

Damian GŁUCHY*

CZYNNIKI WARUNKUJĄCE WSPÓŁPRACĘ MAGAZYNÓW ENERGII Z OZE

W pracy zwrócono uwagę na problem pozyskiwania energii w sposób niezagrażający środowisku naturalnemu. Wskazano problemy związane z wykorzystaniem wybranych odnawialnych źródeł energii obejmujących między innymi wahań mocy oraz pogorszenie jakości energii. Opisano metody magazynowania energii jako technologie przeznaczone do współpracy z siecią elektroenergetyczną celem łagodzenia negatywnego wpływu na nią przez OZE. Wybrano typy magazynów energii, które z uwagi na swoje właściwości wykazują potencjał do zastosowania i współpracy z instalacjami fotowoltaicznymi i turbinami wiatrowymi.

SŁOWA KLUCZOWE: odnawialne źródła energii, turbiny wiatrowe, magazyny energii, superkondensator, akumulatory, kinetyczne magazyny energii, PV

1. WPROWADZENIE

Człowiek podejmuje niekończącą się inicjatywę mającą na celu poprawę komfortu życia. Dotyczy to zarówno sfery duchowej, kulturalnej jak i materialnej. Postęp technologiczny na przestrzeni wieków zmienił nie tylko sposób komunikacji, ale także model transportu, technikę wykonania miejsc zamieszkania, narzędzia pracy itp. Wszystkie to przestrzenie wykazują stały wzrost zapotrzebowania na energię. Początkowo podejmowanie pracy było równoznaczne z wykorzystaniem siły mięśni ludzi i zwierząt. Na przestrzeni tysięcy lat udało się ujarzmić i wykorzystać energię wiatru i wody. Niestety jej stosowanie wiązało się z dwoma głównymi niedogodnościami: brakiem możliwości jej przesyłania oraz magazynowania. W dobie rewolucji przemysłowej po raz pierwszy sięgnięto po formę energii znacznie bardziej „mobilną” czyli energię elektryczną. Od tego czasu można zauważyć stały wzrost zapotrzebowania na ten rodzaj energii. Odpowiedzią na to okazały się coraz bardziej wydajne metody konwencjonalne i niekonwencjonalne pozyskiwania energii elektrycznej. Stale wzrastająca efektywność urządzeń przeznaczonych do jej generacji i przesyłu pozwoliła na zbilansowanie popytu i podaży.

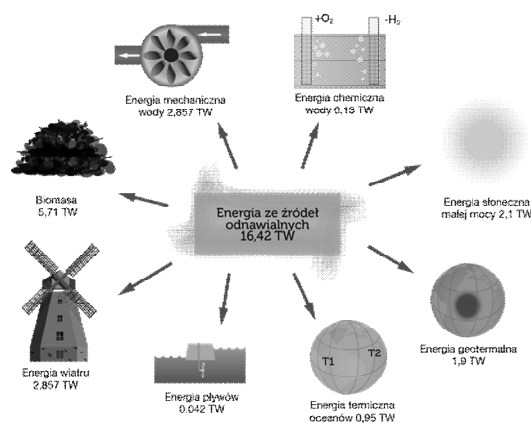
Obecnie pojawił się nowy znaczący problem związany z wytwarzaniem energii elektrycznej. Jest nim degradacja środowiska naturalnego. Ciągłe eks-

* Politechnika Poznańska.

plątowanie złóż węgla, niebezpieczne metody pozyskiwania gazu łupkowego, zanieczyszczenie powietrza wynikające z procesów spalania czy też składowania odpadów radioaktywnych z elektrowni atomowych to tylko część problemów, z jakimi należy się zmierzyć w najbliższej przyszłości. Należy do nich dodać zmiany krajobrazu i niszczenie lokalnych ekosystemów, wynikające z tworzenia zbiorników retencyjnych na potrzeby magazynowania energii dużych mas wody. Wszystkim tym zagrożeniom należy stawić czoła w nadchodzących latach, a odpowiedzią na nie są Odnawialne Źródła Energii (OZE) współpracujące z nowoczesnymi technologiami magazynowania energii.

2. ANALIZA GENERACJI ENERGII ELEKTRYCZNEJ W POPULARNYCH ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII

Zgodnie z Dziennikiem Ustaw, w którym zamieszczono akt prawny „Prawo Energetyczne” termin Odnawialne Źródło Energii określa się jako „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” [10]. Tym samym OZE stanowią bezpieczną alternatywę dla dotychczasowej szeroko stosowanej energetyki konwencjonalnej opartej na spalaniu węgla. Określa się, że obecny stan zaawansowania techniki pozwala na wykorzystanie mocy zainstalowanej bliskiej 17 TW pochodzącej ze źródeł OZE (rysunek 1) [6].



Rys. 1. Techniczne możliwości wykorzystania OZE [6]

Spośród wymienionych możliwości ekologicznego pozyskiwania energii największe nadzieje wiązane są z wykorzystaniem energii wiatru i Słońca.

2.1. Energetyka wiatrowa

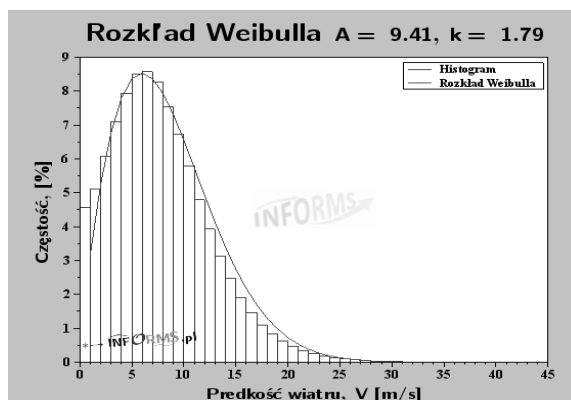
Energetyka wiatrowa jest jednym z najdynamiczniej rozwijających się segmentów energetyki odnawialnej na świecie. Wynika to przede wszystkim z szerokiej możliwości lokalizacji, w których tego rodzaju instalacje mają dobre i bardzo dobre warunki do generacji energii, a tym samym inwestycja będzie opłacalna.

Dogodne umiejscowienie dla turbiny wiatrowej charakteryzuje kilka czynników. Przede wszystkim istotny jest parametr regularność wietrzności zarówno pod kątem natężenia jak i dużej stabilności w nadchodzącym okresie czasu, który zapewni możliwie długie okresy nieprzerwanej pracy. Strukturę częstości występowania danej prędkości wiatru można przedstawić za pomocą histogramu. W celu osiągnięcia reprezentatywnego, w sensie statystycznym, okresu pomiarowego prędkości wiatru, powinien on być wielokrotnością cyklu rocznego. Z tego powodu histogram prędkości wiatru interpoluje się za pomocą funkcji analitycznych, z których najczęściej stosowaną jest funkcja Weibulla o postaci [7]:

$$p(v) = \frac{k}{A} \cdot \left(\frac{v}{A}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{A}\right)^k\right] \quad (1)$$

gdzie: $p(v)$ – gęstość prawdopodobieństwa, k – parametr kształtu, A – parametr skali, v – prędkość wiatru.

Przykład histogramu prędkości wiatru, wraz z naniesionym rozkładem Weibulla o odpowiednio dobranych parametrach „ A ” i „ k ” przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Histogram prędkości wiatru oraz rozkładu Weibulla dla $A = 9.41$ oraz $k = 1.79$ [11]

Wcześniej wspomniana wyraźna okresowa powtarzalność roczna wiatru dotyczy zarówno jego prędkości jak i kierunku, co przejawia się w występujących naprzemiennie okresach większej i mniejszej wietrzności. Warunki wietrzności wynikają w dużej mierze z położenia geograficznego i prądów morskich, które wpływają na jego klimat. Przykładowo dla obszaru

Polski na wietrzność ma wpływ prąd zatokowy Golfstrom docierający z oceanu Atlantyckiego [12].

Innym elementem wpływającym na wietrzność jest czynnik orograficzny, czyli rzeźba terenu. Dotyczy to zarówno dużych form geograficznych (doliny czy łańcuchy górskie) jak i mniejszych (obszary leśne powodujące zawirowania w przemieszczających się masach powietrza). W związku z powyższym ustalanie warunków wietrzności w określonej lokalizacji geograficznej powinno być poprzedzone wykonaniem specjalistycznych pomiarów [12].

2.2. Energetyka słoneczna

Coraz powszechniej stosowanym sposobem pozyskiwania energii elektrycznej jest jej przemiana z energii słonecznej z wykorzystaniem ogniwa fotowoltaicznego PV (ang. photovoltaic). To jego konstrukcja i wykonanie określa właściwości i parametry kompletnej instalacji PV. Na ilość generowanej przez panel fotowoltaiczny energii elektrycznej ma wpływ przede wszystkim wartość promieniowania słonecznego, padającego na jego powierzchnię. Warunki panujące w danej lokalizacji można opisać z wykorzystaniem poniższych parametrów [5]:

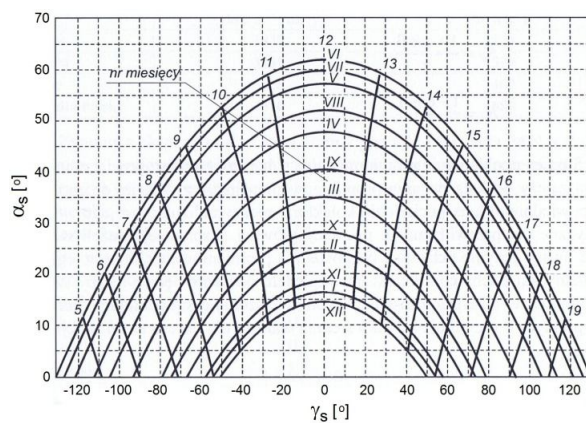
- E [W/m^2] – gęstość mocy promieniowania słonecznego (suma docierającego do odbiornika promieniowania bezpośredniego, rozproszonego oraz odbitego),
- H [kWh/m^2] – nasłonecznienie (całkowita energia promieniowania słonecznego padającego na jednostkę powierzchni w ciągu określonego czasu godziny, dnia, miesiąca, roku),
- h [h] – usłonecznienie (liczba godzin, przez które dociera bezpośrednio promieniowanie słoneczne do powierzchni Ziemi w określonym czasie).

Na etapie projektowania instalacji fotowoltaicznej należy wykorzystać informacje o miejscowym poziomie natężenia promieniowania słonecznego pochodzące ze stacji meteorologicznych uzupełnione o wartości statystyczne z ostatnich kilku lat. Najpełniejsze dane uzyskamy jednak ze szczegółowych pomiarów prowadzonych w okresie nie krótszym niż jeden rok.

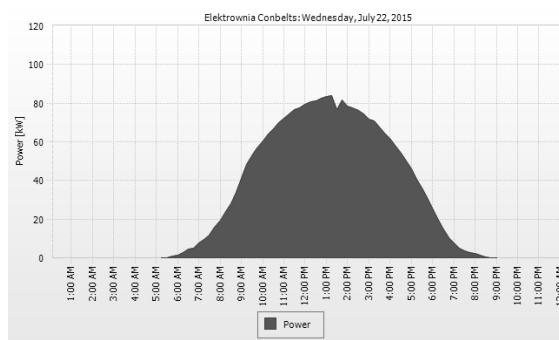
Nasłonecznienie, w dużej mierze zależy od pozycji Słońca na nieboskłonie. Na rysunku 3 przedstawiono wykres pozycji słońca we współrzędnych $\alpha_s = f(\gamma_s)$, odwzorowujący drogę Słońca po nieboskłonie w ciągu dnia.

Tym samym uzysk z instalacji należy rozpatrywać w rocznych interwałach czasowych. Taka analiza pozwala przyjąć zależność nasłonecznienia od położenia geograficznego (szerokości geograficznej), oraz dnia roku.

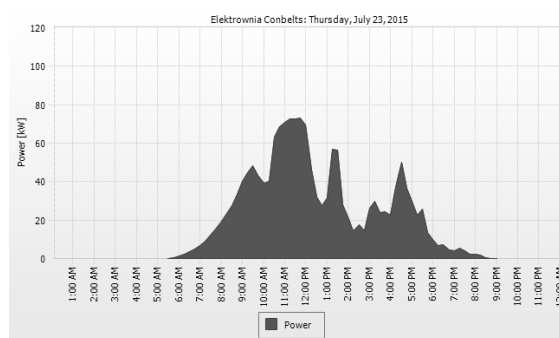
Znaczenie bardziej skomplikowany jest stochastyczny charakter gęstości mocy promieniowania słonecznego w ciągu doby zależny od warunków atmosferycznych. Taki przebieg dla dwóch kolejnych dni w tej samej lokalizacji został przedstawiony na rysunku 4.



Rys. 3. Wykres pozycji Słońca dla Poznania ($\phi=52^\circ$) [4]:
 γ_s – azymut słoneczny – kąt określający odchylenie rzutu kierunku bezpośrednich promieni Słońca na powierzchnię Ziemi od kierunku południowego (na wschód – ujemne, na zachód – dodatnie);
 α_s – kąt położenia Słońca względem powierzchni horyzontu



a) 22.07.2015



b) 23.07.2015

Rys. 4. Uzysk energii z instalacji w Bytomiu w dwóch kolejnych dniach przy zmieniających się warunkach pogodowych [16]

Pomimo, doboru lokalizacji na podstawie satysfakcjonujących parametrów gęstości mocy promieniowania i usłonecznienia oraz przewidywalnego charakteru dobowego generacji (brak generacji w godzinach nocnych oraz paraboliczna charakterystyka generacji w godzinach dziennych) uzysk energii podlega dużej zmienności w niewielkich okresach czasowych wynikających ze stochastycznego charakteru zmian pogodowych.

3. ENERGIA ELEKTRYCZNA Z OZE A SYSTEM ELEKTROENERGETYCZNY

Przeprowadzona we wcześniejszej części publikacji analiza czynników jakie wpływają na generację dwóch wybranych źródeł energii odnawialnej, przybliżyła problemy związane z ich stosowaniem na szeroką skalę. Zarówno w przypadku stosowania instalacji wiatrowych jak i słonecznych odpowiedni dobór lokalizacji instalacji, o przewidywalnych parametrach wietrzności i nasłonecznienia gwarantuje, odpowiedni poziom generacji, ale tylko w ujęciu uśrednionym. Wartości chwilowe mocy i energii nadal pozostają nieokreślone z uwagi na dużą dynamikę zachodzących zmian. W celu predykcji poziomu generacji należy każdą z instalacji wyposażać w sieć stacji pomiarowych. Im większa liczebność i promień rozmieszczenia takich stacji, tym większa baza informacji, na podstawie których, przy użyciu odpowiednich algorytmów przetwarzania, uzyskać można bardziej wiarygodną analizę zmieniających się warunków pogodowych. Taki rozproszony system wiąże się również ze sporymi kosztami. Niestety, podejście tego typu pozwala tylko na przewidywanie z odpowiednio dużym wyprzedzeniem chwilowego poziomu generacji, który powinien być zgodny z aktualnym zapotrzebowaniem na energię elektryczną. Nawet, jeśli przewiduje się poziom produkcji energii z danej instalacji OZE z kilkunastosekundowym wyprzedzeniem, to niezbędne są układy pozwalające zbilansować chwilowy popyt i podaż na energię elektryczną. Konwencjonalne źródła posiadają zbyt małą dynamikę na potrzeby wykonywania szybkich chwilowych zmian ilości generowanej energii.

Najlepszym rozwiązaniem wyżej wskazanego problemu wydaje się utrzymanie generacji z instalacji OZE na stałym poziomie. Jest to jednak możliwe tylko przy ich współpracy z magazynami energii o bardzo dużych pojemnościach, co nie jest opłacalne od strony ekonomicznej. Należy zatem poszukiwać rozwiązań złożonych z różnych typów i pojemności magazynów energii, tak aby poprawić warunki współpracy z systemem elektroenergetycznym, ale nie podnosić znacząco kosztów jednostkowych wytwarzania energii elektrycznej.

4. CHARAKTERYSTYKA TECHNOLOGII MAGAZYNOWANIA ENERGII

Techniki magazynowania energii znane są praktycznie od początku wytwarzania energii elektrycznej. Początkowo rozwijane i najbardziej efektywne były technologie związane ze spiętrzaniem poziomu wody. Dzięki temu, budując zapórę na rzece, jednocześnie uzyskiwano źródło i magazyn energii. Modyfikacją tej koncepcji jest elektrownia szczytowo-pompowa, będąca tylko rezerwą energii. W 2012 roku całkowita moc zainstalowana na świecie w elektrowniach tego typu przekroczyła 130 GW, co stanowi wzrost o 30 GW w odniesieniu do stanu z 2002 roku [15].

Stale rosnące zapotrzebowanie na magazynowaną energię, również w wersjach bardziej mobilnych, zaowocowało rozwojem w badaniach nad efektywnym gromadzeniem energii. Obecnie, z uwagi na sposób akumulowania energii, magazyny można podzielić na sześć kategorii: magazyny energii mechanicznej, pneumatyczne, termiczne, elektryczne, magnetyczne i elektrochemiczne.

4.1. Magazyny energii mechanicznej

Do magazynów energii mechanicznej zalicza się : elektrownie szczytowo-pompowe oraz kinetyczne magazyny energii, wśród których najbardziej rozwinięte są technologie z masami wirującymi.

W przypadku tych pierwszych zasada działania opiera się na pompowaniu wody do zbiornika górnego (położonego wyżej) w okresie niskiego zapotrzebowania na energię, natomiast w celu odzyskania energii wykorzystuje się potencjał spadku wody do niższego zbiornika. Sprawności elektrowni szczytowo-pompowych sięgają 80% i, choć jest to najbardziej rozpowszechniona (pod względem zainstalowanej mocy) metoda magazynowania energii, to stosuje się ją głównie do gromadzenia energii rzędu dziesiątek i setek MWh oraz wymaga ona lokalizacji o specyficznej topografii.

Kinetyczny magazyn energii zamienia energię elektryczną na energię kinetyczną koła zamachowego E zgodnie ze wzorem:

$$E = \frac{1}{2} I \omega^2, \quad (2)$$

gdzie: I – bezwładność pędu koła zamachowego, ω – prędkość kątowna.

Ograniczenia, co do maksymalnej wartości energii, jaką można zmagazynować, związane są głównie z podatnością na rozciąganie materiału, z którego zbudowane jest koło zamachowe. Zatem maksymalna gęstość energii, jaką można zgromadzić w tym magazynie, można określić jako:

$$E_{sp} = k_s \frac{\sigma_m}{\rho}, \quad (3)$$

gdzie: E_{sp} – maksymalna gęstość energii, σ_m – maksymalna wytrzymałość na rozciąganie materiału koła zamachowego, k_s – współczynnik kształtu, ρ – gęstość materiału zamachowego.

Ponadto, w zależności od materiału, z którego wykonany jest wirnik, rozróżnia się dwa typy kół zamachowych: z zaawansowanego kompozytu (grafit lub włókno węglowe) lub ze stali. Koła zamachowe posiadają duże gęstości mocy i wysokie sprawności oraz, z uwagi na brak reakcji chemicznych, nie emitują szkodliwych związków, a czas ich użytkowania nie zmienia zdolności gromadzenia energii. Ponadto pozwalają one na dynamiczny przepływ dużych wartości energii, dzięki czemu nadają się do regulacji częstotliwości zasilania. Wadą kół zamachowych jest ich duży stopień samorozładowania (sięgający 10%/godz.) i wysoki koszt produkcji [5].

4.2. Magazyny pneumatyczne

Magazyny pneumatyczne stanowią jedną z najstarszych form gromadzenia energii, która polega na efektywnym sprężaniu powietrza zazwyczaj w jaskiniach lub kopalniach. Metoda ta, choć charakteryzuje się dużą zdolnością do gromadzenia energii, to posiada szereg wad, z których najważniejsze to: konieczność doboru lokalizacji w sąsiedztwie grot i wyrobisk górniczych oraz niska sprawność sięgająca 40-75%. Niska efektywność tej metody wynika z przemian adiabatycznych, podczas których należy najpierw podczas sprężania powietrza odprowadzić duże ilości ciepła, wynikającego ze wzrostu temperatury, zgodnie ze wzorem (4), a podczas rozprężania służącego odzyskowi energii ponownie zwiększyć temperaturę czynnika [1].

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{(K-1)}{K}} \quad (4)$$

gdzie: T – temperatura, P – ciśnienie bezwzględne, K – politropowy indeks nieodwracalnej kompresji, Indeksy 1 i 2 – odpowiednio: stan początkowy i końcowy sprężania.

4.3. Magazyny termiczne

Istnieje szereg możliwości magazynowania energii w postaci różnicy potencjałów, lecz w większości zastosowań nie jest ona później zamieniana na energię elektryczną. Wyjątkiem od tej reguły jest stosowany od niedawna magazyn termiczny współpracujący ze słoneczną elektrownią termiczną. Zasada działania polega na magazynowaniu ciepła poprzez podgrzanie soli w izolowanym zbiorniku. Tak zgromadzony czynnik wykorzystywany jest do podgrzania pary wodnej, która zasila klasyczny generator energii elektrycznej [14].

4.4. Magazyny elektryczne

Kategoria ta określa urządzenia pozwalające na gromadzenie energii w polu elektrycznym, a zaliczają się do niej przede wszystkim superkondensatory. Osiągają one swoje właściwości poprzez gromadzenie ładunków elektrycznych w obrębie podwójnej warstwy elektrycznej powstałej na granicy ośrodków elektroda-elektrolit. Dlatego też super kondensatory często określane są mianem kondensatorów dwuwarstwowych (ang. Double-Layer Capacitor). To dzięki zastąpieniu klasycznych okładzin kondensatora i stałego dielektryka przez metalowe elektrody powlekane materiałem o dużej powierzchni (z aktywnego węgla), odseparowane cienkim porowatym izolatorem, uzyskano bardzo dobre właściwości. Przede wszystkim superkondensator może przyjmować i oddawać bardzo duże wartości energii w krótkim czasie. Wartość tej energii E można określić poprzez wzór:

$$E = \frac{1}{2} CV^2, \quad (5)$$

gdzie: V – napięcie między okładzinami, C – pojemność superkondensatora.

Pojemność superkondensatora zależna jest od powierzchni okładzin, które dzięki porowatemu wykonaniu charakteryzują się znacznie większą wartością niż w tradycyjnych kondensatorach. Ponadto układy te posiadają dużą gęstość mocy, małą szkodliwość dla środowiska naturalnego, bardzo wysoką sprawność (nawet do 98%), dużą trwałość sięgającą setek tysięcy cykli ładowania-rozładowania oraz szeroki zakres temperatur pracy. Natomiast ich wadą jest mała zasobność w energię (gęstość energii jest rzędu 10 Wh/kg) oraz wysoka cena [6].

4.5. Magazyny magnetyczne

Zalicza się do nich cewki nadprzewodzące (ang. Superconducting Magnetic Energy Storage - SMES), w których energia jest magazynowana w polu magnetycznym. SMES składają się z dużej cewki nadprzewodzącej utrzymywanej w temperaturze kriogenicznej. Zmagazynowaną energię można określić wyrażeniem:

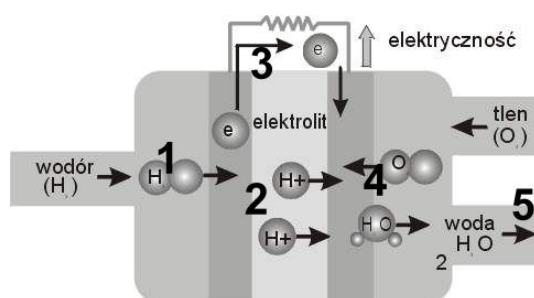
$$E = \frac{1}{2} LI^2, \quad (6)$$

gdzie: L – współczynnik indukcyjności, I – prąd.

Magazyny oparte na cewkach nadprzewodzących wyróżniają się stosunkowo dużą sprawnością i mocą oraz posiadają zdolność do gromadzenia dużej ilości energii. Ich wadą jest bardzo wysoki koszt oraz relatywnie krótki czas przechowywania energii (do kilku minut) [5].

4.6. Magazyny elektrochemiczne

W grupie magazynów elektrochemicznych ze względu na zachodzące procesy wyróżnić można ogniwa paliwowe oraz ogniwa elektrochemiczne pierwotne i wtórne. Ogniwa paliwowe wytwarzają energię elektryczną w wyniku reakcji utleniania paliwa (najczęściej wodoru powstałego w procesie elektrolizy). Schemat działania ogniwa paliwowego zasilanego wodorem przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Schemat działania ogniwa paliwowego zasilanego wodorem [13]: 1 – etap wydobycia elektronów z wodoru, 2 – protony przenikają do elektrolitu, 3 – elektrony przepływają przez odbiornik w kierunku katody, 4 – elektrony docierają do dodatniej strony elektrolitu, po czym łączą się z cząsteczkami tlenu, 5 – tworzy się woda i ciepło

Do głównych zalet tej technologii należą: cicha praca, stabilność dostarczania energii, niewielka emisja szkodliwych dla środowiska związków chemicznych, duża żywotność i stosunkowo krótki czas rozruchu układu. Wadą stosowania wodoru jako magazynu energii jest niewielka całkowita efektywność procesu wytwarzania i spalania wodoru (20-45%), wysokie koszty tej technologii oraz problemy z bezpiecznym przechowywaniem i transportem wodoru [9].

Ogniwa elektrochemiczne, nazywane potocznie akumulatorami, działają na skutek reakcji chemicznej zachodzącej w elektrolicie oraz na jego styku z elektrodami. Do najczęściej stosowanych obecnie rodzajów akumulatorów należą: układy kwasowo ołowiowe, niklowo-kadmowe, litowo-jonowe i metalowo-powietrzne. Ogniwa chemiczne charakteryzują się stosunkowo dużą gęstością energii przy dość ograniczonej gęstości mocy (przepływ dużych prądów znacząco zmniejsza trwałość układów). Zestawienie najważniejszych właściwości różnych technologii akumulatorów przedstawiono w tabeli 1.

Na podstawie analizy wyżej wymienionych typów magazynów energii zdefiniować można cechy „idealnego magazynu”. Powinien on wykazywać się jak największą gęstością energii oraz jak najwyższą gęstością mocy, świadczącą o możliwościach poboru dużych energii w krótkim czasie (ładowanie i rozładowywanie dużymi prądami jest równoznaczne z szybką wymianą ładunków).

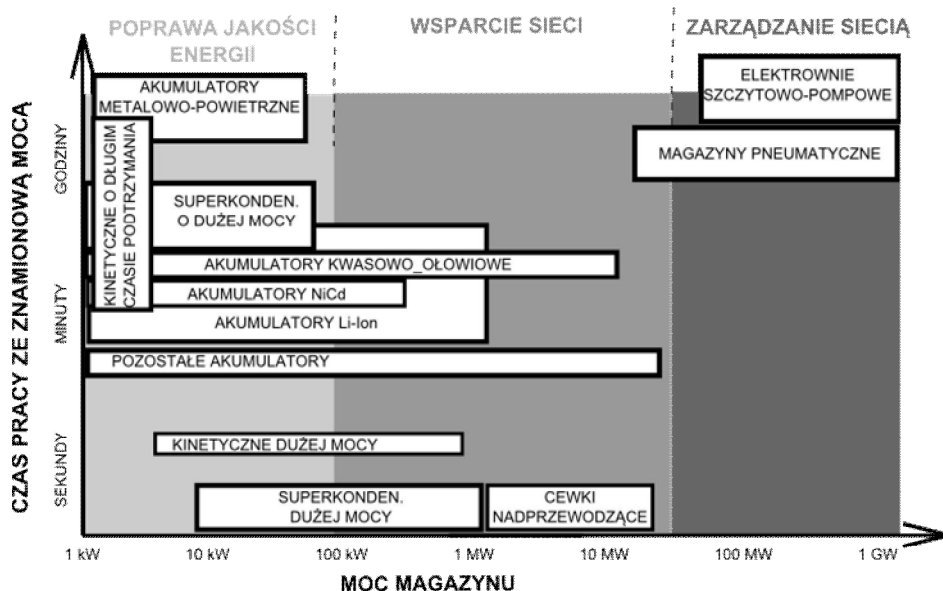
Kluczowa jest również duża pojemność magazynu, najlepiej o nieskończonej liczbie cykli pracy i szerokim zakresie temperaturowym działania.

Tabela 1. Charakterystyka poszczególnych technologii ogniw elektrochemicznych [8]

Typ Ogniwa	Sprawność [%]	Koszt [€/kWh]	Żywotność [liczba cykli przy % stopniu rozładowania]	Temperatura pracy [°C]	Gęstość energii [Wh/kg]	Samorozładowanie [%/miesiąc]
Kwasowo-ołowiowe głębokiego rozładowani	72-78	50-150	1000-2000 (70%)	-5 do 40	25	2-5
Kwasowo-ołowiowe	72-78	50-150	200-300 (80%)	-5 do 40	30-50	2-5
Niklowo-kadmowe	72-78	200-600	3000 (100%)	-40 do 50	45-80	5-20
Siarkowo-sodowe	89	400-500	2500 (100%)	300 do 350	100	0
Litowo-jonowe	100	700-1000	3000 (80%)	-30 do 60	90-190	1
Wandanowe redoks	85	360-1000	10000 (75%)	0 do 40	30-50	znikome
Cynkowo-bromowe	75	360-1000	3500 (100%)	0 do 40	70	znikome
Metalowo-powietrzne	50	50-200	<100	-20 do 50	450-650	znikome

Poszczególne magazyny energii elektrycznej ze względu na ich właściwości przyporządkować można do wybranych zastosowań aplikacyjnych. Na rys. 6 przedstawiono wykres przybliżający obszary zastosowania popularnych zasobników energii w zależności od ich mocy oraz czasu podtrzymania.

Analizując wykres z rys. 6 można zauważyć możliwość spełnienia wcześniej wspomnianych cech idealnego magazynu energii przez połączenie w jeden system akumulatorów, superkondensatorów oraz kół zamachowych. Skutkiem takiej integracji jest stworzenie taniego systemu o dużej energii, stosunkowo niewielkiej wadze, wysokiej sprawności, dużej wydajności prądowej, stabilnych i powtarzalnych cyklach oraz dobrych właściwościach nawet w niskich temperaturach.



Rys. 6. Popularne zastosowania różnych rodzajów magazynów energii [2]

5. WNIOSKI

Odnawialne źródła energii stanowią przyszłość nowoczesnej energetyki. Ich stosowanie, pomimo wielu niedogodności, wydaje się być nieuniknione. W przypadku stosowania turbin wiatrowych na stabilność poziomu generowanej energii ma wpływ prędkość wiatru, co powoduje konieczność zwiększenia rezerw mocy w innych źródłach, a ponadto utrudnia prowadzenie ruchu w systemie elektroenergetycznym oraz wywołuje trudności w planowaniu bilansu mocy i energii. Podobnie praca źródeł fotowoltaicznych, oprócz przewidywalnego braku generacji w porze nocnej, jest w dużej mierze uzależniona od warunków pogodowych. Charakterystyki pracy oraz uzysku energii elektrycznej z tych dwóch źródeł w dużej mierze wzajemnie uzupełniają się, a tym samym korzystnym będzie stosowanie instalacji PV współpracujących z zespołami turbin wiatrowych.

Poprawę współpracy źródła „wiatrowo-fotowoltaicznego” z siecią energetyczną zapewni wprowadzenie układu magazynującego energię. Musi się on charakteryzować dużą gęstością mocy i energii, zadowalającą sprawnością przy określonych warunkach pracy, a przede wszystkim akceptowalną ceną z punktu widzenia osiągniętych korzyści. Należy zauważyć, że niewielkie magazyny energii cechują się niższymi kosztami, co skłania do inwestycji w mikro i małe instalacje OZE. Takie podejście umożliwia łatwe i naturalne wprowadzenie decentralizacji źródeł, a tym samym również zmniejszenie wydatków związanych z przesyłaniem energii przy jednoczesnym zwiększeniu niezawodności zasilania.

Ponadto dywersyfikacja źródeł OZE na dużym obszarze pozwala zmniejszyć stochastyczny charakter skutków zachowań instalacji uwarunkowanych zmianami pogody. O ostatecznym doborze wielkości magazynów, ich liczby oraz miejscu zainstalowania powinny decydować analizy ekonomiczno-techniczne.

Wykorzystanie w układzie magazynów energii superkondensatorów i mas wirujących niesie ze sobą jeszcze jedną zaletę. Układy te dzięki możliwości bardzo szybkiego pobierania i oddawania dużych prądów pozwalają na regulację częstotliwości napięcia sieciowego. Nawet w przypadku ich dużego rozproszenia można nimi zarządzać z poziomu systemów SCADA, których obecność zbliża system energetyczny do koncepcji smart-grid.

LITERATURA

- [1] Adamska B., Magazynowanie energii sprężonego powietrza, *Glob energia*, nr 3, 2014.
- [2] Akhil A. A., Huff G., Currier A. B., Kaun B. C., Rastler D. M., Bingqing Chen S., Cotter A. L., Bradshaw D. T., Gauntlett W. D., DOE/EPRI 2013 Electricity Storage Handbook in Collaboration with NRECA, Sandia report SAND2013-5131, 2013.
- [3] Badyda K., Energetyka wiatrowa. Aktualne trendy rozwoju w Polsce, *Energetyka*, Nr. 5/2013.
- [4] Głuchy D., KurzD., Trzmiel G., Studying the Impact of Orientation and Roof Pitch on the Operation of Photovoltaic Roof Tiles, *Przegląd Elektrotechniczny*, Nr 6/2013.
- [5] Jung H.Y., Kim A.R., Kim J.H., Park M., Yu J.K., Kim S.H., Sim K., Kim H.J., Seong K.C., Asao T., Tamura J., A Study on the Operating Characteristics of SMES for the Dispersed Power Generation System, *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, Vol.19, 2009.
- [6] Lewandowski W., *Proekologiczne odnawialne źródła energii odnawialnej*, WNT Warszawa, 2006.
- [7] Liu H., Jiang J., Flywheel energy storage - An upswing technology for energy sustainability, *Energy and Buildings*, Vol.39, 2007.
- [8] San Martín J.I., Zamora I., San Martín J.J., Aperribay V., Eguía P., *Energy Storage Technologies for Electric Applications*, International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Spain, 2011.
- [9] White Paper, *Electrical Energy Storage*, International Electrotechnical Commission, 2011.
- [10] (Dz.U. 2010 nr 21, poz. 104) Nowelizacja ustawy – Prawo energetyczne
- [11] <http://informs.pl/> Produkcja energii w elektrowniach wiatrowych w miesiącach [17.01.2016]
- [12] <http://green-power.com.pl/> Wiatr i jego pomiar w energetyce wiatrowej, [3.01.2016].
- [13] <http://riad.usk.pk.edu.pl/> Nowoczesne układy napędowe samochodów [21.01.2016].

- [14] <http://www.abengoa.com/web/en/novedades/solana/noticias/> [20.01.2016].
- [15] <http://www.eia.gov/> International Energy Statistics [12.01.2016].
- [16] <http://www.sunnyportal.com>, Publicly Available PV System, [16.07.2015].

SELECTION CRITERIA FOR MICROINSTALLATIONS PHOTOVOLTAIC MODULES

The paper presents the problem of generating energy in an environmentally friendly way. Attention was drawn to problems related to the use of some renewable energy sources. Been described methods of storing energy as technologies which can cooperate with the electricity network. Described energy storage which, because of their properties, have the potential to work and cooperate with photovoltaic installations and wind turbines.

(Received: 17. 02. 2016, revised: 5. 03. 2016)