gazowe,
- silniki Stirlinga,
- ogniwa paliwowe,
- układy skojarzone wykorzystujące turbiny gazowe, silniki tłokowe, silniki Stirlinga i ogniwa paliwowe,
- małe elektrownie wodne (MEW),
- elektrownie wiatrowe,
- elektrownie geotermiczne,
- elektrownie fotowoltaiczne (PV),
- elektrownie heliotermiczne (z centralnym odbiornikiem i zdecentralizowane),
- technologie wykorzystujące biomasę i odpady,
- technologie wykorzystujące: pływy, prądy i falowanie mórz oraz ciepło oceaniczne, zasobniki energii.

Rozwój generacji rozproszonej, ze wszech miar pożądany, napotyka jednak pewne problemy i bariery. Zdaniem autora rozwiązaniem części z nich i szansą na rozwój wytwarzania rozproszonego jest stosowanie hybrydowych układów wytwórczych.

[1)] Prof. dr hab. inż. Józef Paska, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, Zakład Elektrowni i Gospodarki Elektroenergetycznej.

Definicje i rodzaje hybrydowych układów wytwórczych

Wykorzystanie odnawialnych zasobów energii oznacza głównie przetwarzanie energii Słońca, wiatru i przepływającej wody na energię elektryczną [6-7]. Podstawową wadą takich źródeł jest silna zależność ilości wytwarzanej energii od aktualnych wartości nasłonecznienia i prędkości wiatru, w wyniku czego prognozowanie produkcji energii jest bardzo kłopotliwe i obarczone znacznym niekiedy błędem. W celu zwiększenia możliwości wykorzystania tych źródeł energii zaczęto stosować hybrydowe układy (systemy) wytwórcze (HSW), będące kombinacją kilku technologii uzyskiwania energii elektrycznej, np.: paneli fotowoltaicznych i generatora z silnikiem spalinowym. Są to zatem [4-7, 9-12] małe zespoły współpracujących jednostek wytwórczych energii elektrycznej i ciepła, o zróżnicowanych nośnikach energii pierwotnej (odnawialne i nieodnawialne) i/lub zawierające układ(y) do magazynowania energii, przy czym sterowanie i koordynacja ich współpracy odbywa się przy wykorzystaniu zaawansowanych układów energoelektronicznych.

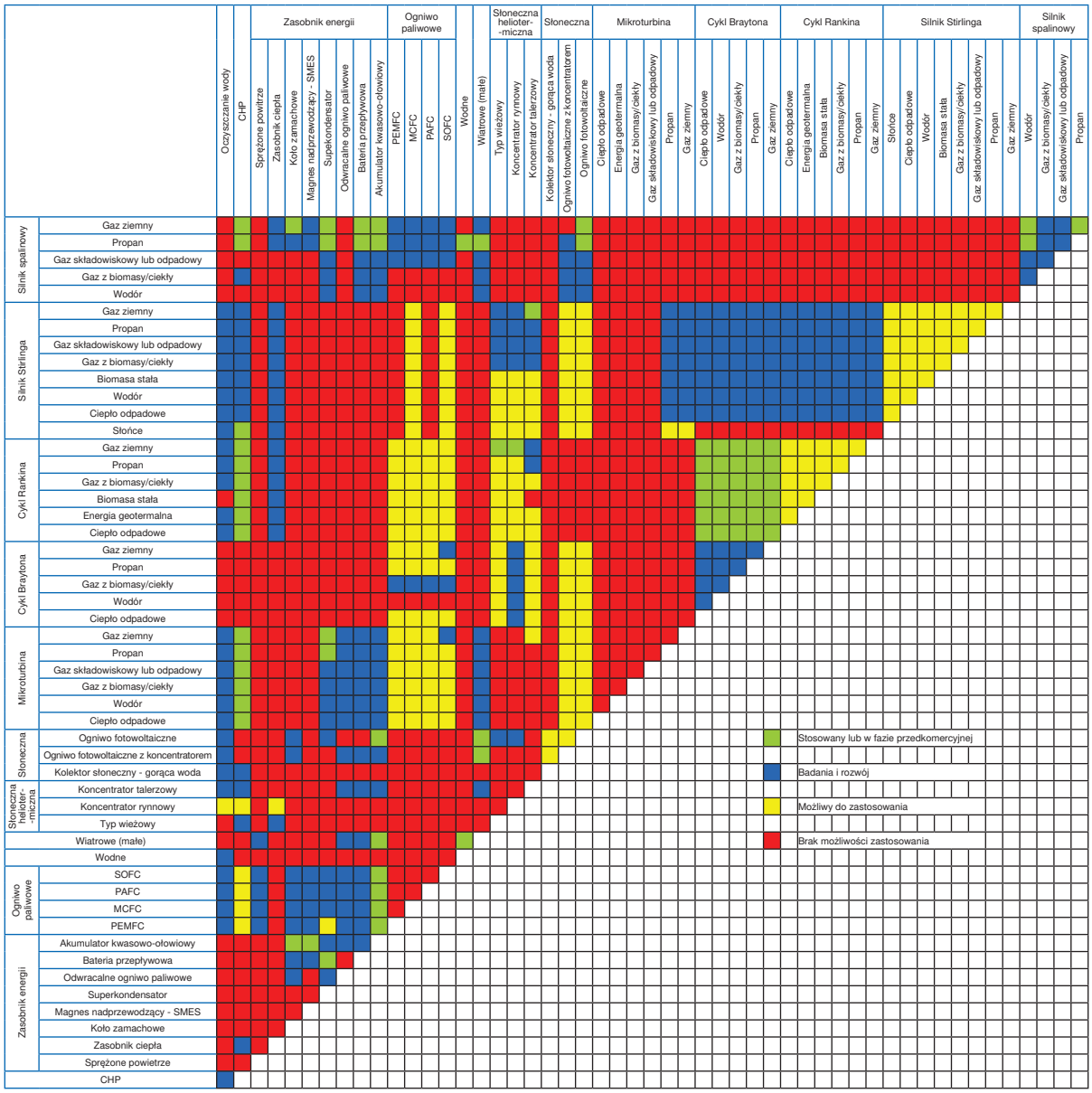
Hybrydowe układy wytwórcze zawierają dwa lub więcej źródeł energii (technologii) po to, by następowało wzajemne kompensowanie zalet i wad tych źródeł. Projektanci i producenci rozpatrują rozmaite możliwości połączenia różnych technologii w celu zwiększenia sprawności oraz uzyskania lepszych parametrów. Hybrydowy układ wytwórczy z dwoma rodzajami zastosowanych technologii jest nazywany „podwójnym" (ang. *bivalent*), a układ z wieloma źródłami – „wielorakim" (ang. *multivalent*).

W tabeli 1 przedstawiono podwójne hybrydowe układy wytwórcze, które są już dostępne komercyjnie, są na etapie projektowania lub są co najmniej godne rozważenia.

Pojęcie układu hybrydowego występuje także w rozporządzeniu polskiego Ministra Gospodarki z dnia 18 października 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii [14]: „układ hybrydowy – jednostka wytwórcza wytwarzająca energię elektryczną albo energię elektryczną i ciepło, w której w procesie wytwarzania energii elektrycznej lub ciepła wykorzystywane są nośniki energii

Tabela 1

Zestawienie podwójnych hybrydowych układów wytwórczych



wytwarzane oddzielnie w odnawialnych źródłach energii, z możliwością wykorzystania paliwa pomocniczego[2)], i w źródłach energii innych niż odnawialne źródło energii, pracujące na wspólny kolektor oraz zużywane wspólnie w tej jednostce wytwórczej do wytworzenia energii elektrycznej lub ciepła".

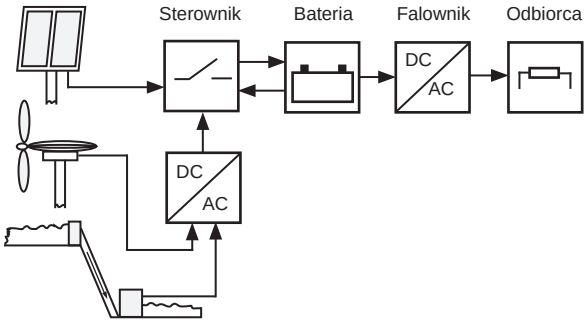
Definicja ta jest niespójna z określeniem odnawialnego źródła energii z ustawy *Prawo energetyczne* [13]: „odnawialne źródło energii – źródło wykorzystujące w procesie przetwarzania energię wiatru, promieniowania słonecznego, geotermalną, fal, prądów i pływów morskich, spadku rzek oraz energię pozyskiwaną z biomasy, biogazu wysypiskowego, a także biogazu powstałego w procesach odprowadzania lub oczyszczania ścieków albo rozkładu składowanych szczątków roślinnych i zwierzęcych".

W układach hybrydowych są stosowane głównie spalinowe zespoły prądotwórcze (np.: z silnikami Diesla), małe elektrownie wiatrowe oraz baterie ogniw słonecznych; mogą one pracować w kombinacjach podwójnych lub być wykorzystywane wszystkie. W układach hybrydowych są lub będą również stosowane elektrownie na biomasę, w szczególności małe jednostki modularne (do 5 MW), małe elektrownie wodne oraz ogniwa paliwowe wraz z bateriami słonecznymi i turbozespołami wiatrowymi.

Zasadnicze elementy układu hybrydowego, wykorzystującego wyłącznie odnawialne zasoby energii, pokazano na rysunku 1. Nośnikiem energii elektrycznej, wytwarzanej z energii wody lub wiatru, jest prąd przemienny (AC), który może być przekształcony na prąd stały (DC) w celu ładowania baterii akumulatorów. Akumulatory są chronione przed rozładowaniem oraz przeładowaniem przez system kontrolujący. Do zmiany niskiego napięcia stałego na napięcie przemienne 110 V lub 220 V, w zależności od standardu używanego w danym rejonie, są stosowane przekształtniki energoelektroniczne.

[2)] Paliwo pomocnicze – paliwo inne niż biomasa stosowane do uruchomienia odnawialnego źródła energii, którego udział wagowy w łącznej ilości spalanej biomasy nie przekracza 0,3% w okresie rozliczeniowym.

Hybrydowe układy wytwórcze jak na rysunku 1 są zwykle stosowane w rejonach odległych lub w przypadkach, gdy napotyka się trudności w transporcie paliwa do konwencjonalnych jednostek wytwórczych. Należą one do najdroższych ze względu na konieczność przewymiarowania odnawialnych źródeł energii oraz zastosowania układów magazynowania energii.



Rys. 1. Schemat blokowy układu hybrydowego z wyłącznym wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii

W porównaniu z instalacjami z wyłącznym wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii, instalacje z generatorami energii elektrycznej, zasilanymi paliwami kopalnymi, mają szereg ważnych właściwości:

- możliwość redukcji pojemności baterii akumulatorów,
- zdolność do pracy może osiągnąć 100% przy znacznie mniejszych zdolnościach wytwórczych elementów składowych,
- zwiększenie kosztów bieżącego utrzymania instalacji oraz kosztów paliwa,
- zwiększenie hałasu oraz innych zanieczyszczeń środowiska,
- zmniejszenie kosztów remontów kapitalnych.

Hybrydowe układy wytwórcze stwarzają także możliwości produkcji ciepła, zarówno w sposób rozdzielony, jak i w skojarzeniu (kogeneracja, CHP). Możliwości takie istnieją w przypadku zastosowania w HSW: silników tłokowych (spalinowych lub parowych), silników Stirlinga, małych turbin gazowych i mikroturbin, ogniw paliwowych (średnio- i wysokotemperaturowych), elektrowni słonecznych heliotermicznych, wykorzystania biomasy i biogazu oraz ciepła geotermalnego.

Zasobniki energii w hybrydowych układach wytwórczych

Rozwiązaniem problemu niestabilności pracy źródeł wykorzystujących odnawialne zasoby energii Słońca i wiatru jest współpraca elektrowni słonecznych i wiatrowych z układami do magazynowania energii elektrycznej. Takimi układami są zasobniki energii, które są zdolne zmagazynować nadwyżki generowanej przez elektrownię energii, bądź zasilać odbiorniki wcześniej zmagazynowaną energią w czasie, gdy elektrownia nie jest w stanie pokryć całego zapotrzebowania odbiorników. Dzięki temu można podnieść dyspozycyjność elektrowni słonecznych i wiatrowych. Zasobniki energii mogą być również pomocne w przeciwdziałaniu chwilowym skokom lub zapadom napięcia w węzłach systemu elektroenergetycznego (SEE) oraz jako rezerwa mocy w SEE. Powszechnie znanym urządzeniem umożliwiającym magazynowanie energii elektrycznej jest akumulator. Akumulatory połączone w grupy szeregowo-równoległe, w celu uzyskania odpowiednich parametrów napięciowo-prądowych, tworzą wraz z przetwornicami energoelektronicznymi bateryjne zasobniki energii o mocy przekraczającej niekiedy dziesiątki megawatów (BES – *Battery Energy Storage*) [1-3, 8]. W energetyce zawodowej od dawna wykorzystuje się zasobniki energii, jakimi są systemowe elektrownie wodne pompowe.

Nowe rozwiązania zasobników, nierzadko oparte na znanych zjawiskach fizycznych, bardzo szybko ewoluują, stając się technologicznie dojrzałe i są powoli wprowadzane do energetyki zawodowej [1-3, 8]. Należą do nich:

- kinetyczne zasobniki energii (FES – *Flywheel Energy Storage*),
- ogniwa paliwowe i paliwo wodorowe,
- elektrownie szczytowo-pompowe,
- pneumatyczne zasobniki energii (CAES – *Compressed Air Energy Storage*),
- superkondensatory (*Supercapacitors*),
- nadprzewodzące zasobniki energii (SMES – *Superconducting Magnetic Energy Storage*),
- bateryjne zasobniki energii.

Wszystkie obecnie stosowane technologie magazynowania energii elektrycznej można podzielić na technologie magazynowania pośredniego (z udziałem konwersji energii elektrycznej na inny rodzaj energii, np.: kinetyczną, chemiczną) i bezpośredniego (w polu elektrycznym lub magnetycznym).

Zbiorcze zestawienie i klasyfikację możliwości magazynowania energii elektrycznej przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Możliwości magazynowania energii elektrycznej [1-3, 8]

Zasobniki mechaniczne	Zasobniki elektrochemiczne	Zasobniki elektryczne
• elektrownie wodne pompowe • zbiorniki sprężonego powietrza • koła zamachowe (masy wirujące)	• baterie akumulatorów z magazynowaniem wewnętrznym (np. ołowiowe, niklowo-kadmowe, litowo-jonowe) • z magazynowaniem zewnętrznym: – magazynowanie gazu (elektrolizer, ogniwo paliwowe), – magazynowanie w ciekłych elektrodach (np. wanadowych), – ogniwa galwaniczne z regeneracją zewnętrzną (np. cynk-powietrze)	• magnesy nadprzewodzące, • superkondensatory

W tabeli 3 przedstawiono ilościową charakterystykę techniczną zasobników, zaś w tabeli 4 – najistotniejsze zalety i wady technologii umożliwiających magazynowanie energii elektrycznej.

Tabela 3

Charakterystyka techniczna zasobników energii [1-3, 8]

Technologia	Sprawność, %	Gęstość energii, Wh/kg	Gęstość mocy, W/kg	Okres eksploatacji, cykle lub lata	Samo rozładowanie
Superkondensatory	85-98	5-12	2 000-10 000	500 000 cykli	5%/dzień
Nadprzewodzące ZE	90-95	30-65	300-600	30 lat	pomijalne
Akumulatory kwasowo-ołowiowe	75-90	35-50	75-300	5 lat (1500 cykli)	2-5%/m-c
Akumulatory niklowo-kadmowe	60-83	10-75	150-300	1 500-9 000 cykli	5-20%/m-c
Akumulatory litowo-jonowe	75-92	150-200	200-315	>15 lat (5 000 cykli)	~1%/m-c
Akumulatory sodowo-siarkowe	75-85	150-240	100-280	2 500 cykli	~1%/m-c
Baterie cynkowo-bromowe	60-70	50-75	75-90	10-20 lat (>1 500 cykli)	pomijalne
Baterie VRB	75-85	30-50	1 200-3 000	10-15 lat (>10 000 cykli)	pomijalne
Ogniwa paliwowe PAFC	36-45 (tylko rozładowanie - generacja)	5-15	11 000	20 lat	nie ma
Ogniwa paliwowe PEFC	50-55 (bez kogeneracji, tylko generacja)	20-50	3 000-5 000	20 lat	nie ma
Ogniwa paliwowe SOFC	50-55 (bez kogeneracji, tylko generacja)	20-50	?	20 lat	nie ma
Elektrownie wodne pompowe	70-85	10	-	^{3}30 lat	pomijalne
Pneumatyczne ZE	65-80	5-50	-	30 lat	pomijalne
Kinetyczne ZE (stalowe)	85-90	55	10 000	20 lat	nie ma
Kinetyczne ZE (kompozytowe)	90-95	870	-	20 lat	nie ma

Tabela 4

Zalety i wady technologii umożliwiających magazynowanie energii elektrycznej [1-3, 8]

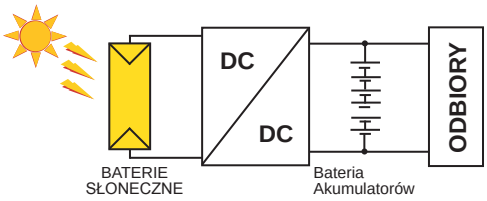
Technologie	Zalety	Wady	Potencjalne usprawnienia
Superkondensatory	duża gęstość mocy, długi okres eksploatacji, szybkie procesy ładowania	mała gęstość energii, wymaga zaawansowanej energoelektroniki, droga technologia	obniżenie kosztów, wzrost gęstości energii
Nadprzewodzące zasobniki energii	duża gęstość mocy	mała gęstość energii, znaczne potrzeby własne, droga technologia	obniżenie kosztów, wzrost gęstości energii, zwiększenie szybkości procesu ładowania
Akumulatory ołowiowe (kwasowo- ołowiowe)	dojrzała technologia, ogólnie dostępna, stosunkowo długi okres eksploatacji	wymaga obsługi i nadzoru technicznego, mała gęstość mocy i energii, kosztowny recykling, wpływ temperatury na pojemność baterii, wysokie napięcie głębokiego rozładowania	obniżenie napięcia głębokiego rozładowania, zwiększenie odporności na gradienty temperatury, procedury bezpiecznej eksploatacji w niektórych obiektach
Akumulatory niklowo-kadmowe (Ni-Cd)	dojrzała technologia, duża odporność mechaniczna, duża gęstość energii, długi okres eksploatacji	droga technologia, toksyczne materiały	obniżenie kosztów, usprawnienie procesów recyklingu
Akumulatory litowo-jonowe (Li-ion)	duża gęstość mocy i energii, wysoka sprawność	technologia na etapie rozwoju, droga, „trudna" w eksploatacji	obniżenie kosztów, usprawnienie procesów kontroli (nadzór), zwiększenie odporności na gradienty temperatury
Akumulatory sodowo-siarkowe (Na-S)	dojrzała technologia; duża gęstość mocy i energii, wysoka sprawność	droga technologia, wysoka temperatura pracy	obniżenie kosztów
Akumulatory cynkowo-bromowe (Zn-Br)	duża gęstość mocy i energii, przeznaczenie do dużych aplikacji	technologia na etapie rozwoju, duże koszty utrzymania w ruchu, łatwo korodujące i toksyczne materiały	obniżenie kosztów, usprawnienie procesów kontroli (nadzór), poprawa procedur bezpiecznej eksploatacji
Akumulatory wanadowe (VRB)	duża gęstość mocy i energii, przeznaczenie do dużych aplikacji	technologia na etapie rozwoju, droga, trudna standaryzacja	obniżenie kosztów, standaryzacja
Ogniwa paliwowe	stosunkowo duża sprawność, możliwość kogeneracji (ogniwa wysokotemperaturowe)	droga technologia (drogie katalizatory), trudne w produkcji paliwo (wodór), materiały wrażliwe na zanieczyszczenie związkami siarki, nieprzeciążalność prądowa	obniżenie kosztów
Elektrownie wodne pompowe	dojrzała technologia, duża gęstość energii i mocy	ograniczenia lokalizacji, wysokie koszty inwestycyjne, długi czas budowy, raczej dla dużych mocy	poprawa sprawności hydrozespołów wodnych
Pneumatyczne zasobniki energii	dojrzała technologia, duża gęstość energii i mocy	ograniczenia geograficzne i geologiczne lokalizacji, dostępność paliw, wysokie koszty inwestycyjne, długi okres budowy, dedykowana raczej dla większych mocy	zastosowanie procesów adiabatycznych, dzięki czemu możliwa będzie całkowita eliminacja zużycia paliwa
Kinetyczne zasobniki energii	duża gęstość mocy, długi okres eksploatacji, szybkie procesy ładowania	mała gęstość energii, znaczne straty przy pracy w gorącej rezerwie	obniżenie kosztów, zwiększenie gęstości energii

Przykłady rozwiązań hybrydowych układów wytwórczych

W dalszej części artykułu przedstawiono rozwiązania hybrydowych układów wytwórczych, dotyczące głównie układów z wykorzystaniem energii promieniowania słonecznego (konwersja fotowoltaiczna) i energii wiatru, opierając się na pracach zrealizowanych w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Warszawskiej.

Elektrownia słoneczna z baterią akumulatorów

Jedną z podstawowych idei jest połączenie baterii ogniw słonecznych z baterią akumulatorów. Na rysunku 2 przedstawiono schemat blokowy takiej elektrowni, zasilającej odbiorniki stałoprądowe. Bateria akumulatorów - zasobnik energii umożliwia zasilanie odbiorów w okresach niedostatecznej wydajności energetycznej baterii słonecznej (niskie nasłonecznienie, godziny nocne).

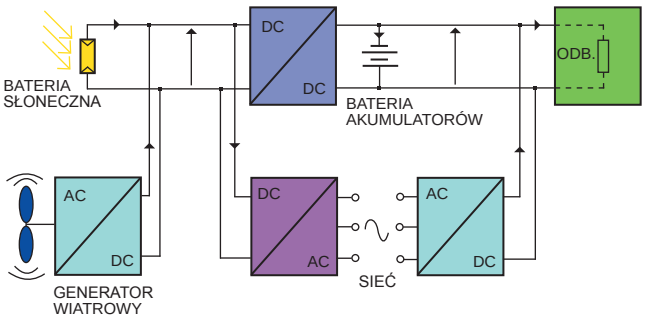


Rys. 2. Schemat blokowy elektrowni słonecznej z baterią akumulatorów

Zaletą tego rozwiązania jest prostota budowy i sterowania. Wadą układu jest to, że bateria słoneczna, nawet wraz z baterią akumulatorów, nie jest w stanie zasilić odbiorników w ciągu całej doby, gdyż ilość energii produkowanej jest silnie zależna od warunków nasłonecznienia i pory roku. Układ jest w stanie magazynować i oddawać energię elektryczną tylko w krótkich okresach. Nadaje się do zasilania takich odbiorników, gdzie ciągłość zasilania nie jest sprawą priorytetową.

Elektrownia słoneczna z turbozespołem wiatrowym

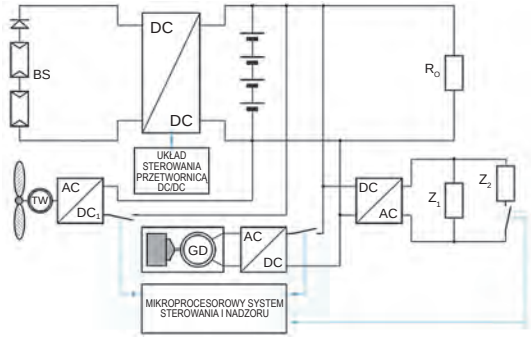
Inną ideą jest połączenie dwóch źródeł odnawialnych: baterii ogniw słonecznych z turbozespołem wiatrowym. Na rysunku 3 przedstawiono schemat blokowy elektrowni słoneczno-wiatrowej, z baterią akumulatorów, zasilającej odbiornik wydzielony stałoprądowy [10-12].



Rys. 3. Schemat blokowy elektrowni słoneczno-wiatrowej

Elektrownia słoneczno-wiatrowa z generatorem napędzanym silnikiem Diesla

Kolejną możliwością jest połączenie trzech źródeł: baterii słonecznej, turbozespołu wiatrowego i generatora prądu przemiennego napędzanego silnikiem Diesla. Na rysunku 4 przedstawiono schemat blokowy takiej elektrowni. Przy niesprzyjających warunkach atmosferycznych (bateria słoneczna BS i turbozespół wiatrowy TW nie pracują) odbiornik jest zasilany z agregatu prądotwórczego, w skład którego wchodzą: silnik Diesla i sprzęgnięty z nim generator prądu przemiennego (GD).



Rys. 4. Schemat blokowy hybrydowej elektrowni słoneczno-wiatrowej z generatorem napędzanym silnikiem Diesla

Istotą tego rozwiązania jest maksymalne wykorzystanie źródła słonecznego; turbozespół wiatrowy ze względu na zużywanie się części mechanicznych jest włączany w celu szybkiego doładowania baterii akumulatorów przy braku dostatecznego nasłonecznienia, a generator napędzany silnikiem Diesla jest włączany tylko w przypadku głębokiego rozładowania baterii akumulatorów i wyłączany po jej pełnym naładowaniu. Wadą układu są wysokie koszty inwestycyjne instalacji. Pracę całego systemu kontroluje mikroprocesorowy system sterowania i nadzoru.

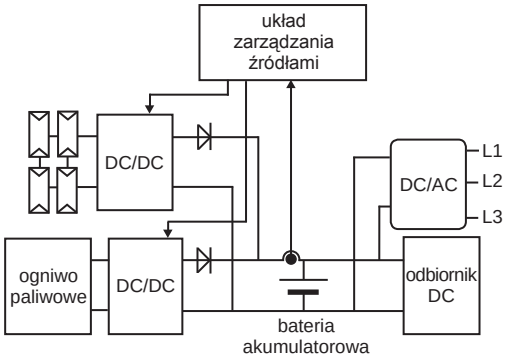
Elektrownia słoneczna z ogniwem paliwowym

Inne rozwiązanie polega na przebudowie hybrydowej elektrowni słoneczno-wiatrowej: zastąpieniu turbozespołu wiatrowego nowym źródłem energii – ogniwem paliwowym i dodaniu układu zarządzania źródłami [9-12]. Elektrownia została zoptymalizowana pod kątem zapewnienia ciągłego zasilania odbiorników, maksymalizacji wykorzystania energii promieniowania słonecznego oraz minimalizacji zużycia paliwa – wodoru – przez ogniwo paliwowe.

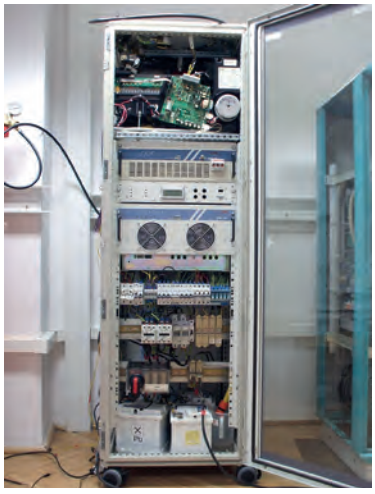
Elektrownia składa się z następujących elementów: paneli fotowoltaicznych, ogniwa paliwowego, baterii akumulatorów, systemu automatycznego nadzoru i układu zarządzania źródłami (rys. 5). System automatycznego nadzoru ma za zadanie zbierać informacje o obiekcie i przekazywać je zdalnie do użytkownika.

Zastosowanie ogniwa paliwowego pozwala na uniezależnienie zasilania od warunków zewnętrznych, które mają charakter losowy i na które użytkownik nie ma wpływu. Opisana elektrownia słoneczna z ogniwem paliwowym daje gwarancję stałego zasilania odbiorników. Sterowanie źródłami umożliwia optymalne wykorzystanie energii promieniowania słonecznego.

a)



b)



Rys. 5. Struktura elektrowni słonecznej z ogniwem paliwowym (a)
i widok części układu z dwoma ogniwami paliwowymi z elektrolitem polimerowym (PEFC) typu Nexa (b)

Podsumowanie

Obserwując szybki rozwój generacji rozproszonej można sądzić, że systemy elektroenergetyczne będą ewoluowały do postaci, w której drogi przesyłu energii elektrycznej (i/lub ciepła) będą możliwie najkrótsze. Będą eliminowane zbędne przemiany energetyczne oraz zagospodarowywane wszelkie dostępne formy i nośniki energii (np. zasoby odnawialne i rozproszone, energia odpadowa itp.). Sposobem na efektywne wykorzystanie odnawialnych i rozproszonych zasobów energii pierwotnej są hybrydowe układy (systemy) wytwórcze, w których ma miejsce integracja i swego rodzaju synergia różnych technologii wytwarzania energii elektrycznej, które umożliwiają zaspokojenie potrzeb energetycznych pojedynczych odbiorców lub lokalnych społeczności.

Budowa hybrydowych układów wytwórczych średniej i małej mocy, wykorzystujących odnawialne i rozproszone zasoby energii pierwotnej, które będą zlokalizowane blisko odbiorców, pozwoli uniknąć części kosztów przesyłu i dystrybucji. Tego typu układy mają niebagatelne znaczenie dla ochrony środowiska, gdyż wiele ze stosowanych w nich źródeł nie emituje zanieczyszczeń.

Hybrydowe układy wytwórcze stwarzają także możliwości produkcji ciepła, zarówno rozdzielonej, jak też skojarzonej. Możliwości takie istnieją w przypadku zastosowania w HSW takich technologii jak: silniki tłokowe, silniki Stirlinga, małe turbiny i mikroturbiny gazowe, ogniwa paliwowe średnio- i wysokotemperaturowe, elektrownie słoneczne heliotermiczne, wykorzystanie biomasy i biogazu, wykorzystanie ciepła geotermalnego.

PIŚMIENNICTWO

[1] Electrical Energy Storage White Paper. IEC. December 2011.

[2] Electricity Energy Storage Technology Options - A White Paper Primer on Applications, Costs, and Benefits. EPRI. December 2010

[3] Hadjipaschalis I., Poullikkas A., Efthimiou V.: Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications. Renewable & Sustainable Energy Reviews, September 2008.

[4] Paska J.: Wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła w systemach hybrydowych. *Rynek Energii* 2007, nr 5.

[5] Paska J.: Reliability Issues in Electric Power Systems with Distributed Generation. *Rynek Energii* 2008, nr 5.

[6] Paska J.: Wytwarzanie rozproszone energii elektrycznej i ciepła. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2010.

[7] Paska J.: Technologie rozproszonych źródeł energii. *Podręcznik INPE dla elektryków* – zeszyty monotematyczne 2011, z. 38.

[8] Paska J.: Zasobniki energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym - zastosowania i rozwiązania. *Przegląd Elektrotechniczny* (*Electrical Review*) 2012, nr 9a.

[9] Paska J., Biczel P.: Hybrid Photovoltaic – Fuel Cell Power Plant. IEEE St. Petersburg PowerTech'2005. St. Petersburg, Russia, June 27–30, 2005.

[10] Paska J., Biczel P.: Experience with Hybrid Power Generating Systems. 8th International Conference „Electrical Power Quality and Utilization – EPQU'05". Cracow – Poland, September 21-23, 2005.

[11] Paska J., Kłos M.: Hybrydowe systemy wytwórcze energii elektrycznej. XII Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Aktualne problemy w elektroenergetyce – APE'05". Gdańsk-Jurata, 8-10 czerwca 2005.

[12] Paska J., Biczel P., Kłos M.: Hybrid power systems – An effective way of utilising primary energy sources. *Renewable Energy*. Vol. 34, No 11, Nov. 2009.

[13] *Prawo energetyczne*. Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 z późniejszymi zmianami (stan prawny na dzień 25.09.2012).

[14] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 18 października 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii. Dz. U. z 2012 r., poz. 1229.