

SŁAWOMIR CIEŚLIK

## STEROWANIE PRACĄ ELEKTROENERGETYCZNEJ SIECI ŚREDNIEGO NAPIĘCIA Z MAGAZYNAMI ENERGII

**STRESZCZENIE** *Od ostatniego przełomu stuleci zmieniło się wyobrażenie o pracy elektroenergetycznych sieci średniego napięcia. Przyczyną zmiany było umożliwienie przyłączania do niej jednostek wytwórczych, jako generacji rozproszonej. Aktualnym zagadnieniem jest możliwość przyłączania magazynów energii. W artykule podano przykład zastosowania magazynu energii w elektroenergetycznej sieci dystrybucyjnej, który współpracuje z jednostką wytwórczą generacji rozproszonej. Z uproszczonej analizy przypadku wynikają wstępne wytyczne do konstruowania algorytmów sterowania pracą elektroenergetycznej sieci średniego napięcia z magazynami energii.*

**Słowa kluczowe:** *generacja rozproszona, magazyny energii, praca sieci średniego napięcia*

**DOI:** 10.5604/01.3001.0013.0185

### 1. WPROWADZENIE

---

W Instytucie Inżynierii Elektrycznej Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy od ponad dwóch dekad prowadzone są badania naukowe dotyczące funkcjonowania systemów elektroenergetycznych, w tym z generacją rozproszoną. Wymiernym efektem prowadzonych badań jest bardzo duże zainteresowanie ze strony polskich operatorów systemów elektroenergetycznych. Zespół badawczy, pod kierunkiem autora niniejszego artykułu, wykonał już ponad sześćset różnego rodzaju opracowań technicznych i ekspertyz dotyczących funkcjonowania systemów elektroenergetycznych. Bezpośrednimi odbiorcami wyników tych prac byli praktycznie wszyscy polscy Operatorzy Systemów Dystrybucyjnych oraz Operator Systemu Przesyłowego (analizy pracy systemów elektroenergetycznych na każdym poziomie napięcia). Doświadczenia naukowo-techniczne Instytutu Inżynierii Elektrycznej w tym zakresie pozwalają na podejmowanie kolejnych wyzwań stawianych w rozwoju polskiego systemu elektroenergetycznego.

---

**dr hab. inż. Sławomir CIEŚLIK, prof. UTP**  
slavcies@utp.edu.pl

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy  
im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy, Instytut Inżynierii Elektrycznej  
Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, ISSN-0032-6216, LXV, zeszyt 280, 2018

W ostatnich dwóch dekadach nastąpiły znaczące zmiany w polskiej elektroenergetyce. Spowodowało to konieczność zmiany wyobrażenia o funkcjonowaniu systemów elektroenergetycznych, szczególnie w zakresie funkcjonowania elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych (rozdzielczych). W informatorze [1] (1977 r.) pod określeniem sieci elektroenergetycznych rozumie się, w ogólnym ujęciu, zestaw urządzeń i obiektów służących do przesyłania, transformowania i rozdzielania energii elektrycznej. Pod względem napięcia, wyróżnia się m.in. elektroenergetyczne sieci średnich napięć (od 1 do 60 kV). Podstawowe funkcje sieci rozdzielczych (dystrybucyjnych) polegają na przekazywaniu energii elektrycznej z głównych punktów zasilających (GPZ) do przyłączy poszczególnych odbiorców lub odbiorników.

W podręczniku [2] (2004 r.) podaje się definicję elektroenergetycznej sieci rozdzielczej jako zbiór urządzeń: linii napowietrznych, kablowych, stacji transformatorowo-rozdzielczych, łączników, dławików, kondensatorów oraz urządzeń pomocniczych, współpracujących ze sobą w celu realizacji zadania, jakim jest rozdział energii elektrycznej pomiędzy odbiorców.

Widać, że sama definicja elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych (rozdzielczych) nie zmieniła się. Nawet jej funkcjonalność, w ogólnym znaczeniu, można uznać za taką samą. Jednak wprowadzenie generacji rozproszonej powoduje, że w „głębi” sieci oprócz odbiorców lub odbiorników energii elektrycznej mamy wytwórców lub prosumentów energii elektrycznej. Wówczas istnieje możliwość przekazywania energii elektrycznej w tej samej sieci od wytwórców lub prosumentów do głównych punktów zasilających (GPZ). Z pewnością wpływa to na zarządzanie pracą takich sieci elektroenergetycznych.

Ustawa [3] wprowadza pojęcie klastra energii jako cywilnoprawne porozumienie, w skład którego mogą wchodzić osoby fizyczne, osoby prawne, jednostki naukowe, instytuty badawcze lub jednostki samorządu terytorialnego, dotyczące wytwarzania i równoważenia zapotrzebowania, dystrybucji lub obrotu energią z odnawialnych źródeł energii lub z innych źródeł lub paliw, w ramach sieci dystrybucyjnej o napięciu znamionowym niższym niż 110 kV, na obszarze działania tego klastra nieprzekraczającym granic jednego powiatu lub pięciu gmin. Obszarowe i strukturalne funkcjonalności klastrów, ale również konieczność zarządzania pracą sieci przez operatorów systemów dystrybucyjnych powoduje zwiększone zainteresowanie możliwościami sterowania pracą elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych, również na poziomie średniego napięcia.

Zwiększenie podatność sterowania pracą sieci, a w szczególności zwiększenie zakresów zmiennych decyzyjnych w formułowanych zagadnieniach optymalizacyjnych pracy sieci, możliwe jest przy zastosowaniu magazynów energii.

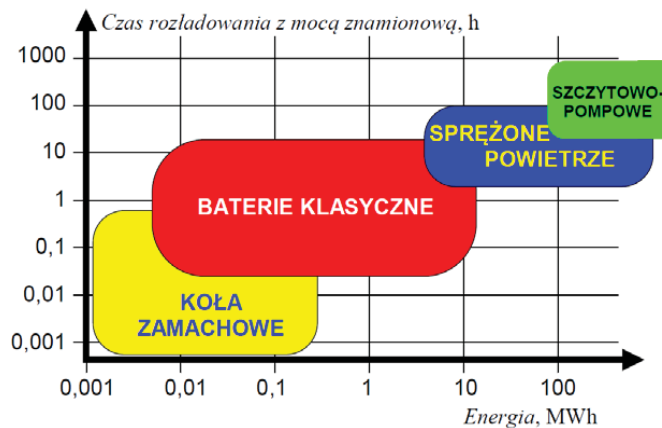
Wspomniane wyżej aspekty techniczne zmiany wyobrażenia o funkcjonowaniu współczesnych elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych są wzmacniane lub uzupełniane przez aktualne uwarunkowania formalno-prawne. W ustawie [4] procesy energetyczne definiowane są jako techniczne procesy w zakresie wytwarzania, przetwarzania, przesyłania, magazynowania, dystrybucji oraz użytkowania paliw lub energii. Natomiast magazyn energii jest to instalacja służąca do przechowywania energii, przyłączona do sieci i mająca zdolność do dostawy energii elektrycznej do sieci. W wykładni ustawy [3], magazyn energii jest to wyodrębnione urządzenie lub zespół urządzeń służących do przechowywania energii w dowolnej postaci, niepowodujących emisji będących obciążeniem dla środowiska, w sposób pozwalający co najmniej na jej

częściowe odzyskanie. Jak widać bliższa znaczeniu technicznemu magazynu energii jest definicja w ustawie [3]. Z pojęciem magazynu energii wiąże się instalacja zarządzania popytem [4], która rozumiana jest jako instalacja odbiorcy końcowego, której urządzenia umożliwiają zmianę profilu poboru energii elektrycznej na żądanie operatora systemu dystrybucyjnego, operatora systemu przesyłowego lub operatora systemu połączonego, na którą może składać się w szczególności magazyn energii, instalacja wytwórcza niewspółpracująca bezpośrednio z siecią lub punkt ładowania w kontekście elektromobilności. Magazynowanie energii, w wykładni ustawy [4] jest to świadczenie usług przechowywania energii w magazynie energii.

Rozwój technologii magazynowania energii na potrzeby pracy systemów elektroenergetycznych jest widoczny również w Polsce. Nie ma większego znaczenia, czy technologia idzie za rozwiązaniami formalno-prawnymi, czy odwrotnie, ważne jest to, że doświadczenia w tym zakresie w Polsce są coraz większe.

## 2. MAGAZYN Y ENERGII DO ZASTOSOWAŃ W ELEKTROENERGETYCZNYCH SIECIACH DYSTRYBUCYJNYCH

Definicje magazynu energii, w ujęciu formalno-prawnym, podano we wstępie. Wskazano, że w ustawie [3] definicja jest bliższa znaczeniu technicznemu magazynu energii. Mówiąc o magazynach energii przyłączanych do elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych, gdzie występuje napięcie przemienn e, w ujęciu obiektowym dopuszczalne jest rozumienie magazynu energii bliższe definicji w ustawie [4], mianowicie jako instalacja elektroenergetyczna o dwukierunkowym przepływie energii elektrycznej, zawierająca układ realizujący przemiany energetyczne o zdolnościach magazynowania energii. Na rysunku 1 przedstawiono, w postaci diagramu poglądowego, wybrane technologie magazynowania energii w kontekście czasu rozładowania magazynu i jego energii.



Rys. 1. Wybrane technologie magazynowania energii w kontekście czasu rozładowania magazynu i wartości energii (diagram poglądowy)

W kontekście zastosowania magazynów energii w elektroenergetycznych sieciach dystrybucyjnych najbardziej interesujące są technologie oparte na klasycznych bateriach. W tabeli 1 przedstawiono zestawienie podstawowych parametrów charakterystycznych wybranych elektrochemicznych technologii magazynowania energii.

**TABELA 1**

Zestawienie podstawowych parametrów charakterystycznych wybranych elektrochemicznych technologii magazynowania energii

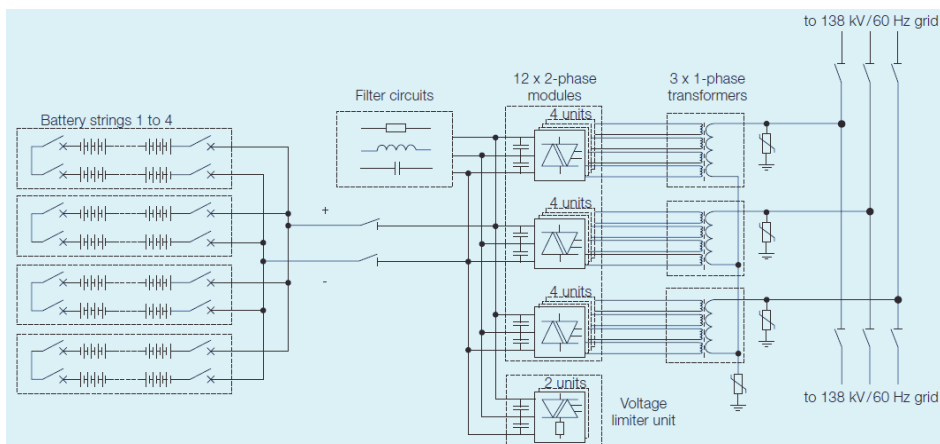
Technologie elektrochemiczne	kwasowo- ołowiane	litowo- jonowe	wanadowe redox	sodowo- siarkowe	niklowo- kadmowe
Moc, MW	pojedyncze	50	-	50	40
Energia, MWh	10	10	-	350	pojedyncze
Czas rozładowania, h	> 20	4	-	7	pojedyncze
Liczba cykli (przy % głębokości rozładowania)	200 – 300 (80%) 1000 – 2000 (70%) <sup>a)</sup>	8000 (80%)	10000 (75%)	4000 (100%)	4000 (100%)
Czas reakcji, ms	pojedyncze	pojedyncze	-	pojedyncze	pojedyncze
Sprawność, %	72 – 82	> 90	85	87	72 – 78
Gęstość energii, Wh/kg	30 – 50 25 <sup>a)</sup>	90 – 190	30 – 50	110	45 – 80
Samorozładowanie, %/miesiąc	2 – 5	1	znikome	0	5 – 20
Temperatura pracy, °C	-5 – 40	-30 – 60	0 – 40	300 – 350	-40 – 50

<sup>a)</sup> Dla ogniw kwasowo-ołowiowych głębokiego rozładowania.

Należy mieć świadomość, że zastosowanie takiego magazynu energii w sieci elektroenergetycznej jest możliwe tylko z zastosowaniem przekształtnika energoelektronicznego. W projektowaniu tego typu urządzeń stosuje się zasadę, że magazyn energii powinien być dobierany ze względu na sprawność (jak najwyższa sprawność energetyczna procesu magazynowania energii), przy mniejszej uwadze jeśli chodzi o zewnętrzne parametry elektryczne (np. napięcie, zarówno co do wartości, jak i rodzaju). Natomiast wysokosprawny przekształtnik energoelektroniczny pełni rolę interfejsu między magazynem energii a siecią elektroenergetyczną, do której jest przyłączony (dopasowanie elektryczne). W kontekście sterowania pracą sieci elektroenergetycznych z wykorzystaniem magazynów energii, do podstawowych funkcji przekształtnika należy dodać podatność na sterowanie w zakresie kształtowania praktycznie chwilowych wartości mocy czynnej i biernej.

### 3. PRZYKŁADY DZIAŁAJĄCYCH MAGAZYNÓW ENERGII

Przedsiębiorstwo Golden Valley Electric Association (GVEA) na Alasce w USA [5] utrzymuje ok. 5200 km linii przesyłowych i dystrybucyjnych, 35 podstacji i 8 urządzeń wytwórczych. Szczytowe obciążenie w 2017 roku wyniosło 206,1 MW. W grudniu 2003 r. uruchomiono magazyn energii, zbudowany na bazie akumulatorów (baterii) niklowo kadmowych. Na rysunku 2 przedstawiono schemat ideowy tego magazynu energii. Instalacja jest przyłączona do sieci o napięciu 138 kV. Zadaniem magazynu energii jest szybka reakcja w przypadku awarii związanej z generacją lub przesyłem energii elektrycznej. W tego typu przypadkach może pracować z mocą 27 MW przez 15 minut (max 40 MW przez krótszy czas). W 2017 r. magazyn energii zareagował na 72 wydarzenia.

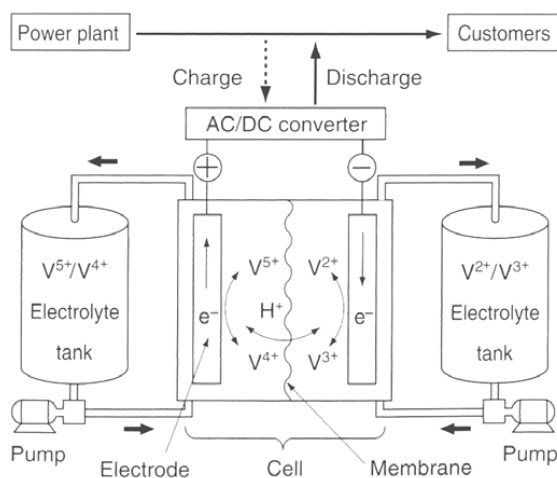


Rys. 2. Schemat ideowy instalacji magazynu energii Golden Valley Electric Association (GVEA) na Alasce w USA [6]

Głównymi elementami instalacji są: jedna z najpotężniejszych na świecie bateria akumulatorów niklowo-kadmowych (firma Saft) oraz przekształtnik energoelektroniczny (firma ABB). Bateria akumulatorów Alaskan BESS zawiera 13760 wysoko-wydajnych ogniw niklowo-kadmowych Saft SBH 920, rozmieszczonych w czterech równoległych ciągach, zapewniających nominalne napięcie obwodu pośredniego 5 kV i pojemność 3680 Ah. Komórki są wbudowane w 10-ogniwowe moduły do montażu w systemie regałów wjezdnych (między stojakami zapewniony jest dostęp do instalacji i serwisu dla wózka widłowego). Każda bateria jest mniej więcej wielkości dużego komputera i waży ok. 75 kg, natomiast łączna masa całego magazynu energii wynosi ok. 1500 ton. Przewidywany okres żywotności akumulatorów wynosi 20-30 lat. Koszt instalacji wyniósł ok. 35 mln. USD.

Kolejnym przykładem, już dotyczącym elektroenergetycznej sieci dystrybucyjnej średniego napięcia, jest magazyn energii w PacifiCorp (Portland, USA). Przedsiębiorstwo PacifiCorp prowadzi działalność w sześciu zachodnich stanach USA.

Od marca 2014 roku, w miejscowości Castle Valley (stan Utah) działa system magazynowania energii oparty na akumulatorach wanadowych redox (VRB-ESS™). Miejscowość zasilana jest elektroenergetyczną linią dystrybucyjną o napięciu 25 kV i długości ok. 137 km. Wanadowe baterie przepływowe redox magazynują energię w dwóch elektrolitach (rys. 3), które są pompowane z oddzielnych zbiorników do membrany wymiany protonów w stosach ogni, wytwarzając prąd stały.



**Rys. 3. Schemat ideowy działania magazynu energii opartego na akumulatorze wanadowym Redox [7]**

Reakcja jest odwracalna, dzięki czemu bateria może być wielokrotnie ładowana i rozładowywana z wysoką wydajnością. Magazyn może pracować z mocą 250 kW przez 8 godzin, ze sprawnością między 65% a 80%. System zawiera przekształtnik energoelektroniczny, który konwertuje prąd stały na prąd przemienny podczas rozładowania, i na odwrót podczas ładowania. Przekształtnik zapewnia dodatkowo kompensację mocy biernej.

Ta instalacja, podobnie jak opisana wyżej, ma podstawowe zadanie zwiększenie niezawodności i jakości dostaw energii elektrycznej.

#### 4. ZASTOSOWANIE MAGAZYNU ENERGII W POLSKIEJ SIECI ELEKTROENERGETYCZNEJ – – STUDIUM PRZYPADKU

Rozpatrzmy rzeczywistą elektroenergetyczną sieć dystrybucyjną zasilaną z klasycznego GPZ-u, wyposażonego w dwa transformatory elektroenergetyczne (16 MVA, 115/16,5 kV, Yd11), w normalnym układzie sieci pracujących na dwie sekcje. Obliczeniowa moc zwarciowa na szynach rozdzielni 110 kV tej stacji równa jest 1490 MVA. Nastawa napięcia ARN wynosi 15,9 kV.

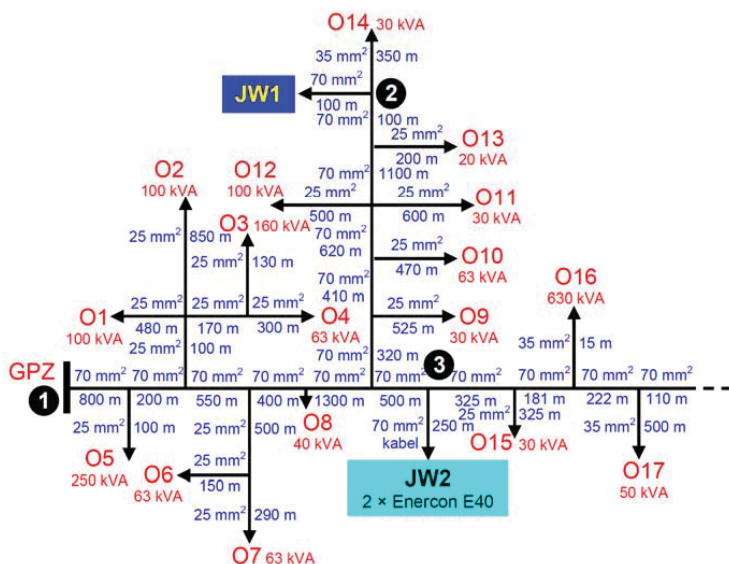
W ciągach liniowych wyprowadzonych z pierwszej sekcji przyłączone są trzy jednostki wytwórcze (3×Vestas V27, Enercon E82 oraz 2×Enercon E40). W ciągach

liniowych drugiej sekcji pracuje dwanaście jednostek wytwórczych (TW 500, Enercon E53,  $2 \times$  NTK 300,  $4 \times$  Enercon E33,  $3 \times$  Vestas V27,  $2 \times$  Enercon E40, Bonus 600 +  $2 \times$  Enercon E40, Enercon E82, Enercon E53,  $2 \times$  Enercon E40, Enercon E82 oraz Enercon E53). Do jednej linii, wyprowadzonej z pola liniowego sekcji drugiej planuje się przyłączyć kolejną jednostkę wytwórczą w postaci dwóch turbin wiatrowych Gamesa G58. Na rysunku 4 przedstawiono schemat ideowy fragmentu tej linii z zaznaczonym miejscem planowanego przyłączenia tej jednostki, oznaczonym jako JW1. Na rysunku widoczny jest również punkt przyłączenia jednostki wytwórczej JW2 ( $2 \times$  Enercon E40). Do tej linii przyłączone są jeszcze dwie jednostki wytwórcze: Enercon E53 oraz  $2 \times$  Enercon E40.

W Instytucie Inżynierii Elektrycznej opracowano model matematyczny całej rozpatrywanej elektroenergetycznej sieci dystrybucyjnej, z uwzględnieniem m.in. parametrów poszczególnych odcinków liniowych i profili obciążeń. Model ten był podstawą analizy pracy tej sieci z uwzględnieniem proponowanej do przyłączenia jednostki wytwórczej.

Jeżeli jednostką wytwórczą JW1, przyłączoną do węzła sieci oznaczonego numerem 2, są dwie turbiny wiatrowe Gamesa G58 o mocy znamionowej 850 kW (na wieżach o wysokości 71 m), to należy założyć pracę tych turbin, w stosunkowo długim czasie (np. kilka, nawet kilkanaście dni) z minimalną mocą ok. 20% mocy znamionowej, czyli 170 kW dla każdej turbiny. Jeżeli takie założenie okaże się nieprawdziwe, to absolutnie nie ma uzasadnienia ekonomicznego dla instalowania tego typu turbin wiatrowych gdziekolwiek.

Ze względu na napięcie w węzłach sieci (maksymalnie 16,5 kV), w węzle nr 2 (rys. 4) będzie możliwa generacja energii elektrycznej z mocą maksymalnie 590 kW przy  $\text{tg}\phi = 0,4_L$  (35% mocy znamionowej turbin wiatrowych). Jeżeli  $\text{tg}\phi = 0$  (w przypadku układu fotowoltaicznego lub magazynu energii), to wartość mocy przy generacji energii ograniczona będzie do 270 kW.



Rys. 4. Schemat ideowy fragmentu analizowanej sieci elektroenergetycznej

Zastosowanie magazynu energii w węźle nr 2 analizowanej sieci elektroenergetycznej, powoduje, że przy generacji energii elektrycznej z dwóch turbozespołów wiatrowych (pracujących z mocą minimalną, czyli w sumie 340 kW i  $\text{tg}\phi = 0,4$ ) możliwa jest generacja energii elektrycznej z magazynu z mocą maksymalnie 115 kW ( $\text{tg}\phi = 0$ ). Jednak ta wartość mocy nie jest równa mocy znamionowej tego magazynu energii. Moc magazynu energii przy rozładowywaniu musi być równa maksymalnej wartości mocy przy generacji energii w węźle nr 2, czyli 270 kW (praca magazynu w przypadku braku generacji z turbin wiatrowych).

Natomiast w przypadku mocy przy ładowaniu magazynu, należy przyjąć przypadek, w którym obie turbiny wiatrowe pracują z mocą znamionową (maksymalną), a wartość  $\text{tg}\phi$  jednostki wytwórczej (dwie turbiny wiatrowe, magazyn energii i urządzenia wyprowadzenia energii, np. transformator) nie może przekraczać 0,4. Wówczas, aby w węźle nr 2 nie przekroczyć dopuszczalnej wartości napięcia (16,5 kV), magazyn energii musi odbierać energię z mocą 1,18 MW.

Następnym ważnym aspektem jest uwzględnienie procesów przepływu energii elektrycznej w węźle nr 2. Do tej analizy niezbędne jest wykorzystanie profili obciążeń w sieci oraz profili mocy generacji energii. Ale na potrzeby studium przypadku, można nieco uprościć analizę. Załóżmy, że turbiny wiatrowe pracują z mocą znamionową przez cztery godziny na dobę. Wówczas z magazynu energii nie można generować energii, ale koniecznie (ze względu na poziomy napięcia w sieci) należy pobierać energię z określoną mocą. W czasie 4 godzin magazyn pobierze 4,72 MWh energii elektrycznej. Zatem w czasie jednej doby, z magazynu energii należy pobrać 4,01 MWh (uwzględniając sprawność na poziomie 85%). Czyli, aby wyładować tę energię magazyn powinien pracować w pozostałej części doby (20 godzin) z mocą 200 kW. Co ze względu na pracę turbin wiatrowych, przynajmniej z mocą 340 kW nie jest możliwe, ponieważ maksymalnie magazyn może w tym przypadku pracować z mocą 115 kW. Ten przykład pokazuje, że nie wnikając w parametry magazynu (głównie moc i pojemność), uzasadnienie jego zastosowania w celu umożliwienia pracy turbin wiatrowych jest wątpliwe. Praca turbin wiatrowych z mocą znamionową w węźle nr 2 rozpatrywanej sieci nie będzie możliwa. Jeżeli turbiny wiatrowe będą przez cztery godziny w dobie pracowały z mocą mniejszą od znamionowej, np. 80% mocy znamionowej, to magazyn musi pobierać energię elektryczną z mocą 303 kW, co w tym czasie daje energię równą 1,21 MWh. W czasie jednej doby z magazynu musi być pobrana energia równa 968 kWh, a zatem magazyn powinien przez pozostałe 20 godzin doby być rozładowywany z mocą równą 48 kW. Ale taka praca turbin wiatrowych nie ma szczególnego uzasadnienia ekonomicznego (uwzględniając nakłady inwestycyjne).

Zauważmy, że w przypadku, gdy jednostkę wytwórczą będzie stanowił układ fotowoltaiczny o takiej samej mocy znamionowej, to magazyn energii spełni swoją rolę z technicznego punktu widzenia (w znaczącej części doby nie ma generacji energii elektrycznej z układu PV i wówczas magazyn może być skutecznie rozładowywany).

Oczywiście przykład ten pokazuje również, że analiza pracy jednostki wytwórczej przyłączonej w danym węźle elektroenergetycznej sieci dystrybucyjnej nie może ograniczać się tylko do aspektów technicznych. Uwarunkowania techniczne są swego rodzaju warunkami ograniczającymi (krytycznymi) w całościowym wielokryterialnym zagadnieniu optymalizacyjnym.



## 5. PODSUMOWANIE

---

Wiele lat temu wiadomo było, że zwiększenie ilości pozyskiwanej energii elektrycznej ze źródeł energii odnawialnej jest możliwe dzięki rozsądnemu wykorzystaniu istniejącej infrastruktury elektroenergetycznej w polskich sieciach dystrybucyjnych do przyłączania generacji rozproszonej. Wprowadzenie magazynów energii elektrycznej do elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych nie zawsze będzie prowadziło do rozwiązania problemu technicznego. Praktycznie każdy przypadek wymaga szczegółowej analizy, również z uwzględnieniem aspektów ekonomicznych.

Przedstawiony w artykule przypadek, w kontekście sterowania pracą elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnych, pokazuje, że muszą być stworzone warunki techniczne i funkcjonalne do sterowania pracą poszczególnych elementów sieci. W przypadku magazynu energii konieczne jest sterowanie, w niektórych przypadkach nawet chwilowymi wartościami mocy czynnej i biernej w czterech kwadrantach.

### LITERATURA

1. Prokopek M., Ratajski J. (red.): Informator sieciowy. Wydawnictwa Przemysłu Maszynowego WEMA, Warszawa, 1977.
2. Kujszczyk S. (red.): Elektroenergetyczne sieci rozdzielcze. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2004.
3. Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r., o odnawialnych źródłach energii. Dz.U. 2015, poz. 478, z późniejszymi zmianami.
4. Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r., Prawo energetyczne. Dz.U. 1997, Nr 54, poz. 348, z późniejszymi zmianami.
5. Strona <http://www.gvea.com> (wrzesień, 2018).
6. De Vries T., McDowall J., Umbricht M., Linhofer G.: "Battery energy storage system for Golden Valley Electric Association", *ABB Review*, nr 1, 2004, s. 38-43.
7. Kamath H.: "VRB Energy Storage for Voltage Stabilization. Testing and Evaluation of the PacifiCorp Vanadium Redox Battery Energy Storage System at Castle Valley", Utah. Electric Power Research Institute, California, USA, March 2005.

A CONTROL OF MEDIUM VOLTAGE  
POWER NETWORKS WITH ENERGY STORAGE

Sławomir CIEŚLIK

**ABSTRACT** *Since the last turn of the century, the image of medium-voltage power networks operations has changed. The main reason for the change was to enable the generation units connection to it as a distributed generation. The current problem is the possibility of connecting energy stores. The article gives an example of the use of energy storage in the electric distribution network that operates with the generation unit as distributed generation. The simplified case analysis results in preliminary design algorithms for medium voltage power grid control with energy storages.*

**Keywords:** *distributed generation, energy storage, operation states of medium voltage network*