



Poradnik

MAGAZYNY ENERGII



**Magazyny energii
jako element
transformacji
systemu
energetycznego**

**Technologie
magazynowania
energii – rodzaje
baterii, metody
magazynowania**

**Magazyny energii
a prawo budowlane
– gdzie szukać
wytycznych?**

Adres redakcji
ul. Karczewska 18, 04-112 Warszawa
tel. 22 810 65 61
faks 22 810 27 42
redakcja@elektro.info.pl
www.elektro.info.pl

Reklama: Karolina Rosa, krosa@medium.media.pl,
Hanna Witkowska, hwitkowska@medium.media.pl,
Monika Piekut, mpiekut@medium.media.pl
Redakcja: Anna Kuziemska, Anna Gnioska

Grupa MEDIUM
Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością Sp.K.
ul. Karczewska 18, 04-112 Warszawa
tel. 22 810 21 24, faks 22 810 27 42
ISBN 978-83-64094-10-1

Wybrane metody magazynowania energii elektrycznej i ich zastosowanie w systemie elektroenergetycznym	4
Wyzwania nowoczesnej energetyki: kable do instalacji OZE i magazynów energii	8
Magazynowanie energii w zasilaczach UPS	10
Ekonomia i zwrot z inwestycji w połączeniu z bezpieczeństwem obciążenia	16
Rola magazynów energii w sieciach smart grid	18
Sposoby odzyskiwania oraz magazynowania energii w aplikacjach elektromobilnych i zasilania gwarantowanego – przegląd wybranych metod i perspektywy rozwoju	22
Współpraca instalacji fotowoltaicznej i magazynu energii w trybie harmonogramu czasowego – analiza przepływów mocy	26
Technologia fotowoltaiczna – kierunki rozwoju, możliwości optymalizacji i magazynowania energii	30
Układy magazynowania energii i zwiększania niezawodności zasilaczy UPS	36
Magazyn energii w spółdzielni energetycznej – sposób na oszczędności	40
Magazyny energii jako element transformacji systemu energetycznego (część 1–3)	42
Może jednak magazynować?	54
Ochrona odgromowa i przeciwprzepięciowa magazynów energii	58
Bezpieczeństwo pożarowe magazynów energii baterii litowo-jonowych	62
Współpraca generatora fotowoltaicznego z magazynem energii	64
Socomec prezentuje nowe magazyny energii dla dużych mocy do montażu na otwartym powietrzu	68
Współpraca stacji ładowania pojazdów elektrycznych z magazynem energii i instalacją fotowoltaiczną	70
Nowa rodzina zasilaczy PowerWalker UPS VFI EVS 5 kVA z magazynami energii	76
Koncepcja hybrydowego inwertera PV współpracującego z magazynem energii dla mikroinstalacji o mocy do 50 kW	80
Katalog firm	84



Systemy połączeń dla magazynów energii

Dziś każdy stara się utrzymać zrównoważony rozwój, z poszanowaniem dla zasobów naturalnych i środowiska. Jednym z jego elementów jest maksymalizacja wykorzystania zielonej energii.

Bez magazynów będzie to trudne. Phoenix Contact, jako lider w technologii połączeń, ma odpowiednie rozwiązania także dla tego obszaru aplikacji!

Projektujesz lub produkujesz urządzenia elektroenergetyczne?

Skontaktuj się z nami i zobacz jak możemy Ci pomóc!

Odwiedź www.strefaelektronika.com

i zapoznaj się z naszą ofertą



Wybrane metody magazynowania energii elektrycznej i ich zastosowanie w systemie elektroenergetycznym

Energia elektryczna jest najbardziej uniwersalnym nośnikiem energii, łatwość przyłączenia i zastosowania w praktycznie dowolnym czasie, możliwości przetwarzania jej na inne formy energii stanowią o dużym za-

STRESZCZENIE

Dotychczasowy brak możliwości magazynowania dużych ilości energii elektrycznej jest podstawową przyczyną ukształtowania sektora elektroenergetycznego w obecnej, scentralizowanej formie. W artykule przedstawiono dostępne obecnie technologie i konieczne do podjęcia działania, aby magazynowana w systemie energia mogła wzrosnąć, przedstawiono również szacunkowe koszty takich inwestycji.
Słowa kluczowe: magazynowanie energii, magazyny energii, energia elektryczna, koszt instalacji.

interesowaniu odbiorców pobieraniem energii w postaci elektryczności. Jednak energia w postaci elektryczności jest trudna do magazynowania w dużych ilościach, dlatego częściej znajduje zastosowanie magazynowanie energii w innej postaci i potem ponowne jej przetworzenie w energię elektryczną przy pobieraniu z magazynu.

Magazyn energii

Magazyn energii elektrycznej można scharakteryzować za pomocą:
» parametrów technicznych (m.in. moc układu, ilość magazynowanej energii, czas potrzebny do pełnego naładowania, czas potrzebny do częściowego naładowania np. 80% po-

jemności znamionowej, czas samorozładowania, sprawność pełnego cyklu, powierzchnia zajmowana przez instalację, gęstość energii, okres eksploatacji, sposób przyłączenia do systemu (elektro)energetycznego, poziom niezawodności, stopień zaawansowania technologii, możliwość ewentualnej rozbudowy);
» parametrów ekonomicznych (m.in. koszty inwestycyjne i eksploatacyjne, jednostkowe i całkowite);
» parametrów ekologicznych (m.in. wpływ na środowisko);
» parametrów społecznych (m.in. akceptacja dla technologii i inwestycji).
Więcej informacji na temat magazynów energii, stosowanych technologii i zastosowań maga-

Technologia	Zakres energii, w [MWh], i mocy, w [MW]	Czas pracy sprawność, w [%]	Liczba cykli Czas życia [lata]	Zalety	Wady
Elektrownie szczytowo-pompowe	> 1000 300 ÷ 3000	6 ÷ 12 h 80 ÷ 85	Nieograniczona > 60	Znana od lat, wielkoskalowe, ekonomiczne	Niska gęstość energii, ograniczone lokalizacje, wpływ na środowisko
Sprężone powietrze w szczelinach skalnych	> 1000 50 ÷ 180	8 ÷ 13 h 40 ÷ 75	Nieograniczona 20 ÷ 30	Niski koszt, regulacja pojemności, duża skala	Struktura geologiczna, niska gęstość energii, konieczność podgrzewania powietrza, np. gazem
Baterie sodowo-siarkowe	5 ÷ > 1000 1 ÷ 50	6 ÷ 8 h 70 ÷ 90	2500 ÷ 4500 5 ÷ 15	Wydajność, duża gęstość energii i cykli pracy	Niebezpieczne, wymagają podgrzewania
Ogniwa wanadowe	< 250 1 ÷ 100	3 ÷ 5 h 65 ÷ 75	> 10000 15 ÷ 20	Niezależne skalowanie mocy i energii	Drogie
Ogniwa cynkowo-bromowe	< 250 1 ÷ 100	1 ÷ 5 h 60 ÷ 70	> 10000 20		
Akumulatory kwasowo-ołowiowe VRLA	10 ÷ 20 1 ÷ 50	2 ÷ 4 h 85 ÷ 90	1500 ÷ 5000 3 ÷ 15	Znana technologia, wysoka gęstość energii	Wpływ na środowisko, niska liczba cykli
Akumulatory kwasowo-ołowiowe	< 250 1 ÷ 50	1 min ÷ 8 h 90 ÷ 94	4500 ÷ 10000 5 ÷ 15	Wysoka gęstość energii	wysoki koszt
Akumulatory litowo-jonowe	1 ÷ 25 < 100	1 min ÷ 8 h 85 ÷ 98	1000 ÷ > 10000 10 ÷ 20	Znana technologia, wysoka gęstość energii	Bardzo wysoki koszt, niebezpieczne
Superkondensatory	mała energia < 1	milisekundy ÷ 1 h 80 ÷ 98	bardzo duża 8 ÷ > 20	Wysoka gęstość mocy, wydajne, bardzo krótki czas odpowiedzi	Niska gęstość energii, wysoki koszt na jednostkowy, zmienne napięcie
Koła zamachowe	< 5 < 20	Milisekundy ÷ 0,25 h 85 ÷ 95	> 100000 15 ÷ 20	Wysoka gęstość mocy, wydajne, szybki start, niski koszt obsługi, skalowalne	Wysoki koszt inwestycji, niska energia, wysoki stopień samorozładowania

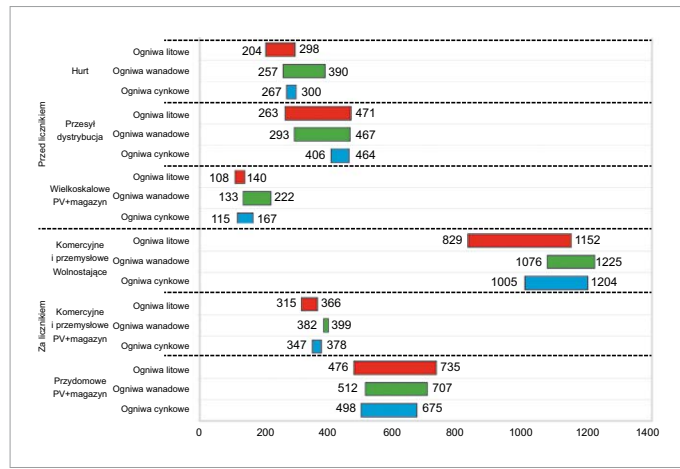
Tab. 1. Dostępne technologie magazynowania energii [2]

Cel zastosowania	Opis wymagań/funkcji	Preferowane technologie
Regulacja częstotliwości, napięcia, mocy czynnej i biernej w systemie elektroenergetycznym	Bardzo szybka odpowiedź magazynu energii na zmieniające się warunki, bardzo krótki czas wejścia do pracy i stosunkowo duża pojemność	Baterie akumulatorów sodowo-siarkowych, baterie akumulatorów niklowo-kadmowych
Powiększenie rezerwy systemowej	Duża pojemność	Baterie akumulatorów kwasowo-ołowiowych, baterie akumulatorów niklowo-kadmowych
Wsparcie dla rynku bilansującego	Regulacja	Ogniwa paliwowe SOFC (Solid Oxide Fuel Cells), baterie akumulatorów kwasowo-ołowiowych, pneumatyczne zasobniki energii, elektrownie wodne pompowe
Wyrównywanie obciążenia elektrycznego systemu	Poprawa współczynnika wykorzystania mocy zainstalowanej	Baterie akumulatorów sodowo-siarkowych, pneumatyczne zasobniki energii, elektrownie wodne pompowe
Usprawnienie procesów sterowania przesyłem energii	Kontrola poziomów napięcia	Baterie akumulatorów sodowo-siarkowych, nadprzewodzące zasobniki energii
Rozruch elektrowni po dużej awarii systemowej		Pneumatyczne zasobniki energii, elektrownie szczytowo-pompowe, baterie akumulatorów kwasowo-ołowiowych, baterie akumulatorów niklowo-kadmowych
Poprawa stabilności systemów przesyłowych i dystrybucyjnych	Poprawa zdolności przesyłowych	Baterie akumulatorów sodowo-siarkowych, nadprzewodzące zasobniki energii
Przesunięcie inwestycji sieciowych w czasie	Właściwe usytuowanie zasobnika energii w systemie może odwlec w czasie potrzebę przeprowadzenia inwestycji związanych z dostosowaniem możliwości technicznych systemu elektroenergetycznego do wzrastającego zapotrzebowania na energię elektryczną	Baterie akumulatorów kwasowo-ołowiowych, baterie akumulatorów sodowo-siarkowych, ogniwa paliwowe
Usprawnienie możliwości sterowania OZE	Łatwa integracja z systemem elektroenergetycznym, stabilizacja pracy, łagodzenie negatywnych zjawisk charakterystycznych dla niestabilnej generacji	Superkondensatory, kinetyczne zasobniki energii, technologie bateryjne
Usprawnienie pracy układów hybrydowych		Kinetyczne zasobniki energii, technologie bateryjne, pneumatyczne zasobniki energii
Kompensacja nadwyżek i niedoborów energii produkowanej przez duże generacje bazujące na OZE	wsparcie dla lokalnych sieci dla rynku bilansującego	Technologie bateryjne, pneumatyczne zasobniki energii, średnio- i wysokotemperaturowe ogniwa paliwowe
Utrzymanie i poprawa parametrów jakościowych energii elektrycznej	Kompensacja wyższych harmonicznych	Superkondensatory, kinetyczne zasobniki energii, nadprzewodzące zasobniki energii
Pokrywanie szczytowego zapotrzebowania na energię		Baterie akumulatorów kwasowo-ołowiowych, baterie Redox, baterie akumulatorów niklowo-kadmowych
Zwiększenie niezawodności i pewności zasilania		Baterie Redox, kinetyczne zasobniki energii, baterie akumulatorów kwasowo-ołowiowych

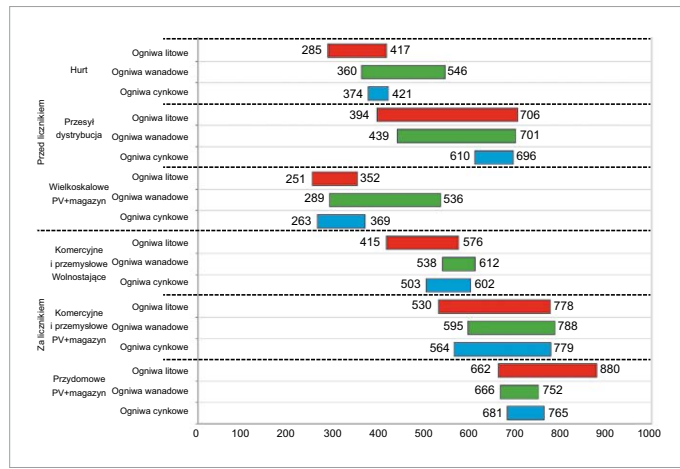
Tab. 2. Technologie magazynowania energii w zależności od ich zastosowania

Zastosowanie	Rodzaj energii	Wielkość, w [MW]	Czas rozładowywania	Typowa liczba cykli pracy	Czas odpowiedzi
Przechowywanie sezonowe	Elektryczna, ciepła	500 ÷ 2 000	Dni, miesiące	1 ÷ 5 rocznie	Dzień
Arbitraż	Elektryczna	100 ÷ 2 000	8 ÷ 24 h	0,25 ÷ 1 dziennie	> 1 h
Regulacja częstotliwości	Elektryczna	1 ÷ 2 000	1 ÷ 15 min	20 ÷ 40 dziennie	1 min
Podążanie za pobytem	Elektryczna, ciepła	1 ÷ 2 000	15 min ÷ 1 dzień	1 ÷ 29 dziennie	< 15 min
Wsparcie napięcia	Elektryczna	1 ÷ 40	1 s ÷ 1 min	10 ÷ 100 dziennie	Milisekundy, sekundy
Rozruch	Elektryczna	0,1 ÷ 400	1 ÷ 4 h	< 1 dziennie	< 1 h
Odciążenie sieci	Elektryczna, ciepła	10 ÷ 500	2 ÷ 4 h	0,14 ÷ 1,25 dziennie	> 1 h
Odroczenie inwestycji	Elektryczna, ciepła	1 ÷ 500	2 ÷ 5 h	0,75 ÷ 1,25 dziennie	> 1 h
Redukcja pików	Elektryczna, ciepła	0,001 ÷ 1	Minuty, godziny	1 ÷ 29 dziennie	< 15 min
Poza siecią (off-grid)	Elektryczna, ciepła	0,001 ÷ 0,01	3 ÷ 5 h	0,75 ÷ 1,5 dziennie	< 1 h
Integracja źródeł (OZE)	Elektryczna, ciepła	1 ÷ 400	1 min do kilku godzin	0,5 ÷ 2 dziennie	< 15 min
Ciepło odpadowe	Ciepła	1 ÷ 10	1 h ÷ 1 dzień	1 ÷ 20 dziennie	< 10 min
Kogeneracja	Ciepła	1 ÷ 5	Minuty, godziny	1 ÷ 10 dziennie	< 15 min
Rezerwa ukryta	Elektryczna	10 ÷ 2 000	15 min ÷ 2 h	0,5 do 2 dziennie	< 15 min

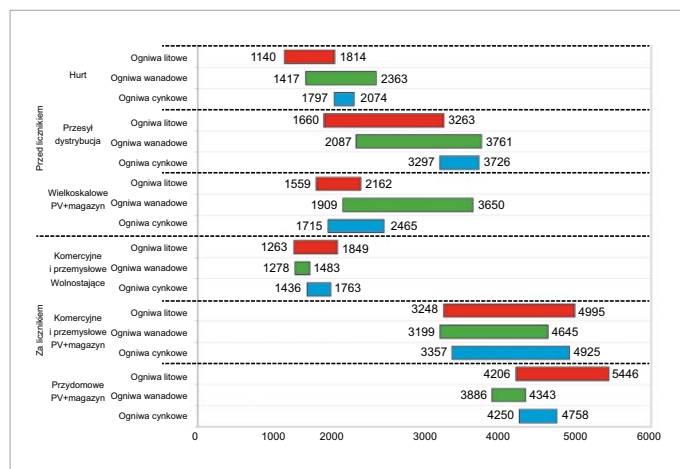
Tab. 3. Zapotrzebowanie na magazynowanie energii w zależności od przeznaczenia na podstawie [4]



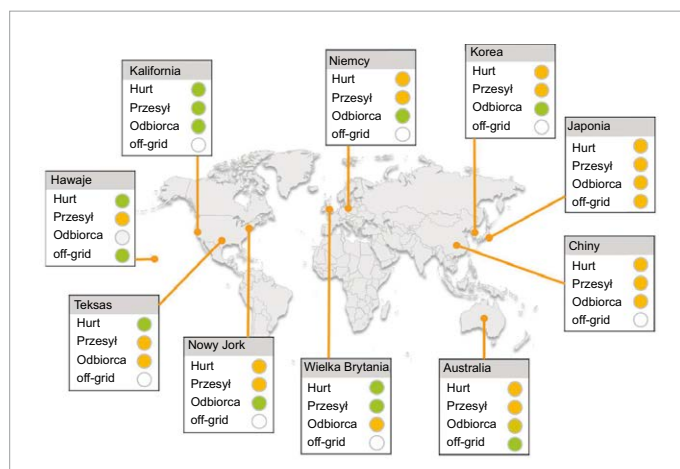
Rys. 1. Porównanie kosztów magazynowania energii w przeliczeniu na ilość możliwej do zmagazynowania energii [USD/MWh] na podstawie [5]



Rys. 2. Porównanie kosztów magazynowania energii w przeliczeniu na czas magazynowania mocy znamionowej [USD/(kW*rok)] na podstawie [5]



Rys. 3. Porównanie kosztów instalacji magazynujących energię w przeliczeniu na znamionową moc magazynu [USD/kW] na podstawie [5]



Rys. 4. Stan rozwoju magazynowania energii dla wiodących rynków na świecie [2]

zynów energii elektrycznej i ciepła można znaleźć w miesięczniku „elektro.info” 6/2020 [1].

W tabeli 1. zestawiono dostępne obecnie główne technologie umożliwiające magazynowanie energii elektrycznej wraz z ich charakterystyką, a w tabeli 2. przedstawiono preferowane technologie magazynowania energii w zależności od ich głównego przeznaczenia w systemie elektroenergetycznym. W tabeli 3. pokazano wymagania dla podstawowych parametrów jakościowych i ilościowych zmagazynowanej energii w zależności od zastosowania.

Przedstawiając zagadnienie magazynowania energii w systemie należy wspomnieć również o usługach DSR (Demand Side Response), stanowiących częściowo alternatywę dla magazynowania energii elektrycznej. DSR to dobrowolne i czasowe obniżenie przez odbiorców zużycia energii elektrycznej lub przesunięcie w czasie jej poboru na polecenie operatora systemu w zamian za oczekiwane wynagrodzenie. DSR przyczynia się do zachowania stabilności w systemie elektro-

energetycznym w przypadku wystąpienia trudnej sytuacji bilansowej, w szczególności w godzinach szczytowego zapotrzebowania na energię elektryczną. Stroną popytową są odbiorcy energii, a ich reakcją jest zmniejszenie własnego zapotrzebowania na energię elektryczną na wezwanie operatora systemu przesyłowego. Przykłady zastosowania DSR potwierdziły zalety tego typu usług wskazując m.in. na ich: przewidywalność, efektywność, elastyczność i niezawodność, jako narzędzia stabilizującego system elektroenergetyczny. Wdrożenie usługi DSR pozwoliło w wielu przypadkach ograniczyć konieczność budowy kolejnych, nowych źródeł wytwórczych. Pionierami pod tym względem były: Wielka Brytania, Irlandia, Francja, Belgia, Szwajcaria i Finlandia.

Zastosowanie magazynowania pozwoliło by na ograniczenie konieczności korzystania z usług DSR.

Koszty magazynowania energii

Na rysunkach 1–3 zestawiono szacunkowe koszty instalacji magazynujących ener-

gię w zależności od ich usytuowania i przeznaczenia w sieci dla układów z wykorzystaniem ogniw elektrochemicznych, przy czym rysunek 1. przedstawia koszt magazynowania energii w przeliczeniu na moc magazynu, rysunek 2. w przeliczeniu na czas magazynowania mocy znamionowej, a rysunek 3. koszt inwestycji w przeliczeniu na moc magazynu. Jak wynika z zestawień, instalacje małej mocy nie muszą być najdroższe (w przeliczeniu na magazynowaną energię) jeżeli chodzi o koszt budowy, jednak przechowywanie w ich energii w czasie charakteryzuje się wyższym kosztem. Nie jest to jednak krytyczne dla rozwoju tych instalacji, ponieważ w małej skali energia przechowywana jest głównie krótkookresowo. Budowanie w technologii z zastosowaniem ogniw elektrochemicznych przydomowych długookresowych magazynów energii elektrycznej byłoby jednak nieoptymalne ze względu na koszt, korzystniej w celu długiego przechowywania byłoby zmagazynować energię w instalacjach wielkoskalowych lub w innej postaci.

Kierunki rozwoju

Magazynowanie energii będzie odgrywało kluczową rolę w zwiększaniu udziału w rynku źródeł zero i niskoemisyjnych, zwiększając istotnie elastyczność sieci na wahania poboru mocy po stronie odbiorcy, eliminując po stronie wytwórcy konieczność podążania za profilem poboru odbiorcy. Międzynarodowa Agencja Energetyczna (IEA) szacuje, że ograniczenie globalnego ocieplenia do poniżej 2°C będzie wymagało zwiększenia globalnie zainstalowanej zdolności magazynowania energii ze 140 GW w 2014 r. do 450 GW w 2050 r. [3]. Stosując więcej magazynowania energii, UE może zmniejszyć import energii i surowców energetycznych, poprawić wydajność systemu energetycznego i utrzymać niskie ceny poprzez lepszą integrację zmiennych odnawialnych źródeł energii.

Aby sprostać temu wyzwaniu, należy w pierwszej kolejności:

- » dokonać analizy procesów związanych z różnymi cyklami pracy, aby umożliwić konserwację predykcijną, zwiększoną niezawodność oraz ulepszone projekty i procesy produkcyjne;
 - » przeprowadzić badania integracji systemu, koncentrując się na tym, w jaki sposób można połączyć gaz, elektryczność, ciepło i inną infrastrukturę (np. ładowarki samochodów elektrycznych, stacje paliw) oraz uzupełnić magazynowanie gazu, energii elektrycznej, ciepła i / lub paliw;
 - » prowadzić działania demonstracyjne, przede wszystkim w jaki sposób magazynowanie energii może świadczyć usługi energetyczne i zarabiać na wartości dodanej systemu energetycznego;
 - » wykazać efektywne wykorzystanie urządzeń do magazynowania energii nie tylko z technicznego, ale również z ekonomicznego punktu widzenia, które ułatwiłoby ich wdrożenie, uwzględniając instalacje do magazynowania energii w każdym miejscu w sieci w celu ustalenia, w którym punkcie magazynowania energii w sieci można zapewnić różne zastosowania w najbardziej opłacalny sposób;
 - » inicjować i realizować nowe projekty technologii magazynowania energii i technologii hybrydowych;
 - » analizować wymagania dotyczące optymalnej integracji.
- Na rysunku 4. przedstawiono dla wybranych lokalizacji stopień zaawansowania wdrażania komercyjnych technologii magazynowania energii w zależności od miejsca magazynu energii w systemie. Polska oraz część krajów Unii Europejskiej

dysponują obecnie personelem o specjalistycznych kwalifikacjach oraz różnorodnością badanych technologii i prowadzonych projektów pilotażowych. Technologie te oparte są często na magazynowaniu energii pochodzącej z odnawialnych źródeł, patrz „elektro.info” 6/2020 [1]. Do głównych impulsów wpływających korzystnie na rozwój magazynowania energii należą: dobra pozycja na arenie międzynarodowej, prowadzone prace badawczo-rozwojowe, dobrze wyszkolona kadra, różne pola zastosowań technologii magazynowania energii, wiele dostępnych technologii, rosnący udział energii odnawialnej w całości wytwarzanej energii, rosnąca konkurencja. Również rozpoczęta budowa dużych farm wiatrowych na Bałtyku powinna wpłynąć korzystnie na wzrost rynku magazynowania energii w Polsce.

Podsumowanie

Widoczny w ostatnich latach wzrost produkcji energii zarówno elektrycznej, jak i ciepłej pochodzących z odnawialnych źródeł oraz rozbudowa sieci pojazdów elektrycznych wymuszają potrzebę stosowania wydajnych, niezawodnych i ekonomicznych rozwiązań w zakresie magazynowania energii. Zastosowanie technologii i działań przedstawionych w tym artykule może przyczynić się w wydatnym stopniu do poprawy sytuacji.

Literatura

1. T. Bakoń, Technologie magazynowania i zastosowanie magazynów energii, „elektro.info” 6/2020, ss. 60–64
2. C. Christiansen, B. Murray, Energy Storage Study, Australian Renewable Energy Agency, Sydney, 2015.
3. IEA, Technology Roadmap – Energy Storage, International Energy Agency, Paris, 2014.
4. IEA, Energy Technology Perspectives, International Energy Agency, Paris, 2014.
5. Lazard, Lazard's levelized cost of storage analysis, ver. 4.0, 2018.

ABSTRACT

Selected energy storage methods and their application in the power system

The current inability of electricity store in large amounts is the basic reason for shaping the electricity sector in its centralized current form. This article presents the currently available technologies and actions necessary to be taken in the near future to increase the energy stored in the system, as well as the estimated costs of such investments.

Keywords: energy storage, electric power, installation cost.

**ZAMÓW LUB
PRZEDŁUŻ
PRENUMERATĘ,
DOSTANIESZ
GRATIS EBOOK!**



MOŻESZ KUPIĆ TEŻ SAM E-BOOK
Badania instalacji elektrycznych niskiego napięcia – **35 zł**

PRENUMERATA PAPIER:

ROCZNA: 204 zł

DWULETANIA: 360 zł

**PÓŁROCZNA/
EDUKACYJNA: 122 zł**

PRENUMERATA PDF:

ROCZNA: 183 zł

DWULETANIA: 324 zł

Zamówienia:

WYDAWNICZY.PL

Wyzwania nowoczesnej energetyki: kable do instalacji OZE i magazynów energii

Dynamiczny rozwój odnawialnych źródeł energii (OZE) oraz technologii magazynowania energii elektrycznej wymaga od inżynierów i producentów coraz bardziej zaawansowanych rozwiązań. Aby cała instalacja działała wydajnie i bezawaryjnie, niezbędne jest zastosowanie odpowiedniego okablowania, które zagwarantuje bezpieczny przesył energii – nawet w najbardziej wymagającym środowisku.

Niezawodność w wymagających warunkach z Drut-Plast Cables

Wielkoskalowe magazyny energii pracują przy bardzo wysokich natężeniach prądu stałego (DC), co stawia szczególne wymagania wobec stosowanych rozwiązań kablowych. Odpowiedzią na te wyzwania jest oferta polskiego producenta – Drut-Plast Cables. Wieloletnie doświadczenie firmy zaowocowało opracowaniem specjalistycznej serii kabli DPCpower, zaprojektowanej z myślą o niezawodnej pracy w wymagających warunkach sektora zielonej energii.

Kluczowe właściwości serii DPCpower:

- » **Izolacja XLPE** – wykorzystanie polietylenu usieciowanego podnosi dopuszczalną temperaturę pracy żyły aż do **90°C**, co daje znaczną przewagę nad tradycyjnymi izolacjami z PVC,
- » **Bezpieczeństwo pożarowe** – zewnętrzna powłoka z niepalnego polwinitu (zgodna z normą PN-EN 60332-3-24) odporna na rozprzestrzenianie płomieni. Jest to parametr absolutnie kluczowy, szczególnie w magazynach energii.

Cztery warianty DPCpower – precyzyjne dopasowanie do instalacji

Drut-Plast Cable przygotował cztery warianty przewodów, co pozwala na idealne dobranie kabla do specyfiki konkretnego projektu.

- » **DPCpowerFlex® FR 1,8/3 (3,6) kV** – model z giętkimi żyłami miedzianymi (klasy 5). Doskonali wybór do miejsc o ograniczonej przestrzeni, gdzie liczy się maksymalna elastyczność i odporność na częste zginanie.

» **DPCpowerFlex® FR DC 1,5/1,5 (1,8) kV (DC)** – specjalistyczna wersja przeznaczona do systemów prądu stałego (DC) o podwyższonych parametrach napięciowych. Podobnie jak wariant podstawowy, zachowuje wysoką elastyczność dzięki giętkim żyłom miedzianym.

» **DPCpower FR 1,8/3 (3,6) kV** – przewód z miedzianymi żyłami klasy 2. Zaprojektowany z myślą o stabilnych, nieruchomych instalacjach energetycznych.

» **DPCpower FRAL 1,8/3 (3,6) kV** – wersja z żyłami aluminiowymi (klasy 2), co pozwala na znaczną redukcję wagi samego kabla. To optymalne rozwiązanie do stałych tras kablowych, w których priorytetem jest wysoka przewodność prądu i odporność na przeciążenia.

Wszechstronne zastosowanie

Kable z rodziny DPCpower oraz DPCpowerFlex® zostały zaprojektowane tak, aby sprostać najwyższym normom rynkowym. Ich główne obszary zastosowań to:

- » przesył mocy z instalacji OZE,
- » standardowy przesył energii elektrycznej,
- » montaż w kanałach kablowych, na konstrukcjach nośnych oraz w miejscach o niskim ryzyku uszkodzeń mechanicznych,
- » aplikacje zewnętrzne i wewnętrzne, a także układanie bezpośrednio w ziemi,
- » praca zarówno w środowisku suchym, jak i o podwyższonej wilgotności.



Krok w stronę stabilnej transformacji energetycznej

Rozwiązania oferowane przez Drut-Plast Cables idealnie wpisują się w globalny trend transformacji energetycznej. W erze rosnącego zapotrzebowania na prąd i konieczności jego efektywnego magazynowania, wybór najwyższej klasy przewodów to inwestycja w niezawodność całej infrastruktury. Solidne okablowanie bezpośrednio przyczynia się do budowy bezpiecznego i stabilnego systemu elektroenergetycznego na lata.

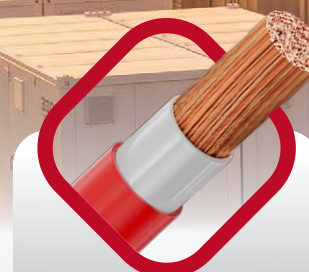


DRUTPLAST CABLES

Drut-Plast Cables Sp. z o.o.
61-719 Poznań
Gen. T. Kutrzeby 16G/137
tel. +48 888 240 515
oferty@drutplast.com.pl
www.drutplast.com.pl



Specjalistyczne rozwiązania wspierające transformację energetyczną



DPCpowerFlex® FR 1,8/3 (3,6) kV



DPCpowerFlex® FR DC 1,5/1,5 (1,8) kV (DC)



DPCpower FR 1,8/3 (3,6) kV



DPCpower FR AL 1,8/3 (3,6) kV

Efektywność przesyłu: Odpowiedź na rosnące zapotrzebowanie i wyzwania związane z magazynowaniem energii.
Fundament niezawodności: Inwestycja w najwyższej klasy przewody to gwarancja ciągłości pracy.
Bezpieczeństwo na lata: Solidna infrastruktura jako baza stabilnego systemu elektroenergetycznego.
Gwarancja jakości: Okablowanie, które minimalizuje ryzyko i zwiększa wydajność inwestycji.

KABELE DO MAGAZYNÓW ENERGII

Zapytaj o ofertę oferty@drutplast.com.pl

www.drutplast.com.pl

dr inż. Marta Żurek-Mortka, mgr inż. Karol Kuczyński

Magazynowanie energii w zasilaczach UPS

Kluczowym elementem dla wszystkich aplikacji krytycznych jest gwarancja ciągłości zasilania. Przerwy w zasilaniu trwające od kilku sekund do kilku minut mogą spowodować zakłócenia generujące straty produkcyjne oraz wzrost kosztów w przypadku procesów technologicznych wrażliwych na krótkotrwałe przestoje. W celu nieprzerwanego dostarczania energii stosowane są zasilacze UPS (ang. *Uninterruptible Power Supply*), które zapewniają zasilanie odbiorników nawet do kilku godzin, wykorzystując energię zasobników. Czas nieprzerwanego zasilania podczas przerwy w dostawie energii z sieci elektroenergetycznej jest uzależniony od pojemności zastosowanych akumulatorów oraz zapotrzebowania mocy przez zasilane odbiorniki. W celu zapewnienia dużej dostępności i wydłużonego okresu pracy zasilacza UPS, musi być on chroniony za pomocą wydajnego systemu do przechowywania energii, który charakteryzuje się krótkim czasem ładowania, brakiem konieczności przeprowadzania częstych przeglądów konserwacyjnych oraz ciągłym monitorowaniem [1, 2].

Istotną kwestią jest wybór odpowiedniego zasilacza UPS do konkretnego przypadku, w którym ma być zastosowany. Należy przy tym uwzględnić m.in. rozmieszczenie odbiorników w obiekcie, czas podtrzymania pracy poszczególnych odbiorników, ich układ połączeń czy przeanalizować sytuacje awaryjne, okresowe wyłączenia urządzeń do przeglądów i konserwacji. Po wyliczeniu mocy zapotrzebowanej przez odbiory należy dobrać moc UPS-a, topologię jego wykonania oraz dokonać wyboru baterii akumulatorów (zasobników energii) do wymaganego czasu podtrzymania pracy od-

biorników. Szczegółowe informacje dotyczące doboru zasilacza UPS przedstawiono w [2].

W celu zapewnienia bezpieczeństwa i poprawnej pracy obiektów o znaczeniu krytycznym, stawiane są wysokie wymagania zasilaczom UPS, które muszą być niezawodne i odporne na ekstremalne warunki pracy. Wymagania dotyczące zastosowania zasilaczy UPS w centrach telekomunikacyjnych oraz na potrzeby urządzeń przeciwpożarowych przedstawiono w [2, 6].

Wybrane zagadnienia związane z parametrami jakości energii elektrycznej w układach z zasilaczami UPS opisano w artykule [5], w którym odniesiono się do obowiązujących norm i wymagań, szczególnie dotyczących parametrów jakości napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych oraz wymaganych poziomów odporności urządzeń na zmiany zasilania.

Magazynowanie energii

Wysoka niezawodność systemu zasilania gwarantowanego (na poziomie 99,999%) zależy głównie od jakości i typu zastosowanego zasobnika energii (najczęściej baterii akumulatorów). Doświadczenia eksploatacyjne wykazały, że najsłabszym ogniwem w systemie zasilania gwarantowanego z zastosowaniem zasilaczy UPS są baterie akumulatorów. Średni czas pomiędzy naprawami MTBF (ang. *Mean Time Between Failure*) zasilaczy UPS wynosi około 25 lat, podczas gdy baterie akumulatorów ulegają częstszemu uszkodzeniu, powodując niezdolność zasobnika do pracy w układzie zasilania gwarantowanego [1, 2].

Na rynku dostępne są następujące rodzaje baterii [2]:

- » kwasowo-ołowiowe,
- » niklowo-kadmowe (NiCd),
- » niklowo-wodorowe (NiMH),
- » litowo-jonowe (Li-Ion),
- » litowo-jonowe z elektrolitem polimerowym (Li-Ion Polimer),
- » niklowo-chlorosodowe (NiNaCl).

Najbardziej rozpowszechnionym typem baterii są baterie kwasowo-ołowiowe, wykonane z dwóch elektrod umieszczonych w obudowie zalanej elektrolitem, którym jest wodny

roztwór kwasu siarkowego. Materiałem aktywnym elektrody dodatniej jest dwutlenek ołowiu, natomiast elektroda ujemna pokryta jest gąbczastym ołowiem. W procesie elektrochemicznym (ładowanie i rozładowanie) powstają gazy (tlen i wodór), które wydostają się na zewnątrz obudowy. Procesy te powodują, że woda ulega odparowywaniu i konieczne jest jej uzupełnianie [2].

Jednym z rozwiązań wykorzystywanych do budowy akumulatorów kwasowo-ołowiowych jest technologia VRLA (ang. *Valve Regulated Lead Acid*), gdzie stosowane są akumulatory o budowie zamkniętej, posiadające zawory regulowane o jednostronnym działaniu. Budowa wewnętrzna jest podobna do baterii klasycznych, jednak stosowane są tu dodatki stopowe ograniczające wydzielanie wodoru na płycie ujemnej. W bateriach tych stosuje się elektrolit o większej gęstości, który uwięziony jest w separatorze między płytowym wykonanym z włókna szklanego (ang. AGM – *Absorbent Glass Mat*) lub zestalony w całej objętości w postaci żelu na bazie krzemionki SiO. Szczelność akumulatora bezobsługowego (VRLA) zapewnia zawór podciśnieniowy, wypuszczający gazy tylko w przypadku pracy awaryjnej. Zamknięty obieg tlenu zabezpiecza akumulator przed znaczącą utratą wody w całym okresie żywotności akumulatora i dzięki temu akumulator jest bezobsługowy w zakresie uzupełniania elektrolitu [2].

Samorozładowanie baterii, które jest naturalnym procesem występującym podczas eksploatacji, zależy w dużej mierze od temperatury otoczenia. Proces ten intensyfikuje się wraz z jej wzrostem [2].

W ostatnich latach pojawiło się szereg nowych rozwiązań, pozwalających na gromadzenie energii w układach zasilania rezerwowego, co pokazano w **tabeli 1**. Urządzenia te mogą przykładowo zastąpić baterię akumulatorów w układach UPS. Są one wynikiem prowadzonych w świecie badań, mających na celu poszukiwanie nowych rozwiązań w tym zakresie. Zasadniczym celem tych poszukiwań jest opracowanie możliwie prostych metod eliminacji krótkich przerw w zasilaniu bądź krótkotrwałych zapadów napięcia [4]. Wyniki badań wskazują na to, że około 97% wszystkich przerw

Technologia	Zakres energii, w [MWh], i mocy, w [MW]	Czas pracy, sprawność, w [%]	Liczba cykli, czas życia w [latach]	Zalety	Wady
Elektrownie szczytowo-pompowe	> 1000 300–3000	6–12 h 80–85	Nieograniczona > 60	Znane od lat, wielkoskalowe, ekonomiczne	Niska gęstość energii, ograniczone lokalizacje, wpływ na środowisko
Sprężone powietrze w szczelinach skalnych	> 1000 50–180	8–13 h 40–75	Nieograniczona 20–30	Niski koszt, regulacja pojemności, duża skala	Struktura geologiczna, niska gęstość energii, konieczność podgrzewania powietrza, np. gazem
Baterie sodowo-siarkowe	5– > 1000 1–50	6–8 h 70–90	2500–4500 5–15	Wydajność, duża gęstość energii i cykli pracy	Niebezpieczne, wymagają podgrzewania
Ogniwa wanadowe	< 250 1–100	3–5 h 65–75	> 10000 15–20	Niezależne skalowanie mocy i energii	Drogie
Ogniwa cynkowo-bromowe	< 250 1–100	1 ÷ 5 h 60 ÷ 70	> 10000 20		
Akumulatory kwasowo-ołowiowe VRLA	10–20 1–50	2–4 h 85–90	1500–5000 3–15	Znana technologia, wysoka gęstość energii	Wpływ na środowisko, niska liczba cykli
Akumulatory kwasowo-ołowiowe	< 250 1–50	1 min – 8 h 90–94	4500–10000 5–15	Wysoka gęstość energii	Wysoki koszt
Akumulatory litowo-jonowe	1–25 < 100	1 min – 8 h 85–98	1000 – > 10000 10–20	Znana technologia, wysoka gęstość energii	Bardzo wysoki koszt, niebezpieczne
Superkondensatory	Mała energia < 1	Milisekundy – 1 h 80–98	bardzo duża 8 – > 20	Wysoka gęstość mocy, wydajne, bardzo krótki czas odpowiedzi	Niska gęstość energii, wysoki koszt jednostkowy, zmienne napięcie
Koła zamachowe	< 5 < 20	Milisekundy – 0,25 h 85–95	> 100000 15–20	Wysoka gęstość mocy, wydajne, szybki start, niski koszt obsługi, skalowalne	Wysoki koszt inwestycji, niska energia, wysoki stopień samorozładowania

Tab. 1. Wybrane technologie magazynowania energii [3]

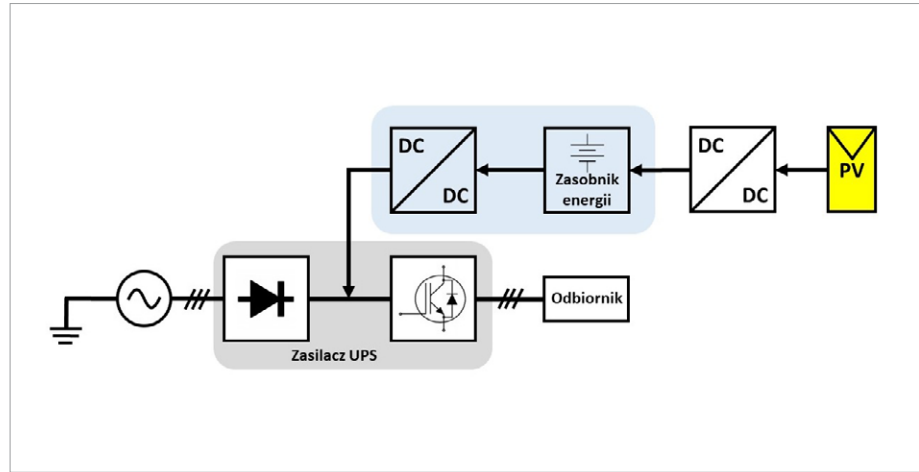
w zasilaniu i zapadów napięcia w sieciach rozdzielczych średniego napięcia to przerwy trwające nie dłużej niż 3 sekundy. Ich przyczyną są najczęściej wyładowania atmosferyczne i związane z tym działanie układów samoczynnego ponownego załączenia, czy też inne czynności łączeniowe w sieci. Przerwy w zasilaniu dłuższe niż 3 sekundy to jedynie 3% zakłóceń w sieci, a ich czas trwania jest zdecydowanie dłuższy, rzędu dziesiątek sekund, minut, a nawet godzin. Sytuacja taka uzasadnia potrzebę poszukiwań takich urządzeń, które nie muszą magazynować bardzo dużych ilości energii, lecz które byłyby w stanie w krótkim czasie pokryć zapotrzebowanie na znaczne wartości mocy w chwili zapadów napięcia bądź krótkotrwałych przerw w zasilaniu. Ich drugie zadanie to ciągle wspomaganie podstawowego źródła zasilania i łagodzenie wszelkich innych zakłóceń napięcia zasilającego. Ze względu na tę

cechę urządzenia te nazywane są też dynamicznymi zasobnikami energii. Są to: koła zamachowe (*flywheels*), superkondensatory [4, 5], nadprzewodnikowe magnetyczne zasobniki energii (*Superconducting Magnetic Energy Storage* – SMES).

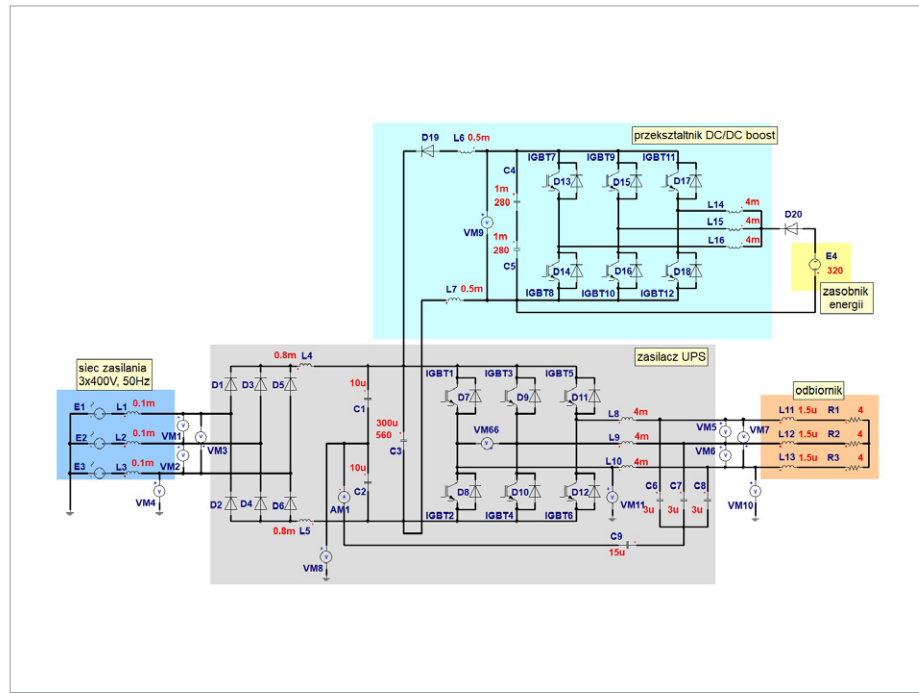
Koła zamachowe to konstrukcje zupełnie inne od tradycyjnego zastosowania kół zamachowych w zespołach prądotwórczych. Różnica polega na tym, że w zespole prądotwórczym koło zamachowe gromadzi jedynie energię potrzebną do szybkiego rozruchu silnika wysokoprężnego, natomiast energia ta nie jest przeznaczona do zamiany na energię elektryczną w celu zasilania odbiorów. Szacuje się, że jedynie ok. 5% energii koła zamachowego jest oddawane w postaci energii elektrycznej. W kołach zamachowych, używanych jako dynamiczne zasobniki energii, energia zgromadzona jako energia kinetyczna koła jest zamienia-

na na energię elektryczną i przeznaczona do zasilania odbiorników w chwilach zaniku napięcia. Koło zamachowe jest sprzęgnięte z generatorem, który w czasie prawidłowej pracy sieci zasilającej pracuje jako silnik. W chwilach zaniku napięcia energia elektryczna wytwarzana w generatorze (faza pracy silnikowej) jest przekształcana na energię elektryczną o odpowiednich parametrach napięcia i częstotliwości i służy do zasilania systemu zasilania rezerwowego. Szacuje się, że w ten sposób około 50% energii mechanicznej koła zamachowego może być wykorzystane do zamiany na energię elektryczną. Rozróżnia się dwie zasadnicze konstrukcje kół zamachowych [4]: szybkoobrotowe i wolnoobrotowe.

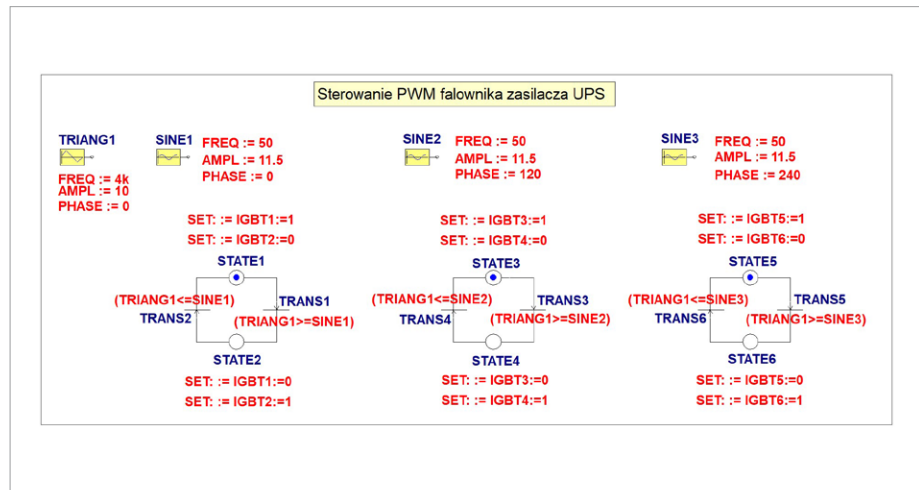
Koła szybkoobrotowe są wykonane ze szkła bądź z włókna szklanego lub węglowego. Materiały te są materiałami niemagnetycznymi i mają ciężar właściwy ok. 5-krot-



Rys. 1. Schemat blokowy zasilacza UPS z przekształtnikiem DC/DC podwyższającym napięcie magazynu energii
rys. M. Żurek-Mortka, K. Kuczyński



Rys. 2. Model trójfazowego zasilacza UPS z przekształtnikiem DC/DC podwyższającym napięcie magazynu energii
rys. M. Żurek-Mortka, K. Kuczyński



Rys. 3. Grafy sterowania modulacją sinusoidalną falownika PWM kształtującego napięcie wyjściowe zasilacza UPS
rys. M. Żurek-Mortka, K. Kuczyński

nie większy od stali. Prędkości eksploatacyjne kół szybkoobrotowych zawierają się w zakresie od 10 000 do 100 000 obrotów na minutę. Wirnik generatora jest magnesem stałym, co jest spowodowane trudnościami wykonania uzwojeń, które wytrzymałyby działanie sił odśrodkowych przy tak dużej prędkości obrotowej. Aby ograniczyć siły tarcia, zarówno generator, jak i wirnik koła obracają się w próżni i są umieszczone w zamkniętym pojemniku. Współcześnie budowane koła szybkoobrotowe mają moce do 250 kW, z możliwością zgromadzenia energii nawet 8 MW·s [4, 5] przez czas od 1 do 60 sekund.

Koła wolnoobrotowe pracują przy prędkościach rzędu 6000 obr./min. Ze względu na mniejszą prędkość niż koła szybkoobrotowe, muszą one mieć znacznie większą masę, aby uzyskać podobne wartości magazynowanej energii. Wirniki wykonywane są w tym przypadku ze stali i przy prędkościach obrotowych rzędu 6000 obr./min. nie jest już konieczne umieszczenie całego układu w próżni. Stosuje się jednak obniżone ciśnienie otaczającego powietrza lub gaz o gęstości mniejszej niż powietrze w celu zmniejszenia sił tarcia. Generatory kół wolnoobrotowych mają wirnik uzwojony, co daje możliwość regulacji ich wzbudzenia. Jest to istotną zaletą kół wolnoobrotowych w stosunku do kół szybkoobrotowych. Moce obecnie produkowanych kół zamachowych wolnoobrotowych są rzędu 2 MW i są zdolne dostarczać energię przez czas od 1 do 60 sekund [4, 5].

Koła zamachowe wolnoobrotowe są stosowane w kombinowanych układach zasilania rezerwowego, gdzie współpracują najczęściej z zespołami prądotwórczymi. Koło jest w sposób ciągły zasilane poprzez silnik/generator napędzany energią pobieraną z sieci elektroenergetycznej, przekształcaną na odpowiednią częstotliwość i napięcie. Koło zamachowe pokrywa zapotrzebowanie na energię w chwilach krótkotrwałych zaników napięcia (do 3 sekund) oraz zasila generator w czasie rozruchu jego turbiny (1–30) sekund. Dłuższe przerwy w zasilaniu pokrywane są przez zespół prądotwórczy.

Superkondensatory (ang. *supercapacitors*) to kondensatory o specjalnej konstrukcji umożliwiającej uzyskanie dużych pojemności rzędu kilkunastu faradów. Dużą pojemność uzyskano przez zastosowanie odpowiednich materiałów na okładki kondensatorów, takich jak aktywny węgiel bądź włókna pokrywane aktywnym węglem lub dwutlenkiem rutenu (RuO₂). Zaletą takich elektrod jest dużo większa aktywna powierzchnia okładziny w porównaniu z tradycyjnymi materiałami. Technologia wytwarzania superkondensatorów znajduje się obecnie jeszcze w fazie badań, choć istnieją już produkowane przemysłowo urządzenia wykorzystujące te elementy. Ich zastosowanie w rezerwowym zasilaniu polegać będzie głównie na pokrywaniu zapotrzebowania na energię podczas bardzo krótkich zaników napięcia zasilania. Przewiduje się też współpracę superkondensatorów z układami UPS w celu eliminacji ich krótkotrwałych, głębokich przecięcia. W ten sposób uzyskuje się znaczne wydłużenie okresu eksploatacji baterii UPS. Czas ładowania zwykłego akumulatora trwa kilka godzin, natomiast w przypadku superkondensatora proces ten trwa maksymalnie kilka minut. Zaletą superkondensatora jest żywotność szacowana na kilkanaście lat oraz

możliwość pracy w szerokim zakresie temperatur od –40 do 65°C [4, 5]. W przypadku dużych zakładów warto zastanowić się nad tandemem zasilacz UPS–zespoł prądotwórczy lub dynamicznym układem zasilania wyposażonym w kinetyczny zasobnik energii.

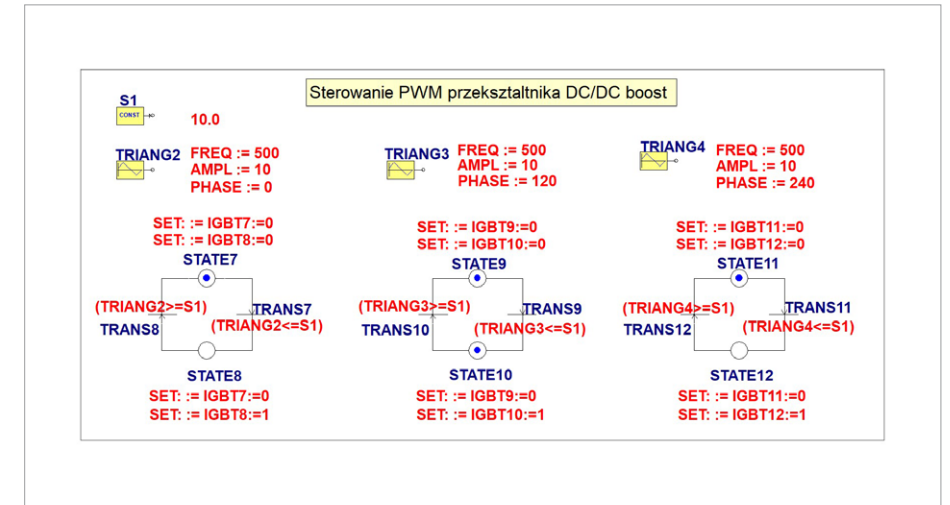
Nadprzewodnikowe magnetyczne zasobniki energii (ang. *Superconducting Magnetic Energy Storage – SMES*) to układy gromadzące energię pola magnetycznego wytwarzanego przez duże cewki przewodzące prąd stały. Cewki te, schłodzone do bardzo niskiej temperatury, znajdują się w stanie nadprzewodnictwa i przepływ prądu odbywa się praktycznie bez strat. Gromadzenie energii polega na ciągłym przepływie prądu stałego o dużych wartościach. W chwili zapotrzebowania na energię prąd cewki może być przekształcony na prąd przemienny i dostarczony do systemu zasilania rezerwowego [4, 5]. Obecnie buduje się już układy chłodzone ciekłym helem, natomiast w fazie badań znajdują się układy nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego, czyli chłodzone ciekłym azotem. Obecnie trwają również prace nad udoskonaleniem konstrukcji ogniwi paliwowych i jest duże prawdopodobieństwo, że w niedalekiej przyszłości staną się alternatywą dla obecnie stosowanych rezerwowych źródeł energii [1].

Model zasilacza UPS z przekształtnikiem DC/DC podwyższającym napięcie zasobnika energii

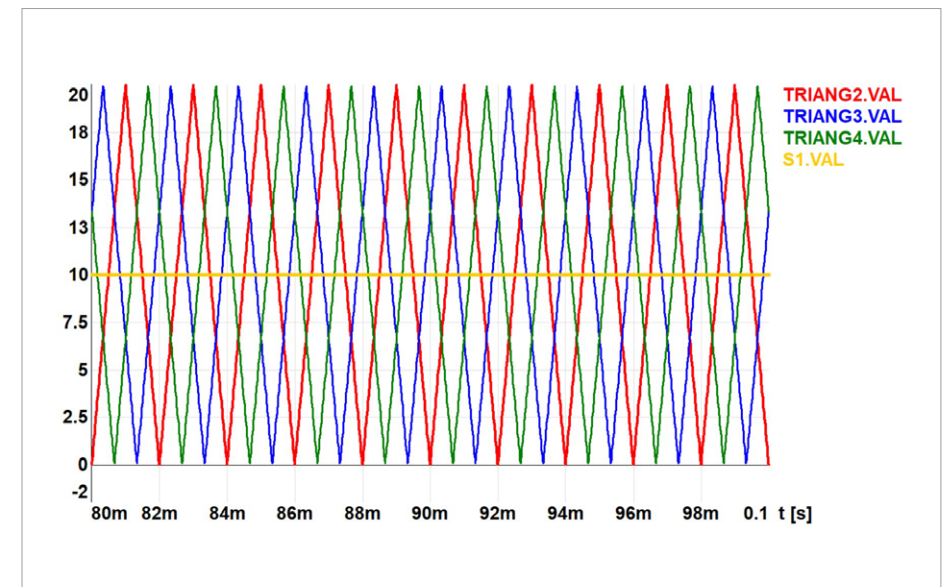
Ze względu na ograniczone zasoby energii zgromadzonej w niskonapięciowych magazynach energii sprawność układu z zasilaczem UPS, jak i dopasowanie poziomu napięcia wyładowanego przez zasilane odbiorniki, mają klu-



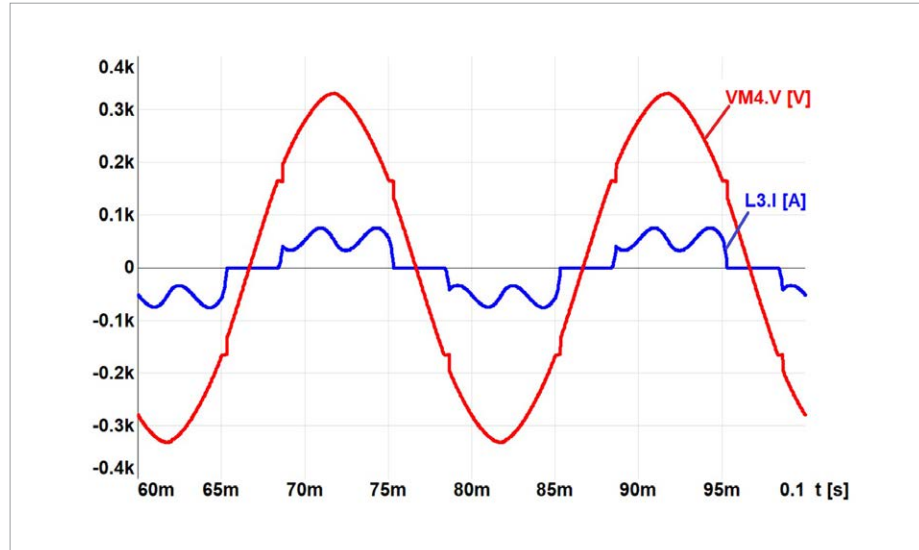
Rys. 4. Sygnały sterujące trójfazowej modulacją sinusoidalnej falownika zasilacza UPS
rys. M. Żurek-Mortka, K. Kuczyński



Rys. 5. Grafy sterowania modulacją PWM przekształtnika DC/DC podwyższającego napięcie
rys. M. Żurek-Mortka, K. Kuczyński



Rys. 6. Sygnały sterujące modulacją PWM trójfazowego przekształtnika DC/DC podwyższającego napięcie zasobnika energii
rys. M. Żurek-Mortka, K. Kuczyński



Rys. 7. Przebiegi napięcia fazowego U_{VM4} i prądu fazowego I_{L3} transformatora w sieci zasilającej
rys. M. Żurek-Mortka, K. Kuczyński

czowe znaczenie. W takim przypadku wykorzystuje się przekształtniki DC/DC podwyższające napięcie, które zwykle stosuje się np. w systemach energetycznych zasilanych odnawialnymi źródłami energii. Istnieją różne rozwiązania zastosowania przekształtnika DC/DC w układach gwarantowanego zasilania. W artykule [8] przedstawiono rozwiązanie wykorzystania przekształtnika DC/DC podwyższającego napięcie z szeregowym obwodem rezonansowym, który pozwala osiągnąć duże wzmocnienie napięciowe przy zachowaniu wysokiej sprawności przekształtnika i małym współczynniku wypełnienia impulsów modulatora PWM. Układ taki spełnia warunek zapewnienia dużej gęstości mocy, co możliwe jest do zrealizowania dzięki wysokiej częstotliwości przełączania kluczy półprzewodnikowych. Inne rozwiązanie przedstawia publikacja [9], w której zaprezentowano strukturę trójfazowego zasilacza UPS z przekształtnikiem DC/DC typu buck/boost (obniżający/podwyższający napięcie stałe) podłączonego do obwodu pośredniego DC zasilacza UPS w celu ładowania i rozładowania zestawu akumulatorów zasobnika energii napięcia stałego.

Badany w niniejszym artykule układ trójfazowego zasilacza UPS z przekształtnikiem DC/DC jest zbliżony strukturą do układu przedstawionego w artykule [9] i obrazuje go **rysunek 1**. Model przedstawiony na **rysunku 2**. Wykonano w programie do badań symulacyjnych ANSYS Simplorer 6.0. W artykule zamieszczono wszystkie dane modelowanego zasilacza UPS, umożliwiające jego implementację w dowolnym oprogramowaniu do badań symulacyjnych, np. Matlab/Simulink. Sieć zasilania

dostarcza energię elektryczną o stałych parametrach 3×400 V i częstotliwości 50 Hz. Budowa zasilacza UPS przypomina budowę napędowego przemiennika częstotliwości. Stosowana jest sinusoidalna modulacja szerokości impulsów PWM (ang. *Pulse Width Modulation*), dzięki której na wyjściu falownika kształtowane są trójfazowe napięcia sinusoidalne. Stosując modulację szerokościową, uzyskuje się napięcie międzyfazowe falownika o wartości bliskiej napięciu transformatora sieci przemysłowej. Układ sterowania modulacją sinusoidalną PWM można przedstawić za pomocą grafów stanów (**rys. 3**). Symboliczny zapis modulatora PWM za pomocą grafu stanów wykorzystywany jest w tym opracowaniu do sterowania dwupoziomym falownikiem trójfazowym zasilacza UPS. Przedstawione trzy pętle stanów statycznych (STATE) i przejściowych (TRANS) opisują pracę trzech półmostków falownika i realizują sinusoidalną modulację nieciągłą (przerwywaną) falownika przy współczynniku głębokości modulacji $M = 1,15$, który jest definiowany następująco [10]:

$$M = \frac{\text{amplituda sinusoidalnego napięcia modulującego}}{\text{amplituda przebiegu nośnego (trójkątnego)}} = \frac{\text{amplituda SINE1}}{\text{amplituda TRIANG1}}$$

Sinusoidalna modulacja szerokościowa nieciągła (przerwywana) jest wykorzystywana do przekształcenia napięcia stałego zasilania falownika na trójfazowe napięcie przemienne falownika. Przebiegi modulujące sinusoidalne wraz z przebiegiem nośnym trójkątnym obrazuje **rysunek 4**. Zastosowanie przekształtnika DC/DC typu boost w danym

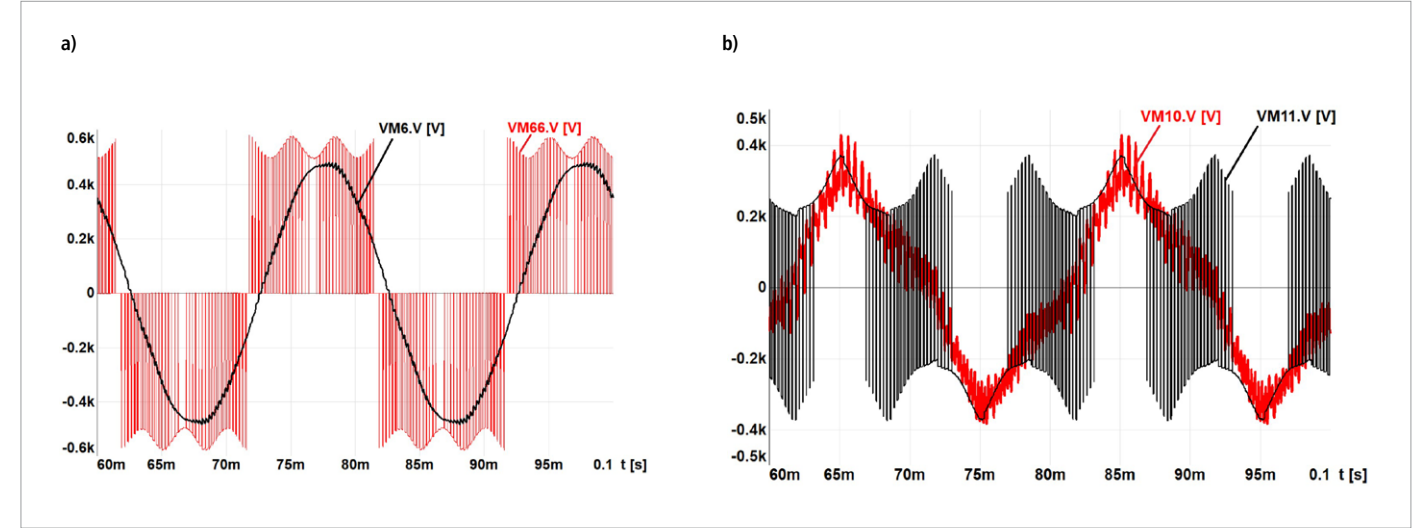
układzie umożliwia kształtowanie napięcia stałego o dowolnej wartości. Topologia obwodów mocy falowników w zasilaczu UPS i przekształtniku DC/DC jest podobna, odmiennie są zastosowane algorytmy sterowania. Układ sterowania modulacją PWM falownika przekształtnika DC/DC różni się pod względem zastosowanej charakterystyki przebiegu modulującego (napięcie stałe) (**rys. 5**). Nośne sygnały trójkątne poszczególnych gałęzi przekształtnika DC/DC podwyższającego napięcie zasobnika są modulowane sygnałem napięcia stałego (**rys. 6**).

Badania symulacyjne zasilacza UPS zasilanego z zasobnika energii napięcia stałego

Rysunek 7 przedstawia przebiegi napięcia fazowego U_{VM4} i prądu fazowego I_{L3} linii zasilającej po dołączeniu obciążonego zasilacza UPS do przemysłowej sieci zasilania bez wykorzystywania energii zasobnika. Widoczne jest odkształcenie prądu fazowego transformatora I_{L3} , które jest spowodowane niesinusoidalnym obciążeniem sieci trójfazowym prostownikiem diodowym. Współczynnik zawartości harmonicznego prądu THD_i wynosi ok. 40% i z tego względu należy dobrać moc transformatora sieciowego i zastosować odpowiednie filtry wejściowe [11].

Model przedstawiony na **rysunku 2** zawiera także filtry składowych harmonicznego napięcia różnicowego (ang. *Differential-Mode Voltage*) i składowych harmonicznego napięcia wspólnego (ang. *Common-Mode Voltage*) falownika. Z **rysunku 8a** wynika, że filtr składowych harmonicznego napięcia różnicowego DM przybliża napięcie międzyfazowe falownika zasilacza UPS U_{VM6} do przebiegu sinusoidalnego. Podobnie jest w przypadku zastosowania filtra zaburzeń wspólnych CM (**rys. 8b**) – kształt napięcia fazowego U_{VM10} jest zbliżony do sinusoidy.

Rysunek 9a przedstawia przebiegi napięć międzyfazowych U_{VM5} , U_{VM6} , U_{VM7} i prądu fazowego I_{L10} mierzonych na wyjściach falownika zasilacza UPS. Obserwowane jest zniekształcenie napięć międzyfazowych spowodowane występowaniem harmonicznego w wyniku zastosowania modulacji PWM. Wartość skuteczna napięć międzyfazowych wynosi ok. 340 V i jest obniżona w stosunku do napięcia sieci przemysłowej. Istotnym powodem obniżenia tego napięcia jest zastosowanie dławików filtra zaburzeń różnicowych DM (dławiki L8, L9, L10, **rys. 2**). Napięcie wyjściowe falownika zasilacza UPS można podwyższyć poprzez zwiększenie napięcia DC na zasilaniu falownika. Współczyn-



Rys. 8. a) Przebiegi napięć międzyfazowych U_{VM6} falownika po odfiltrowaniu składowych harmonicznego napięcia różnicowego i przebiegi napięcia wyjściowego falownika U_{VM66} bez filtracji, b) przebiegi napięcia fazowego U_{VM11} falownika bez filtracji zaburzeń wspólnych i po zastosowaniu filtra zaburzeń wspólnych U_{VM10}
rys. M. Żurek-Mortka, K. Kuczyński

nik zawartości harmonicznego napięcia THD_u wynosi ok. 5% dla napięcia międzyfazowego z **rysunku 9a**.

Podczas wystąpienia awarii systemu zasilania lub krótkotrwałego zaniku napięcia, zasilacz UPS podtrzymuje pracę urządzeń. **Rysunek 9b** przedstawia charakterystyki napięć międzyfazowych U_{VM5} , U_{VM6} , U_{VM7} i prądu fazowego I_{L10} na wyjściu falownika w czasie zasilania zasilacza UPS z dodatkowego zasobnika energii (model UPS z **rys. 2**). Analiza THD_u wskazuje na niską zawartość harmonicznego, na poziomie ok. 3% dla napięcia z **rysunku 9b**. Wartość skuteczna napięć międzyfazowych na odbiorniku w symulowanych warunkach pracy wynosi odpowiednio ok. 340 V przy zasilaniu jedynie z sieci przemysłowej 3×400 V/50 Hz. Napięcie zasilania obciążonego falownika zasilacza UPS jest w tym przypadku obniżone do 530 V. Przy zasilaniu zasilacza UPS

z zasobnika energii napięcia międzyfazowe falownika (**rys. 9b**) mają wartość skuteczną równą 400 V, dzięki możliwości podwyższenia napięcia DC zasilania falownika do wartości 640 V.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono najpopularniejsze stosowane w zasilaczach UPS sposoby magazynowania energii elektrycznej. Przedstawiono uproszczony model zasilacza UPS z konwerterem DC/DC podwyższającym napięcie (typu *boost*, *step-up*) zasobnika energii. Omówiono kształtowanie trójfazowego napięcia wyjściowego oraz możliwości minimalizowania harmonicznego napięcia zasilacza UPS z falownikiem PWM.

Zastosowanie przekształtnika DC/DC do podwyższania napięcia zasobnika energii umożliwia sterowanie ilością energii pobieranej z przemys-

łowej sieci napięcia przemiennego przez sterowanie poziomem napięcia DC zasilania falownika w zasilaczu UPS.



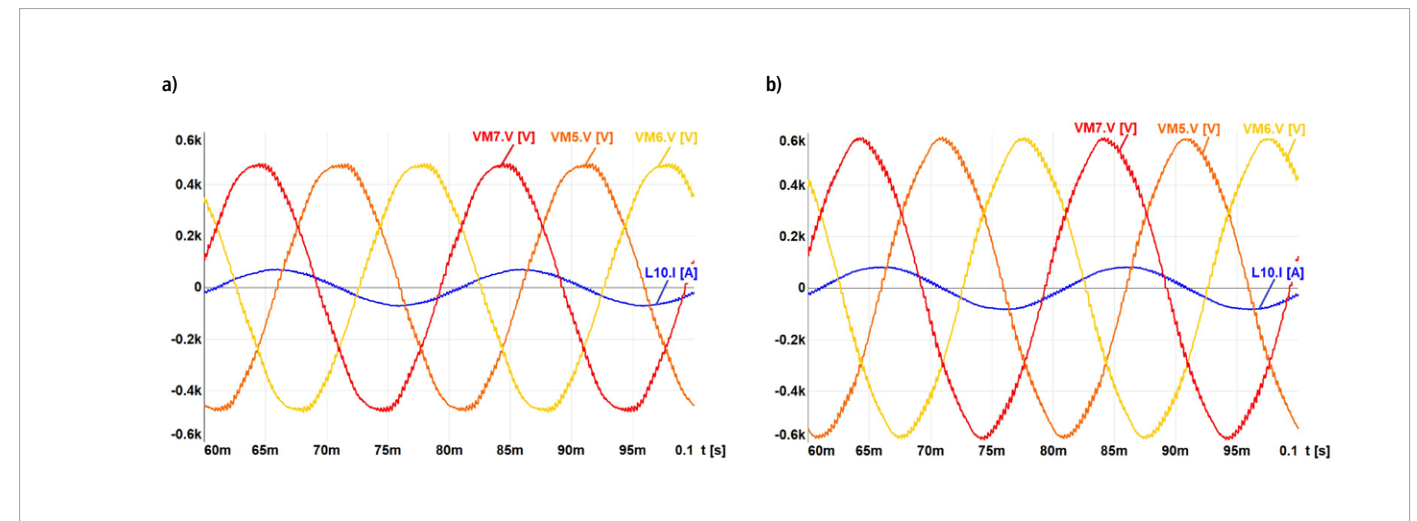
literatura do artykułu na
elektro.info.pl

ABSTRACT

Energy storage in UPS systems

The article presents the most popular methods of storing electricity used in UPS. Attention was paid to the amount of energy stored in various storage technologies. The simplified model of a UPS with the use of a DC-DC converter increasing the voltage is presented.

Keywords: UPS, DC-DC converter, electric energy storage.



Rys. 9. Przebiegi napięć międzyfazowych U_{VM5} , U_{VM6} , U_{VM7} falownika (zasilacza UPS) i prądu fazowego obciążenia I_{L10} : a) zasilacz UPS zasilany z sieci przemysłowej, b) zasilacz UPS zasilany z zasobnika energii
rys. M. Żurek-Mortka, K. Kuczyński

Ekonomia i zwrot z inwestycji w połączeniu z bezpieczeństwem obciążenia

Systemy UPS oparte na akumulatorach są od wielu lat z powodzeniem stosowane w różnych segmentach rynku, w tym w szczególności w przemyśle, telekomunikacji i IT, do ochrony obciążeń krytycznych. Jednocześnie w ostatnich latach pojawiły się różne systemy magazynowania energii zasilane z sieci, napędzane przez wykorzystanie regeneracyjnych źródeł energii, takich jak fotowoltaika.

BENNING oferuje gotowe rozwiązania zarówno dla systemów zależnych od sieci, jak i dla systemów samzarządzanych poza siecią. Systemy te obejmują zakres mocy do megawata dla pojedynczego zasilania.

Ponadto można zainstalować nawet większe systemy, z dalszymi zasilaniami w sieci jednego użytkownika. Ta zdecentralizowana skalowalność umożliwia zoptymalizowaną, opłacalną integrację z istniejącą infrastrukturą. Wreszcie, można skorzystać z modułowej technologii UPS, aby zmodernizować istniejące systemy magazynowania energii do poziomu inteligentnych systemów zasilania.



Jednostka monitorująco-sterująca (MCU) obsługuje szereg protokołów i interfejsów do podłączania systemu EMS od najszerzego grona producentów oprogramowania. Kontroler systemu MCU 3000, który jest zainstalowany w drzwiach szafy systemu zasilania, posiada ekran dotykowy o wymiarach 10,4"

Magazyn ENERTRONIC najnowocześniejszy, wszechstronny i wygodny, hybrydowy system magazynowania energii UPS

Jest indywidualnie konfigurowany i rozszerzalny, dzięki prawdziwej funkcji UPS – a za sprawą pokładowego systemu zarządzania energią (EMS) gwarantuje bezpieczeństwo i efektywność zasilania. Inteligentne zarządzanie obciążeniem nigdy nie było łatwiejsze i bardziej efektywne: Twój magazyn energii zmienia się w oszczędność pieniędzy!

Zalety systemu zasobnika z funkcją UPS:

- » redukcja szczytów obciążenia,
- » stabilizowanie obciążenia,
- » zoptymalizowany pobór mocy (zasada 7000 h),
- » transfer energii z dnia na dzień,
- » elastycznie definiowana rezerwa energii,
- » magazyn przy małym obciążeniu,
- » wzrost mocy przy dużym obciążeniu,
- » nadaje się do baterii ołowiowych i litowych,
- » optymalizacja zużycia wewnętrznego,
- » niezawodna praca UPS (VFI-SS-111),
- » kompensacja mocy biernej.

Systemy magazynowe kompatybilne z UPS – oszczędność i zwrot z inwestycji w połączeniu z bezpieczeństwem

Zasilacz UPS chroni obciążenia krytyczne przed zakłóceniami w sieci. Jednocześnie, w połączeniu z „pokładowym” EMS, system przejmuje zadania zarządzania obciążeniem, a tym samym znacznie przyczynia się do szybszego zwrotu z inwestycji w porównaniu z systemami bez funkcji magazynowania. Inteligentne zarządzanie obciążeniem oznacza, że zwiększenie niezawodności i wydajności systemu zasilania idzie w parze z trwałą redukcją kosztów operacyjnych. Aplikacje, których zużycie energii można całkowicie lub częściowo zrównoważyć dzięki magazynowaniu energii, stanowią idealną okazję do instalacji tych systemów.

BENNING, z nową ofertą modułowych magazynów ENERTRONIC, oferuje indywidualnie dostosowane systemy magazynowania energii z prawdziwą pracą UPS i „pokładowym” EMS (Energy Management System). ENERTRONIC Modular Storage (EMS) jest przeznaczony do zastosowań przemysłowych, magazynowania energii pochodzącej

z odnawialnego źródła energii, doskonale sprawdzi się również w przypadku mikro sieci.

Zalety ENERTRONIC Modular Storage:

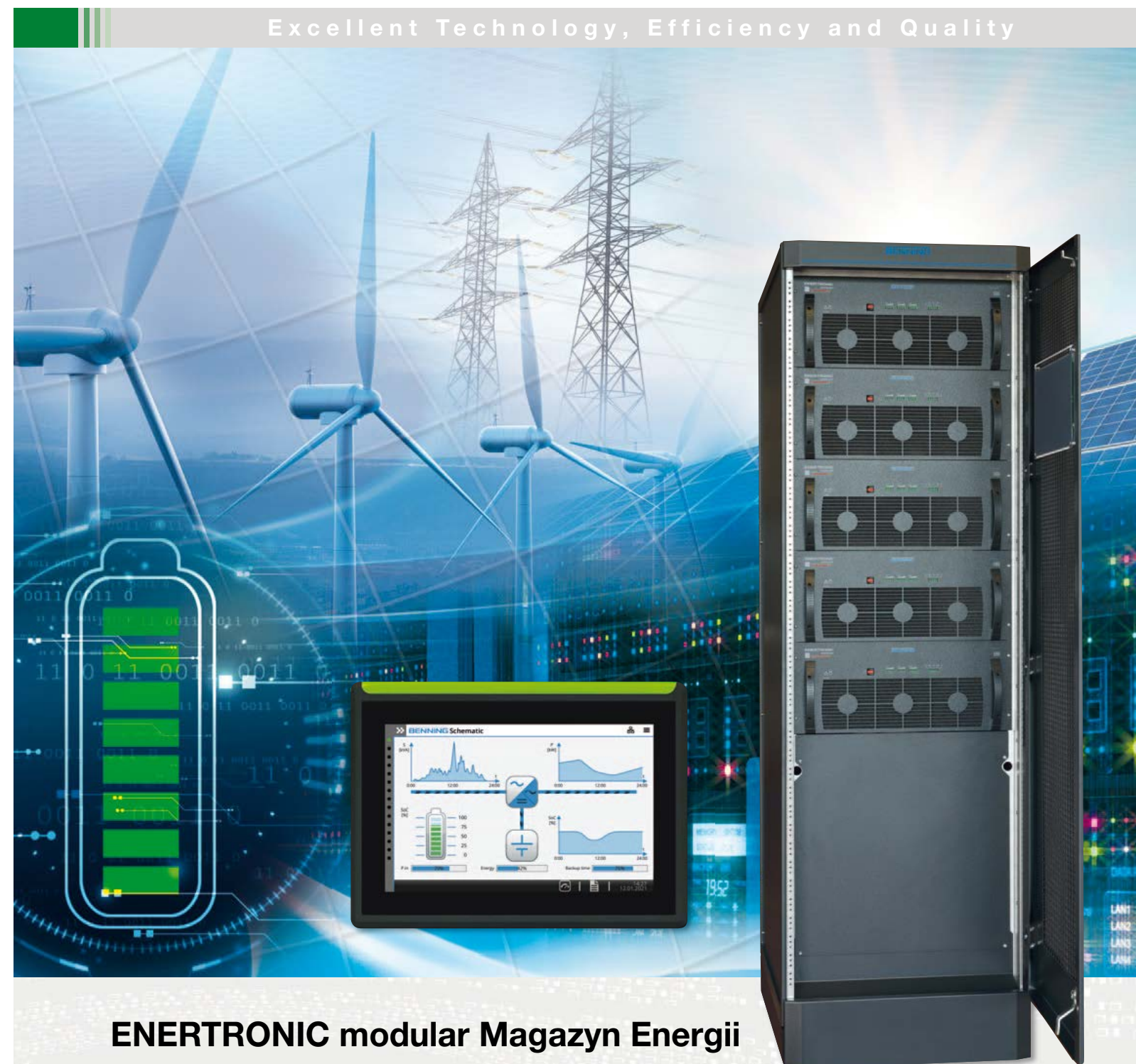
- » funkcja magazynowania i UPS,
- » zdecentralizowana architektura równoległa,
- » modułowy, rozszerzalny system hot-plug,
- » elastyczne konfiguracje baterii (akumulator, bateria grupowa, pojedyncza bateria),
- » może być stosowany w połączeniu z systemami energii odnawialnej, takimi jak energia fotowoltaiczna, wodna lub wiatrowa,
- » możliwość podłączenia do sieci niskiego napięcia zgodnie z VDE AR-N4105,
- » większa wydajność i szybki zwrot z inwestycji.

BENNING
World Class Power Solutions

BENNING Power Electronics Sp. z o.o.
05-503 Głusków, Korczunkowa 30
tel. 22 757 84 53
biuro@benning.biz
www.benning.pl

BENNING
World Class Power Solutions

Excellent Technology, Efficiency and Quality



ENERTRONIC modular Magazyn Energii

Redukuje szczyty obciążenia z sieci,
Wyrównuje pobór energii, Pracuje w trybie UPS,
Transferuje energię pomiędzy dniem i nocą

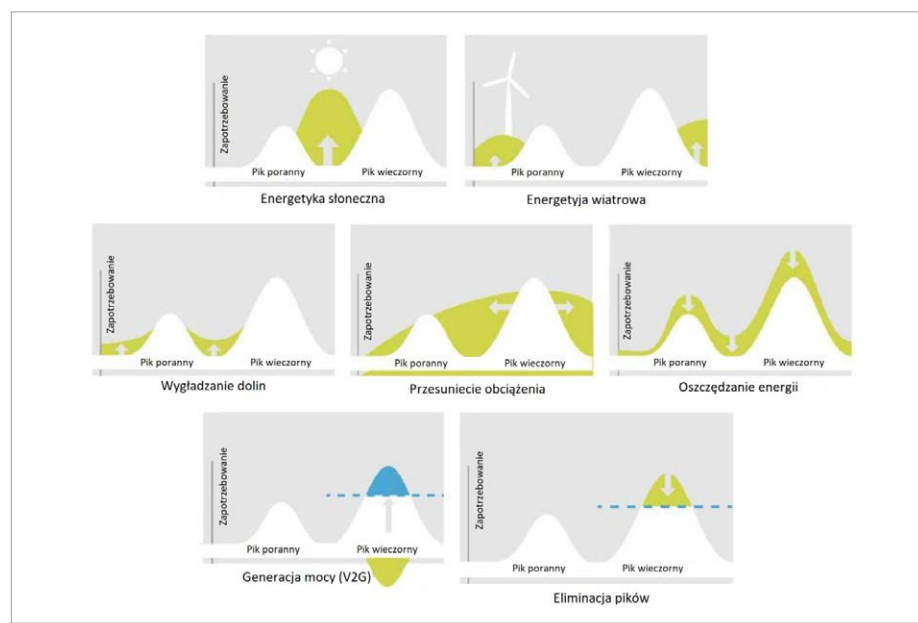
Wyprodukowano i opracowano w Niemczech!
Jakość przemysłowa od 1938 roku

Rola magazynów energii w sieciach smart grid

Aby zapewnić wydajną i opłacalną transformację energetyczną, rozwojowi infrastruktury sieciowej musi towarzyszyć wdrażanie technologii alternatywnych, do których powinno należeć w znacznie większym stopniu niż jest to obecnie wykorzystywanie lokalnego magazynowania energii. Zasoby magazynowania energii stanowią ważne źródło elastyczności, które można wykorzystać do celów regulacji systemu i odroczenia kosztownych inwestycji w sieć.

Magazyn energii w sieci smart

Różne przyczyny wymagają zróżnicowanych czasów reakcji i odpowiedzi – czas wymagany na odpowiedź w zależności od zaistniałego w sieci deficytu lub zapotrzebowania na energię może wynosić od milisekund do dni. Na **rysunku 1.** w sposób graficzny obrazowano zastosowanie magazynów energii do eliminacji wybranych niekorzystnych profili obciążenia i generacji energii. W sieciach inteligentnych magazynowanie energii będzie w przyszłości kluczową technologią, która może ułatwić dekarbonizację sieci elektroenergetycznej i wesprzeć zieloną transformację sektora energetycznego. W miarę jak systemy elektroenergetyczne odchodzą od swojej tradycyjnej scentralizowanej struktury, opartej na paliwach kopalnych, do dynamicznego i rozproszonego wytwarzania, wzrasta potrzeba ograniczenia dalekoddystansowych transferów energii. W takich sieciach magazynowanie stanowić będzie zasób, który może wydajnie i niezawodnie wspierać działania istniejących oraz planowanie nowych sieci



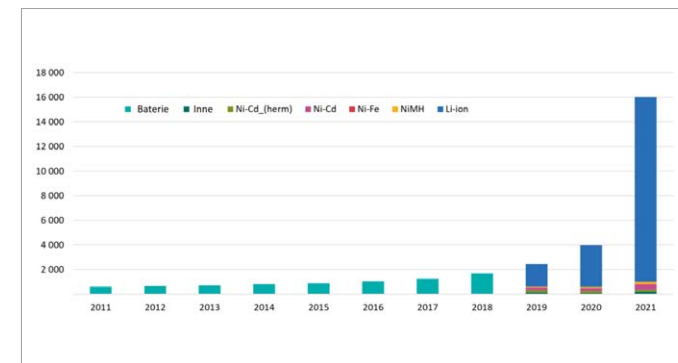
Rys. 1. Uprozczone zobrazenie przykładów wykorzystania magazynów energii w sieci (na podstawie [2])

elektroenergetycznych. Elastyczność magazynowania może być wykorzystana do dostosowania się do rosnących poziomów zmienności i nie-

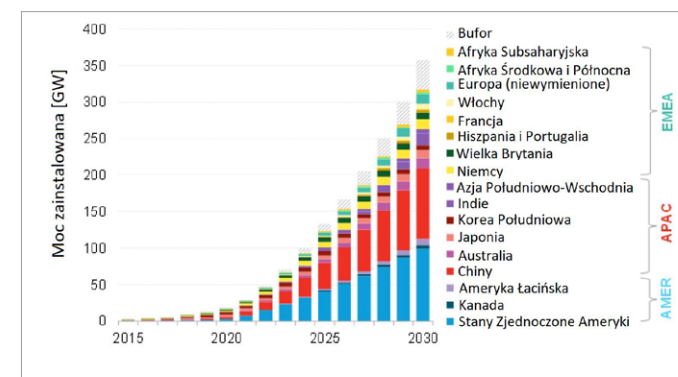
pewności generacji, jakie wprowadzają źródła odnawialne, zmniejszenia kosztów rozbudowy sieci oraz wspierania regulacji sieci elektroenergetycznej na różnych poziomach (np. regulacja napięcia lub częstotliwości) i w różnych skalach czasowych (od milisekund do godzin). Rola magazynów elektrochemicznych, a w szczególności akumulatorów litowo-jonowych (Li-Ion) we wspomaganie pracy i rozbudowy systemów elektroenergetycznych stale rośnie. Dzięki opła-

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono kilka kluczowych zagadnień powiązanych z magazynowaniem energii w sieciach smart grid. Różnorodność zastosowania, rozpatrywana tylko poprzez przedstawione w artykule przykłady, wskazuje na to, że rola magazynów energii w sieciach energetycznych będzie rosła i będzie ona tym większa, im sieć będzie stawiać się bardziej inteligentna. **Słowa kluczowe:** smart grid, magazyn energii, inteligentne budynki.



Rys. 3. Produkcja baterii niezawierających ołowiu w Unii Europejskiej w mln EUR – w latach 2011–2018, bez podziału (na podstawie [1])



Rys. 5. Skumulowana moc instalacji magazynujących energię na świecie (na podstawie [2])

calności, właściwościom technicznym i elektromobilności, akumulatory litowo-jonowe są obecnie według IEA najszybciej rozwijającymi się technologiami magazynowania do zastosowań w systemach elektroenergetycznych i inteligentnych sieciach. Na **rysunku 2.** przedstawiono postęp technologiczny w rozwoju ogniw stosowanych w magazynach energii. Na **rysunku 3.** widoczny jest wzrost produkcji baterii w ostatnich latach. W sieciach inteligentnych warto zwrócić uwagę na wymienione poniżej zastosowania magazynów energii.

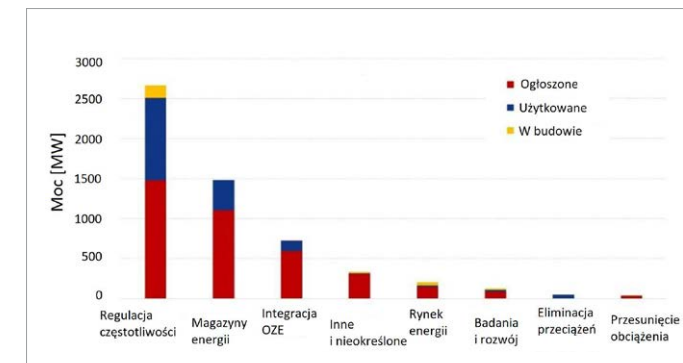
Magazynowanie na skalę sieciową – Grid-scale storage services (GSSS)

Magazynowanie obecnie już wnosi swój wkład w usługi sieciowe, szczególnie w zakresie regulacji częstotliwości w krótszych skalach czasowych. Na **rysunku 4.** przedstawiono wykorzystanie wielkoskalowych magazynów energii na rynku europejskim, a na **rysunku 5.** – magazynów energii w skali świata. Najnowsze badania na ten temat pokazują, że w przyszłych scenariuszach energetycznych – z dużą penetracją energii ze źródeł odnawialnych – 5% wzrost zainstalowanych akumulatorów może doprowadzić do redukcji kosztów wytwarzania o ok. 1,7% i zmniejszyć okres przeciążenia krytycznych linii

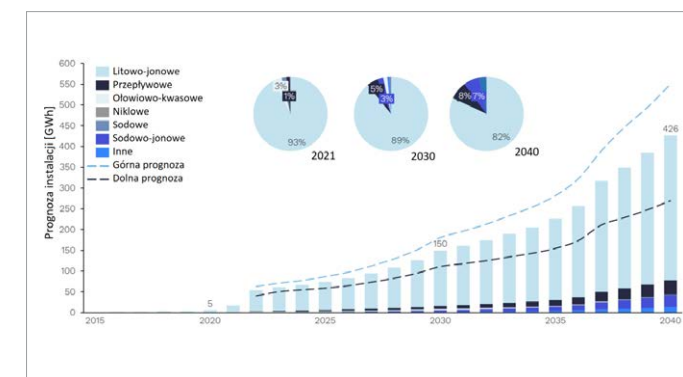
przesyłowych o ok. 3%. Przewidywany jest wykładniczy wzrost instalacji magazynowych na całym świecie. W Europie szacuje się dwudziestokrotny wzrost pojemności magazynowej w ciągu najbliższych dziesięciu lat, do wartości 45 GW/89 GWh zasobów magazynowania sieciowego w 2031 r. Podstawowym motorem tych działań jest znaczna redukcja kosztów technologii magazynowania energii w akumulatorach oczekiwana w ciągu najbliższych 8–10 lat, przy czym koszt akumulatorów i kompletnych magazynów ma spaść odpowiednio o 40% i 30%. Na **rysunku 6.** przedstawiono magazyny energii z podziałem na typy zainstalowanych ogniw – w ostatnich latach uwidacznia się wpływ nowych technologii, a na **rysunku 7.** – koszt magazynowania energii w zależności od pojemności magazynu i typu pracy (więcej na ten temat w „elektro.info” nr 7-8/2020) [4].

Innowacyjne metody przesyłowe

Aby osiągnąć cele europejskiej polityki energetycznej, w dziesięcioletnim planie rozwoju sieci (TYNDP) na rok 2020 wskazano wydatki w wysokości 135 miliardów euro na innowacyjne projekty. W nadchodzących latach europejscy operatorzy systemów przesyłowych, we współpracy z kluczowymi zainteresowanymi stronami, zainicjują projekty badawczo-roz-



Rys. 4. Przeznaczenie europejskich wielkoskalowych magazynów energii (na podstawie [2])

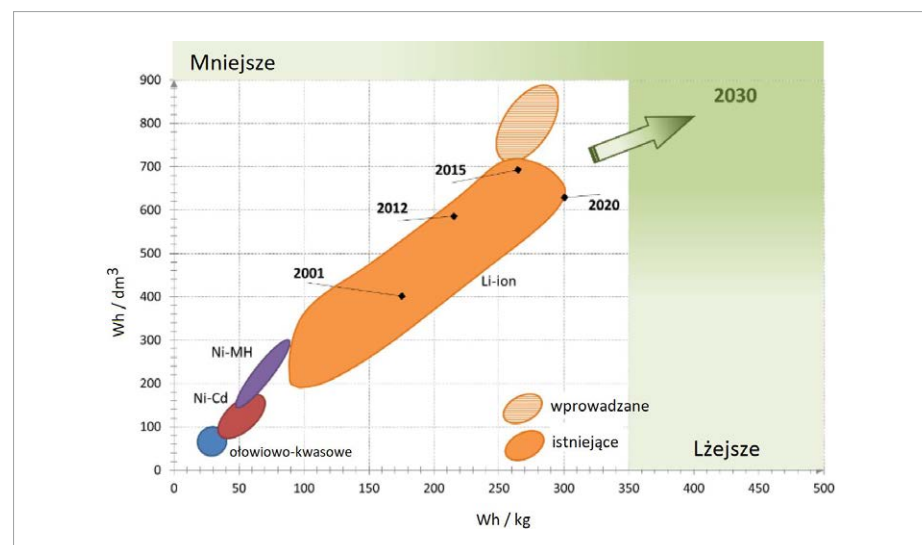


Rys. 6. Prognoza rocznie instalowanych mocy w magazynach energii, z podziałem na typy ogniw (na podstawie [1])

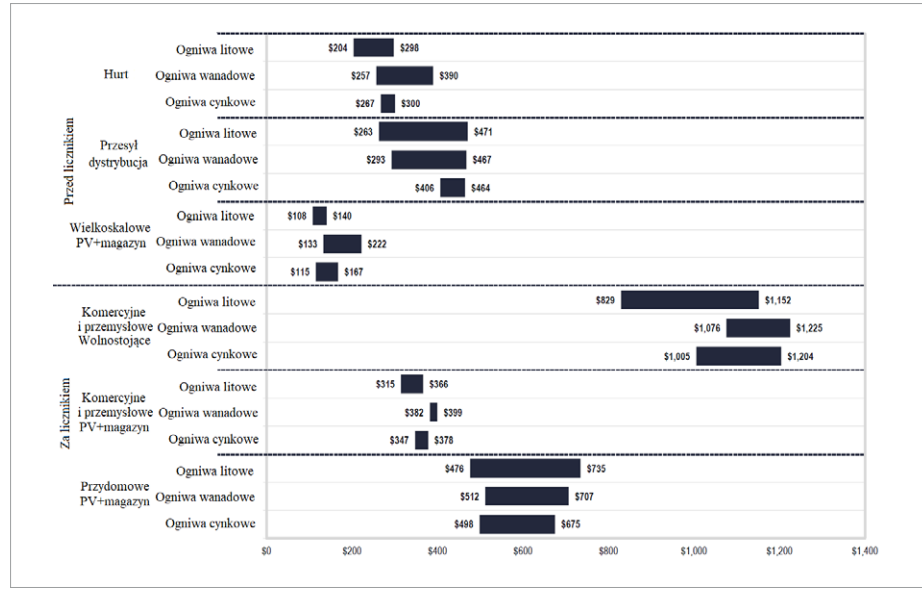
wojowe, mające na celu głównie optymalizację integracji międzysektorowej, przygotowanie systemu do głębokiej elektryfikacji, integrację wyższych poziomów morskiej energetyki wiatrowej na dużą skalę, poprawę działania centrum sterowania i interoperacyjności. Będzie to się wiązało z przyznaniem magazynom energii kluczowej roli w optymalizacji systemów. Polska może odegrać w tym procesie znaczącą rolę, ponieważ – jak pokazuje **rysunek 8.** – jest istotnym graczem na światowym rynku baterii.

Domowe systemy zarządzania energią

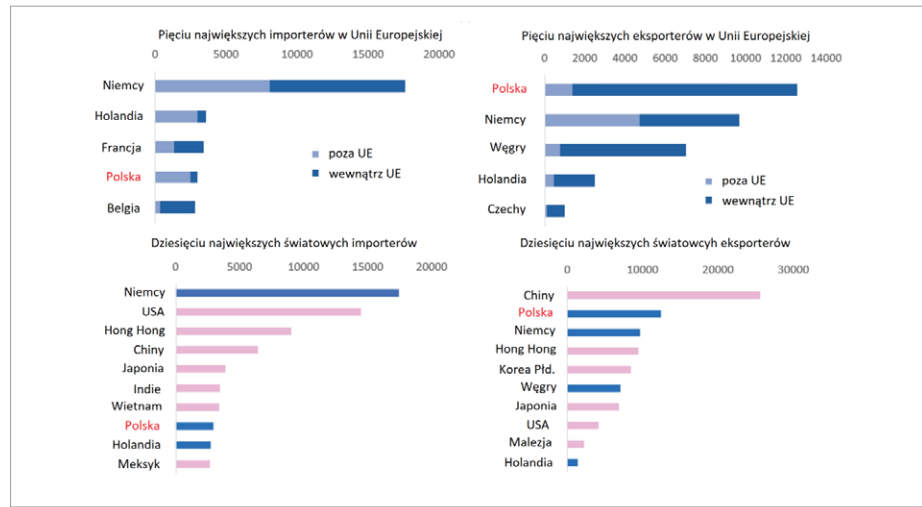
Rynek Home Energy Management (HEM) przechodzi znaczące zmiany. Inteligentne liczniki jako „menedżerowie” energii, sieci domowe (HAN) i inteligentne urządzenia do tej pory nie pojawiły się jeszcze na dużą skalę. Na znaczeniu zyskały inne technologie stojące za licznikiem. Przedsiębiorstwa użyteczności publicznej musiały zmienić sposób myślenia o przestrzeni HEM. Narzędzia kładą teraz nacisk na zaawansowaną analitykę, personalizację i ukierunkowane zaangażowanie użytkowników energii. Cechy te stały się głównymi elementami rozwiązań HEM. W związku z tym oczekuje się, że zwiększą one wzrost i popyt na rozwiązania do zarządzania energią w domu i na rynku regio-



Rys. 2. Gęstość energii dla obecnie stosowanych ogniw w magazynach energii (na podstawie [1])



Rys. 7. Porównanie kosztów magazynowania energii w przeliczeniu na ilość możliwej do zmagazynowania energii w USD/MWh (na podstawie [3])



Rys. 8. Pozycja Polski na światowym rynku baterii, eksport i import w mln EUR w latach 2019–2021 (na podstawie [1] i danych EUROSTAT)

nalnym. Globalny rynek systemów zarządzania energią w domu osiągnął wartość 2,1 miliarda USD w 2021 roku i oczekuje się, że osiągnie 6 miliardów USD do 2027 roku. Kluczowymi graczami w tym krajozobrazie konkurencyjności są: Honeywell International Inc., Nest Labs Inc., Vivint Inc., General Electric Company, Ecobee Inc., Alarm.Com, Comcast Cable (Xfinity), Panasonic Corporation, Ecofactor Inc. i Energyhub Inc.

Inteligentne ładowanie pojazdów elektrycznych

Chociaż zainstalowana infrastruktura do ładowania pojazdów elektrycznych (w tym szybkie ładowarki oraz ładowarki publiczne) nie zakłada funkcjonowania inteligentnego ładowania pojazdów elektrycznych, oczekuje się, że rosnąca liczba pojazdów z takim napędem, wraz z ros-

nącą instalacją nowych stacji ładowania, przyspieszy rozwój ich inteligentnego ładowania. Inteligentne ładowanie optymalizuje rozproszenie energii i prowadzi do znacznych oszczędności dla operatorów sieci, operatorów punktów ładowania, właścicieli punktów ładowania i kierowców pojazdów elektrycznych. Inteligentne ładowanie pojazdów elektrycznych może oferować ogromne możliwości systemom zasilania. Pojazdy elektryczne i ich akumulatory dzięki inteligentnym technikom ładowania poprawiają elastyczność sieci, ułatwiając transformację energetyczną, i zapewniają stałą równowagę systemów zasilania. Wysiłki normalizacyjne w zakresie elektromobilności w przeszłości koncentrowały się na tradycyjnych kwestiach elektrotechnicznych, takich jak: standaryzacja wtyczek, gniazd i bezpieczeństwo elektryczne. Aby

jednak zapewnić kompatybilność i komunikację między punktami ładowania, sieciami dystrybucji energii elektrycznej i pojazdami elektrycznymi, należy również ujednolicić odpowiednie interfejsy komunikacyjne i modele danych. Obecni kluczowi gracze na rynku inteligentnego ładowania pojazdów elektrycznych to: ABB (Szwecja, Szwajcaria), Bosch Automotive Service Solutions Inc. (Niemcy), Schneider Electric (Francja), GreenFlux i Alfen N.V. (Holandia), Virta (Finlandia), Driivz i Tesla (USA).

Rodzaje inteligentnego ładowania pojazdów elektrycznych

Inteligentne ładowanie obejmuje różne opcje cenowe i techniczne ładowania, występuje ono w trzech podstawowych wariantach:

- » V1G – jednokierunkowe, kontrolowane ładowanie, w którym infrastruktura ładowania dostosowuje swoją stawkę ładowania w oparciu o wymagania sieci;
- » V2G – dwukierunkowe, gdzie akumulator pojazdu jest wykorzystywany do zwracania energii do sieci w okresach dużego zapotrzebowania, a pojazd jest ładowany poza godzinami szczytu: pojazd pozostaje podłączony, a inteligentny system zarządzania ładowaniem odpowiednio dostosowuje kierunek;
- » V2H-B – pojazd do domu lub budynku: energia zmagazynowana w akumulatorze pojazdu dostarcza energię do domu lub budynku w oparciu o bezpośrednie zapotrzebowanie; akumulator jest ładowany, gdy zapotrzebowanie spada.

W V1G kierowca, host miejsca ładowania samochodu elektrycznego lub agregator mogą zostać nagrodzeni tylko za dostosowanie tempa ładowania w górę lub w dół w porównaniu z początkową mocą ładowania. W V2G pojazdy elektryczne mogą odpowiednio ładować i odprowadzać energię elektryczną z i do sieci. W przeciwieństwie do rozwiązań V1G, V2X nie zostało jeszcze w pełni wprowadzone na rynek – z wyjątkiem Japonii, gdzie komercyjne rozwiązania V2H są dostępne od 2012 r. jako źródło zapasowe na wypadek awarii zasilania.

Zaawansowana infrastruktura pomiarowa

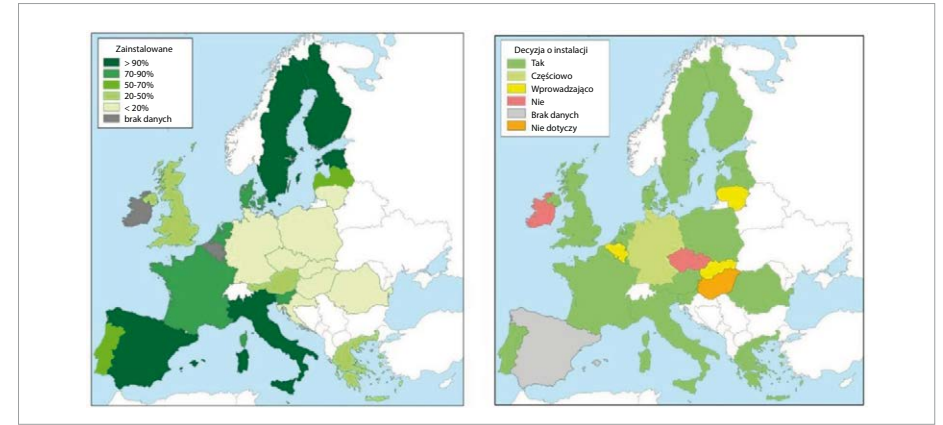
Aby inteligentna infrastruktura techniczna przekładała się na poprawę wskaźników ekonomicznych sieci i dawała wymierne efekty z zastosowanych magazynów energii, konieczne jest stosowanie inteligentnych liczników energii. Na całym świecie zainstalowanych jest

obecnie 1,2 miliarda inteligentnych liczników. Podczas gdy Stany Zjednoczone, Kanada, UE i Australia wcześniej przyjęły tę technologię, kraje azjatyckie, takie jak Chiny, Japonia i Korea Południowa, odnotowują obecnie ogromny wzrost liczby instalacji. Na szczeblu europejskim stan wdrażania inteligentnych liczników jest dość niejednorodny. Niektóre kraje (Włochy, Szwecja, Finlandia, Estonia i Hiszpania) ukończyły już 90% nowych instalacji, ale w wielu krajach liczniki inteligentne stanowią mniej niż 50% ogółu (Austria, Grecja, Wielka Brytania) lub są prawie nieobecne – w krajach, gdzie wdrażanie inteligentnych liczników prawie się nie rozpoczęło (Chorwacja, Węgry, Irlandia, Polska, Rumunia, Belgia, Czechy, Niemcy, Litwa, Słowacja). **Rysunek 9.** przedstawia stan implementacji inteligentnych liczników energii w krajach Unii Europejskiej, a **rysunek 10.** w wybranych krajach świata.

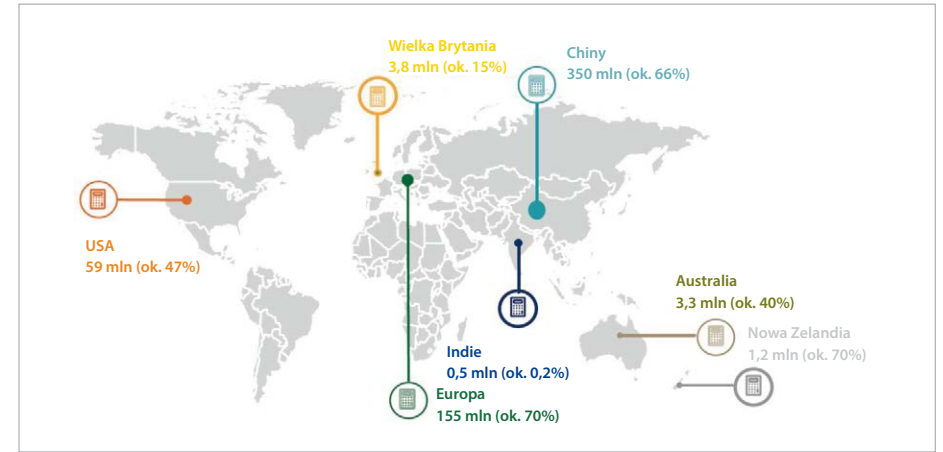
Inteligentny magazyn energii

Stosując technologię inteligentnego ładowania i rozładowania magazynów energii, należy wziąć pod uwagę przede wszystkim następujące czynniki:

- » **Ograniczenia sieci** – zużycie energii (w tym przez pojazdy elektryczne) zmienia się w ciągu dnia, akumulatory są napełniane i stopniowo przestają się ładować. Jeśli zapotrzebowanie przekroczy lokalną maksymalną wydajność, może to spowodować awarię zasilania. Inteligentne ładowanie dostosowuje moment i prędkość ładowania, biorąc pod uwagę zarówno zapotrzebowanie na energię elektryczną u odbiorców, jak i potrzeby ładowania magazynów energii. Jeżeli zastosowane byłyby jako magazyny akumulatory w samochodach, również liczba pojazdów ładujących się w danym miejscu może ulec zmianie;
- » **Dynamiczne ceny energii** – uwzględnienie zmian cen energii całkowicie zmienia algorytm sterowania sieci smart grid, zmieniające się w czasie (w skrajnym przypadku on-line) ceny energii oferują więcej możliwości optymalizacji inteligentnego ładowania i rozładowywania magazynów energii, należy jednak pamiętać również o bezpieczeństwie zasilania – nie tylko o obniżeniu opłat za energię elektryczną w danym okresie czasu;
- » **Lokalna energia odnawialna** – inteligentne ładowanie wykorzystuje lokalne źródła energii odnawialnej. Jeśli lokalna energia jest dostępna, inteligentne ładowanie może przesłać niewykorzystaną energię bezpośrednio



Rys. 9. Inteligentne liczniki energii w krajach Unii Europejskiej (na podstawie [2])



Rys. 10. Inteligentne liczniki energii w wybranych krajach świata (na podstawie [2])

do magazynu energii. Skutkuje to dodatkową pojemnością i szybszym ładowaniem czystą, darmową energią;

- » **Wymagania użytkownika** – są ważnym, jeżeli nie kluczowym czynnikiem, który należy wziąć pod uwagę w sieciach smart grid. Aby zapewnić najlepsze efekty pracy magazynów energii, wskazany jest jakiś sposób interakcji użytkowników z inteligentnym ładowaniem (np. poprzez określenie preferencji użycia energii). Można to osiągnąć na przykład za pomocą aplikacji mobilnych.

Podsumowanie

Z przedstawionych wybranych kluczowych zagadnień związanych z wykorzystaniem magazynów energii w sieciach smart grid wynika, że najbardziej istotnym czynnikiem efektywnej współpracy magazynu energii z siecią inteligentną są odpowiednio dobrane algorytmy sterujące, uwzględniające preferencje użytkownika, i na ich podstawie umożliwiające optymalne wykorzystanie posiadanej infrastruktury technicznej, bieżącej generacji ze źródeł odnawialnych oraz optymalizujące koszty zakupu energii z innych niż własne źródła.

Literatura

1. *Clean energy technology observatory: Batteries for energy storage in the European Union*, ISSN 1831-9424, 2022.
2. *Clean energy technology observatory: Smart Grids in the European Union*, ISSN 1831-9424, 2022.
3. Lazard, *Lazard's levelized cost of storage analysis*, ver. 4.0, dostępne: <https://www.lazard.com/media/450774/lazards-levelized-cost-of-storage-version-40-vfinal.pdf>, 2018.
4. T. Bakoń, *Wybrane metody magazynowania energii i ich zastosowanie w systemie elektroenergetycznym*, „elektro.info” 7-8/2020, s. 74–77.

ABSTRACT

The role of energy storage in smart grid networks
The article presents several key issues related to energy storage in smart grid networks. The variety of applications considered only through the examples presented in this article indicates that the role of energy storage in power grids will grow and it will be bigger the smarter the network becomes.
Keywords: smart grid, energy storage, smart buildings.

dr inż. Karol Kuczyński – Politechnika Warszawska

Sposoby odzyskiwania oraz magazynowania energii w aplikacjach elektromobilnych i zasilania gwarantowanego – przegląd wybranych metod i perspektywy rozwoju

Systemy pozyskiwania energii elektrycznej ze zjawisk występujących w otaczającym nas środowisku znane są pod dwiema nazwami – ang. *energy harvesting (EH)* i *energy scavenging*. Nazwy te nie doczekały się jednoznacznego tłumaczenia na język polski i generalnie obie dotyczą tych samych zjawisk i metod odzyskiwania (przetwarzania) energii z otoczenia. Czasami w literaturze użycie tych nazw uzależnione jest od charakteru przetwarzanej energii. Nazwa *energy scavenging* stosowana jest wówczas, gdy rodzaj źródła energii i jego wydajność nie są znane, natomiast *energy harvesting* stosuje się do sytuacji, kiedy źródło potencjalnej energii jest dobrze opisane [1].

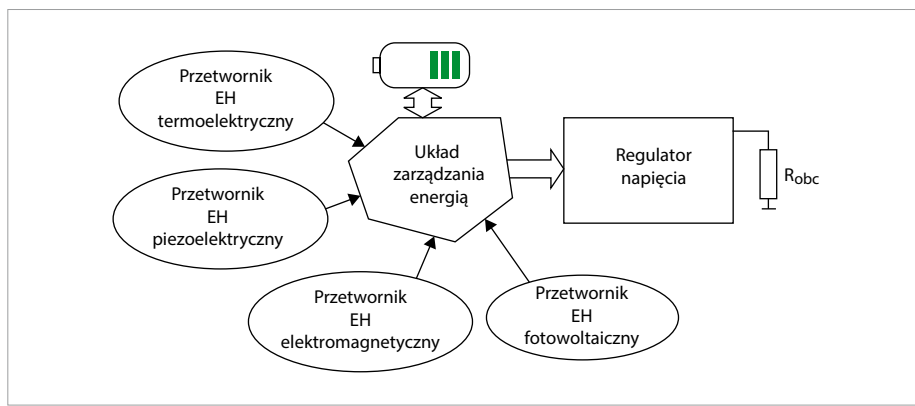
Dynamiczny rozwój aplikacji wymagających autonomicznych źródeł energii sprzyja szybkiemu rozwojowi technologii EH. Głównym obszarem zastosowania EH są bezprzewodowe sieci sensorów, gdzie zapotrzebowanie energetyczne pojedynczego autonomicznego węzła zależy od aktualnego trybu pracy [1]. W stanie czuwania zapotrzebowanie na energię elektryczną zazwyczaj nie przekracza kilkunastu μW , a w czasie pomiaru – 100 μW . Największe zapotrzebowanie występuje w trakcie przesyłania informacji i zawiera się w granicach od 0,1 do 1 mW, w zależności od rodzaju algorytmu transmisji czy wykorzystywanego medium. Takie wartości zapotrzebowania energetycznego jednoznacznie wskazują na możliwość zastosowania generatorów EH jako jedynych źródeł zasilania autonomicznego węzła pomiarowego [1].

Dodatkowym obszarem zastosowania technologii EH są systemy ładowywania baterii akumulatorów wykorzystywanych w większych systemach pomiarowych, gdzie istnieją tradycyjne sposoby ładowania akumulatorów

STRESZCZENIE

W artykule omówione zostały wybrane rozwiązania w zakresie odzyskiwania energii z otoczenia (*energy harvesting* – EH) i możliwości ich zastosowania w aplikacjach elektromobilnych oraz zasilania innych odbiorników energii elektrycznej.

Słowa kluczowe: odzysk energii z otoczenia, energy harvesting, magazyny energii, elektromobilność.



Rys. 1. Koncepcja systemu zasilania integrującego wiele źródeł EH [2]

[1]. Innym przykładem ładowywania baterii może być rozwiązanie polegające na zastosowaniu generatorów: termoelektrycznego (TEG), fotowoltaicznego (PV) i elektromagnetycznego przetwornika fal radiowych (RF) do zasilania bezprzewodowego pilota radiostacji R35010 firmy Radmor S.A. [2].

Ciekawostką jest, że promieniowanie elektromagnetyczne radiowe możemy pozyskiwać z otoczenia, to jest urządzeń emitujących fale radiowe w szerokim zakresie częstotliwości od 3 kHz do 30 GHz [2]. Pozwalają one na pozyskiwanie energii z aktywnych transmisji rozświeczonych (TV, radio, Wi-Fi), jak i celową bezprzewodową transmisję energii na wybranych częstotliwościach [2]. Pozyskiwanie energii promieniowania RF (*Radio Frequency*) wykorzystywane jest między innymi dla zapewnienia zasilania w układach aktywnej identyfikacji RFID, wykorzystywanych w systemach logistycznych,

śledzenia ruchu w obiektach, układach kontroli dostępu. Kierunki prac badawczych skupiają się na paśmie od 935 MHz, częstotliwość użytkowana przez systemy GSM – do 2,4 GHz, częstotliwość wykorzystywana przez urządzenia Wi-Fi. We wskazanym zakresie fal radiowych anteny odbiorcze mają wymiary nieprzekraczające kilkudziesięciu cm^2 , co w zasadniczy sposób wpływa na sam rozmiar harwestera [2]. Układy odbiorcze pozwalają na generowanie nawet do 100 mW mocy w bezpośrednim sąsiedztwie urządzeń nadawczych. Ilość uzyskanej energii zależy od mocy źródła promieniowania RF, odległości od źródła oraz od konstrukcji anten odbiorczych [2].

Ilość uzyskanej energii

Współczesne systemy EH występują zarówno w skali makro, jak i mikro. Gęstości uzyskiwanych energii wahają się od pojedynczych $\mu\text{W}/\text{cm}^2$,

w przypadku wykorzystywania zjawisk elektromagnetycznych, do 15000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ – w przypadku wykorzystywania zjawisk fotowoltaicznych. W tabeli 1. przedstawiono zestawienie uzyskiwanych średnich ilości mocy dla najczęściej wykorzystywanych generatorów EH.

Ze względu na bardzo duże zróżnicowanie pod względem rodzaju, kształtu, przebiegów czasowych i parametrów wielkości elektrycznych uzyskiwanych na wyjściu przetworników EH oraz czasowej wydajności samych źródeł, typowy generator EH musi być wyposażony w przeznaczony dla niego układy zarządzające uzyskiwaną energią. W celu zapewnienia poprawnego funkcjonowania danego podsystemu elektronicznego lub węzła pomiarowego, np. czujnika lub mikrokontrolera, z reguły konieczna jest modyfikacja (kondycjonowanie) wytwarzanej przez przetwornik EH wielkości elektrycznej w celu dostarczenia odpowiedniego napięcia zasilania. Wiele źródeł w ogóle nie gwarantuje ciągłego dostarczania energii. Przykładem jest ogniwo fotowoltaiczne, którego wydajność w ciągu dnia zależy od zachmurzenia i położenia słońca, a w nocy przy pełnym zachmurzeniu i zamgleniu prawie całkowicie zanika. W przypadku źródeł kinetycznych bazujących na energii drgań wytwarzana moc będzie zależna od amplitudy i częstotliwości drgań, które z reguły są zmienne. Powyższe cechy źródeł wymagają w większości przypadków zorganizowania procesu gromadzenia energii, która będzie w sposób kontrolowany dostarczana do danego podsystemu. Stąd poza układami przetworników EH w strukturze generatora występują układy zarządzania energią, magazyny energii i regulatory dopasowujące postać pobieranej energii do wymagań stawianych przez urządzenie [1, 2]. Strukturę układu zasilania wykorzystującego technologię wielu źródeł EH, uwzględniającą wymóg zarządzania i kondycjonowania wielkości wyjściowej, przedstawiono na rysunku 1.

Akumulator, bateria czy superkondensator jako potencjalne magazyny energii są niewrażliwymi punktami układu zasilania ze względu na masę i wymiary. Istotnym wymaganiem z punktu widzenia EH jest zdolność do wielokrotnego ładowania i rozładowania zastosowanego magazynu energii, nie wspominając o czasie bezawaryjnej pracy. Z punktu widzenia użytkownika bardzo ważna jest zdolność do akumulacji energii elektrycznej w odniesieniu do jej objętości i masy.

Coraz częściej próbuje się jako alternatywne źródła zasilania wykorzystywać ogniwa paliwowe. Wagowa gęstość energii uzyskiwana

w tego typu źródłach jest średnio trzy do pięciu razy większa niż w akumulatorach Li-ion i do dziesięciu razy większa niż w akumulatorach Ni-Cd czy Ni-MH. Problemem przy zastosowaniu ogniwi paliwowych jest konieczność ich napełniania w trakcie okresu użytkowania. W obecnie stosowanych urządzeniach najczęściej wykorzystywane są baterie litowe bądź akumulatory litowo-jonowe w wersjach cienkowarstwowych [1].

Zastosowania elektromobilne

Dotychczas powodem ograniczonego stosowania rozwiązań odzysku energii z otoczenia była mała sprawność przekształcania energii oraz wysoki koszt wytwarzania niezbędnych do tego celu urządzeń (tzw. harwestarów). Kluczowe znaczenie ma też malejące zużycie energii przez mikrosystemy, co powoduje, że źródła energii o mocy mili-, a nawet mikrowatów mają praktyczne znaczenie i umożliwiają wyeliminowanie tradycyjnych układów zasilania z zastosowaniem systemów kablowych czy baterii lub akumulatorów [2, 3, 4].

Możliwość pozyskania energii przez EH staje się realnym sposobem zwiększenia energii dostępnej w pojazdach i transporcie szynowym. Przekształca się w tym celu energię ruchu (kinetyczna), ciepła, światła, pola elektromagnetycznego i innych źródeł. Energię tę można wykorzystać na wiele sposobów, w zależności od uzyskanej mocy [2, 3, 4]:

- » rzędu miliwatów [mW] lub mniej – do zasilania bezprzewodowych czujników i elementów wykonawczych,
- » rzędu watów [W] – do samowystarczального zasilania wybranych elementów oświetlenia wewnętrznego; w przypadku gromadzenia energii (np. w superkondensatorach) może też służyć do zasilania klimatyzacji i wybranych podzespołów,
- » rzędu kilowatów [kW] – do ładowania akumulatorów trakcyjnych lub superkonden-

satorów (w przypadku pojazdów elektrycznych lub/i hybrydowych), dostarczających z kolei energię do elektrycznych silników trakcyjnych.

Od ponad dekady naukowcy badają [3] metody uzyskiwania energii elektrycznej z pól magnetycznych występujących w otoczeniu.

Panele słoneczne w transporcie

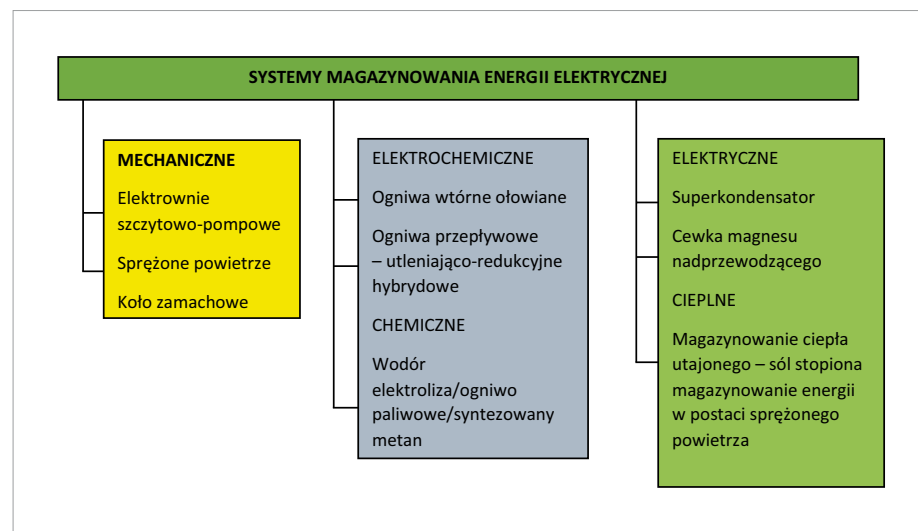
Dobrze opanowaną technologią EH jest pozyskiwanie energii z paneli słonecznych zintegrowanych z dachem samochodu. Firma Webasto od 1989 roku wytworzyła ponad 250 000 zestawów dla takich producentów samochodów jak Audi, Volkswagen, Skoda, Seat, Bentley i Maybach. Najnowsze generacje dachów umożliwiają uzyskanie mocy ponad 100 W, przy sprawności ogniwi rzędu 17% i służą do zasilania wentylacji, a także do ładowania akumulatorów. Jednocześnie oferuje się stacjonarne układy paneli słonecznych montowanych w garażu/domu do stacjonarnego zasilania akumulatora lub superkondensatora [3, 4, 5]. Szacuje się, że technologia solarna z paneli zintegrowanych z dachem umożliwi pokonanie przez samochód na każde 100 km dodatkowo dystansu 6–8 km, obniżając w ten sposób zużycie paliwa.

Generatory termoelektryczne

Generatory termoelektryczne (ang. *Thermoelectric Generators* – TEGs) wykorzystują efekt Seebecka, by wytworzyć prąd i efekt Peltiera w klimatyzacji [1]. Najwięcej ciepła zawierają spaliny, gdyż dwie trzecie energii ze spalania w pojeździe jest tracona w postaci ciepła odpadowego, z czego 40% w postaci gorących spalin. Dzięki zastosowaniu TEGs można odzyskać efektywnie – w postaci prądu – nawet do 5% energii [1, 5]. Układ TEG wymaga wysokich temperatur i zazwyczaj przystosowany jest do pracy w zakresie 400–800°C. Ostatnio badane są tzw. dwustopniowe układy o większej sprawności,

Źródła energii EH	Przetworniki EH	Średnia ilość uzyskiwanej mocy
Promieniowanie elektromagnetyczne	Panele fotowoltaiczne dla promieniowania słonecznego	1500 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (energia słoneczna 1 kW/m^2)
	Anteny RF dla fal elektromagnetycznych	20 mW
Kinetyczna	Turbiny wiatrowe	3,5 mW/ cm^2
	Generatory piezoelektryczne	500 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
	Generatory elektromagnetyczne	4,0 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
	Generatory elektrostatyczne	3,5 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Termoelektryczna	Ogniwa Peltiera	40 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$; 100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (przy $T = 5^\circ\text{C}$)

Tab. 1. Przykłady przetworników EH i generowanej gęstości mocy [1]



Rys. 2. Klasyfikacja systemów magazynowania energii elektrycznej [5]

które zastosowano po raz pierwszy w samochodach BMW. Generator typu TEG, zainstalowany w 2007 roku przez firmę BMW, umożliwiał uzyskanie mocy 200 watów, następnie już 600 watów, a obecnie wdrażany jest model, który zapewni moc 1–2 kW [1–6].

I Układy magazynowania energii

W zależności od formy możemy wyróżnić kilka rodzajów systemów magazynowania energii [5–9]: mechaniczne, elektrochemiczne, elektryczne, ciepłone.

Energię można również magazynować w małych rozproszonych magazynach energii. Jako magazyny energii możemy rozpatrywać [5–10]:

- » elektrownie szczytowo-pompowe,
- » zasobniki ze sprężonym powietrzem,

- » energię kinetyczną, wirujących mas,
- » akumulatory chemiczne,
- » wodorowe ogniwa paliwowe.

Elektrochemiczne zasobniki energii są najpowszechniej stosowanymi urządzeniami umożliwiającymi magazynowanie energii elektrycznej. Energia jest przechowywana w formie potencjału elektrochemicznego, a energia elektryczna jest generowana dzięki reakcjom elektrochemicznym zachodzącym w elektrolicie oraz na styku elektrolitu i elektrod. Elektrochemiczne zasobniki energii można podzielić na trzy podstawowe grupy [7]: akumulatory, baterie przepływowe, ogniwa paliwowe.

Akumulatory mogą być ponownie użyte po naładowaniu, generalnie stosuje się w nich elektrody – zarówno jako części procesu przejścia

elektronów, jak i do składowania produktów bądź substratów. Umożliwiają budowę dużych zasobników energii. Chcąc uzyskać określone parametry elektryczne takiego systemu, pojedyncze akumulatory łączy się szeregowo-równolegle w moduły. Dzięki temu można budować układy wyższych napięć i mocy. W dużych zasobnikach baterijnych stosuje się różne technologie (kwasowo-ołowiowe, niklowo-kadmowe, sodowo-siarkowe, litowo-jonowe itp.), zróżnicowane pod względem budowy pojedynczych akumulatorów [7].

Baterie przepływowe są bateriami rewersyjnymi, w których magazynowanie energii elektrochemicznej odbywa się za pośrednictwem dwóch elektrolitów, przechowywanych w odrębnych zbiornikach, i specjalnego ogniwa wyposażonego w membranę przepuszczalną, która separuje oba elektrolity. W czasie rozładowania oba elektrolity przepływają przez ogniwo, a membrana, która jest przepuszczalna dla jednej z substancji, umożliwia wymianę jonów pomiędzy elektrolitami. W procesie ponownego ładowania potencjał elektryczny przywraca właściwości chemiczne elektrolitów. Jedną z przewag tej technologii jest możliwość niezależnego doboru mocy i pojemności baterii. Oznacza to, że ogniwa są wymiarowane na moc wyjściową, zaś zbiorniki elektrolitowe – pod wymaganą pojemność. Inną ciekawą zaletą tych baterii są dwa sposoby ich ładowania. Można je ładować elektrycznie lub wymieniając elektrolity zużyte w trakcie procesu rozładowania na „naładowane”, z czym wiąże się duże nadzieje w kontekście wykorzystania tych baterii w przemyśle motoryzacyjnym.

Interesującym rozwiązaniem może być zastosowanie kontenerowego magazynu energii pokazanego na **fotografii 1**. do zasilania rozbudowanego układu zasilania gwarantowanego.

W ogniach paliwowych zachodzi bezpośrednia konwersja energii chemicznej paliwa (najczęściej wodoru) w energię elektryczną, co jest ich istotną zaletą. Istnieje w tym przypadku potencjalna możliwość uzyskiwania sprawności wyższej, niż to ma miejsce w konwencjonalnym cyklu wytwarzania energii elektrycznej.

Magazynowanie energii w układach z wykorzystaniem ogniów paliwowych odbywa się dzięki magazynowaniu wodoru. Wodór może być magazynowany w stanie gazowym, ciekłym lub też może być „uwięziony” w związkach chemicznych (np. w metanolu) [7]. Najprostszym sposobem pozyskania wodoru jest przeprowadzenie elektrolizy wody (proces ładowania zasobnika). Tak otrzymane „paliwo” chemiczne (wodorowe) jest wykorzystywane do wytwarzania energii

elektrycznej w ogniwie paliwowym (proces rozładowania zasobnika) – mniejsze moce; można również zmagazynowany wodór wykorzystać w układach kombinowanych – wyższe moce.

Zasada działania wszystkich ogniów paliwowych jest podobna, pomimo tego opracowano wiele typów ogniów charakteryzujących się znacznym zróżnicowaniem parametrów eksploatacyjnych w zależności od rodzaju zastosowanego paliwa, elektrolitu i temperatury pracy (80–1000°C), a tym samym o różnych możliwościach ich wykorzystania.

I Podsumowanie

Aktualnie zakłada się, że EH może być efektywnym źródłem „bezkosztowego” (po pominięciu kosztów instalacji i ewentualnego serwisu) zasilania urządzeń małej mocy (np. urządzenia elektroniczne, układy sensorów itp.). Z tego powodu możemy zaobserwować wzrost zainteresowania aplikacjami cywilnymi i militarnymi. Zakłada się, iż w przyszłości rozległe systemy harvestingu będą również źródłem energii elektrycznej dużej mocy. Natomiast sektor magazynów energii rozwija się dynamicznie i należy spodziewać się, że w kolejnych latach będzie powiększał swoje możliwe implementacje. Koncepcja roz-

wiązania i wybór technologii są ściśle powiązane z zapotrzebowaniem na dane rozwiązania [5].

I Literatura

1. A. Michalski (red.), Wybrane aspekty zastosowania technologii „energy harvesting” w zasilaniu bezprzewodowych sieci sensorowych, Wyd. WAT 2017.
2. K. Górski, M. Kozieł, J. Zawadzki, K. Rosińska, Układy do pozyskiwania energii elektrycznej małej mocy, „Przegląd Elektrotechniczny”, R. 98 nr 2/2022, doi:10.15199/48.2022.02.19.
3. J. Kaleta, Materiały magnetyczne SMART – budowa, wytwarzanie, badanie właściwości, zastosowanie, OW Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013.
4. Shashank Priya, D. J. Inman (red.), Energy harvesting technologies, Springer Science+Business Media, LLC 2009.
5. V. Jovovic, Thermoelectric Waste Heat Recovery Program for Passenger Vehicles, United States: Gentherm LLC, Final Technical Report DE-EE0005387, 2016.
6. K. Kuczyński, G. Parzonko, Możliwości odzyskiwania energii z otoczenia (energy harvesting) i inne sposoby zasilania pojazdów elektrycznych, „elektro.info” nr 11/2019, s. 58–61.

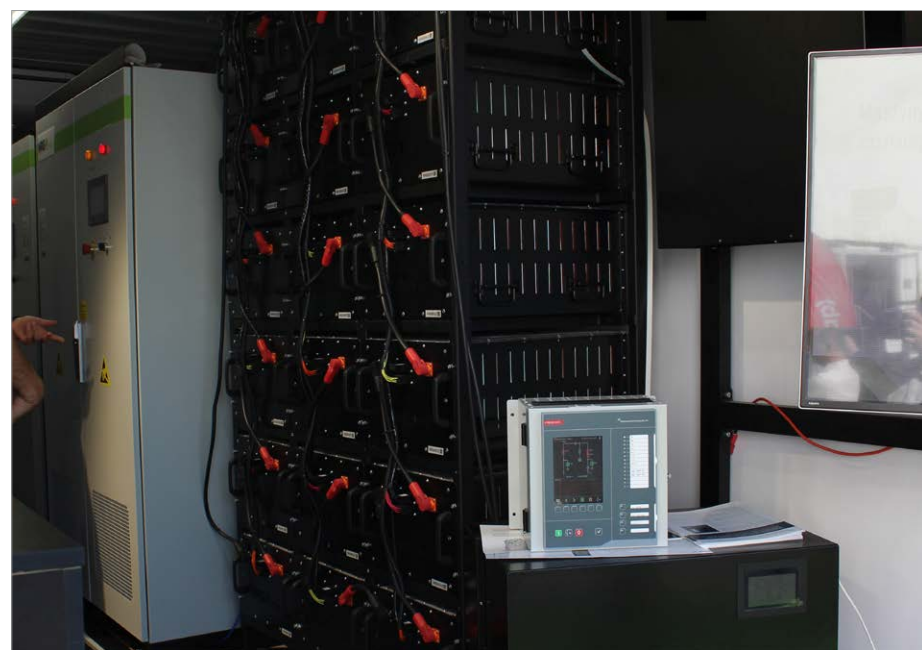
7. J. Paska, Zasobniki energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym – zastosowania i rozwiązania, „Przegląd Elektrotechniczny”, R. 88 nr 9a/2012,
8. M. Iwanicki, Sposoby magazynowania energii elektrycznej, „Urządzenia dla energetyki” 2/2013.
9. K. Bednarek, L. Kasprzyk, Zasobniki energii w systemach elektrycznych – charakterystyka problemu, Academic Journals, Electrical engineering, No 69, Poznan University of Technology, Poznań 2012.
10. M. Żurek-Mortka, K. Kuczyński, Magazynowanie energii w zasilaczach UPS, „elektro.info”, nr 7–8/2022.

ABSTRACT

Ways of Recovering and Storing Energy in Electromobile and Guaranteed Power Applications – Overview of Selected Methods and Development Prospects

The article discusses selected solutions in the field of energy harvesting (EH) from the environment and the possibility of using them in electromobile applications and power supply.

Keywords: energy harvesting, energy storage, electromobility.



Fot. 1. Przykład kontenerowego magazynu energii fot. JT



Profesjonalne szkolenia dla elektryków online!

Ewakuacja ludzi z płonącego budynku i jej wspomaganie. Oświetlenie awaryjne i ewakuacyjne

Dostępne od ręki o każdej porze i bez względu na to, gdzie jesteś!

www.kursy.elektro.info.pl

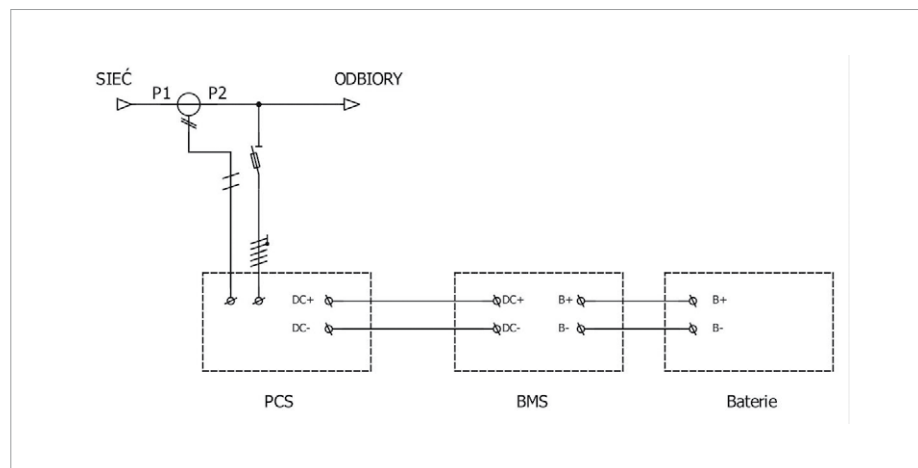
Współpraca instalacji fotowoltaicznej i magazynu energii w trybie harmonogramu czasowego – analiza przepływów mocy

Cel stosowania bateryjnych magazynów energii

Bateryjne magazyny energii coraz częściej stanowią istotny element układu elektroenergetycznego w obiektach przemysłowych i biurowych. Podobnie jak pozostałe składowe takiego układu, ich zastosowanie wynika z potrzeby uzyskania określonych efektów technicznych oraz ekonomicznych. W rozpatrywanych obiektach do najważniejszych zadań magazynów energii można zaliczyć:

- » zwiększenie wykorzystania energii elektrycznej generowanej w źródłach odnawialnych (tzw. autokonsumpcji), w szczególności fotowoltaicznych, które często są instalowane na terenie przemysłowym lub na dachach czy też elewacjach budynków [1, 2],
- » ograniczenie zapotrzebowania na moc szczytową obiektu,
- » ograniczenie kosztów zakupu energii elektrycznej dla wielotaryfowych układów rozliczeń.

Generacja energii w źródłach fotowoltaicznych ma charakter stochastyczny. O ile poziom wytwarzanej energii można w pewnym stopniu prognozować (zwłaszcza w dłuższych przedzia-



Rys. 1. Schemat ideowy połączenia poszczególnych elementów magazynu energii

łach czasu), o tyle w krótszych interwałach jest to zagadnienie trudniejsze. Z kolei pobór energii w obiektach biurowych i przemysłowych bywa bardziej uporządkowany, co wynika z przewidywalnego harmonogramu pracy. Nałożenie się profilu generacji z PV oraz profilu zapotrzebowania często prowadzi jednak do niepełnego wykorzystania energii wytworzonej na miejscu. W określonych godzinach pojawia się nadpodaż energii czynnej, którą można oddać do sieci (nie zawsze przy korzystnej cenie) albo zmagazynować. Zgromadzona energia może następnie zostać wykorzystana w godzinach zwiększonego zapotrzebowania lub w okresach obowiązujących droższej taryfy.

Przekroczenia mocy zamówionej są rejestrowane w rozliczeniach za energię elektryczną i powodują dodatkowe koszty. Ograniczenie tych kosztów można uzyskać poprzez stosowanie urządzeń typu strażnik mocy [3], jednak rozwiązanie to wymaga redukcji mocy pobieranej przez odbiory w obiekcie. Alternatywą jest zastosowanie magazynu energii, który oddaje energię w okresach wzrostu obciążenia, tak aby nie ograniczać zapotrzebowania wewnętrznego, a jednocześnie zmniejszyć pobór

z sieci do poziomu mocy zamówionej określonej w umowie.

W układach rozliczeń wielotaryfowych, w których rozróżnia się okresy szczytowe i pozaszczytowe, możliwa jest dalsza redukcja kosztów energii. Ustalenie odpowiedniego harmonogramu cykli ładowania i rozładowania magazynu pozwala na zakup i akumulację energii w godzinach niższych stawek taryfowych, a następnie jej wykorzystanie w okresach droższych. W konsekwencji ogranicza się zapotrzebowanie na zakup energii w godzinach szczytowych, co przekłada się na niższe koszty funkcjonowania odbiorcy. Nowoczesne magazyny energii umożliwiają realizację opisanych zadań zarówno niezależnie, jak i łącznie, co stanowi jeden z kluczowych elementów oceny opłacalności inwestycji w baterijny magazyn energii. Przyjętą strategię sterowania ukierunkowano na minimalizację kosztu energii poprzez ograniczenie importu z sieci w godzinach strefy droższej oraz zwiększenie poboru (ładowania) w strefie tańszej, z uwzględnieniem ograniczeń mocy ładowania i rozładowania. W analizie rozróżniono energię pobraną z sieci (import) oraz energię oddaną do sieci (eksport), co pozwala jed-

nocześnie ocenić wpływ pracy magazynu na bilans energii w obu strefach taryfowych.

Budowa bateryjnych magazynów energii

Magazyn energii składa się z kilku kluczowych komponentów:

- » moduły baterii,
- » system zarządzania bateriami (BMS – Battery Management System),
- » inwerter do dwukierunkowego przesylu mocy (PCS – Power Conversion System),
- » system zarządzania magazynem energii (EMS – Energy Management System).

Elektryczne połączenia między wymienionymi komponentami magazynu energii przedstawiono na **rysunku 1**. Moduły bateryjne połączone są bezpośrednio do modułu BMS, który zarządza ich pracą. Liczba i pojemność modułów bateryjnych zależą od wielkości magazynu energii. System BMS kontroluje poziom naładowania i rozładowania poszczególnych ogniw oraz ich temperaturę, aby zapewnić długotrwałą i bezpieczną eksploatację [4]. Moduły bateryjne wykorzystują technologię LFP, czyli są to baterie LiFePO₄. Charakteryzują się wysoką stabilnością pracy oraz długą żywotnością. Dwukierunkowy inwerter umożliwia działanie całego magazynu po stronie sieci AC w zakresie ładowania i rozładowania ogniw bateryjnych, zgodnie z programem sterującym zapisanym w systemie EMS.

Jako przykład rozwiązania o większej mocy można wskazać dwukierunkowy przekształtnik magazynowy PCS o mocy znamionowej 125 kW, przeznaczony do pracy w układach on-grid oraz z możliwością przełączania na pracę off-grid. Urządzenie realizuje konwersję DC/AC i AC/DC w systemie trójfazowym (0,4 kV) z szerokim zakresem napięcia po stronie DC 630–1000 V (3P4W) oraz maksymalnym prądem DC 210 A. Po stronie AC dopuszczalne jest napięcie sieci 380/400 V w zakresie –15%...+15%, a częstotliwość pracy wynosi 45–55 Hz/55–65 Hz. Dla pracy sieciowej producent deklaruje współczynnik mocy powyżej 0,99 (dla mocy znamionowej) oraz całkowite odkształcenie prądu THD < 3% (dla mocy znamionowej).

W kontekście jakości energii i dynamiki regulacji istotne są: regulacja czterokwadrantowa mocy czynnej i biernej, możliwość pracy z nastawami (m.in. stała moc, stały prąd DC/AC, stałe napięcie DC), a także deklarowany krótki czas odpowiedzi (rzędu <10 ms) i szybkie przełączanie trybu ładowanie/rozładowanie przy pełnej mocy (rzędu <30 ms). Urządzenie dopuszcza

przeciążenie 110% w pracy długotrwałej oraz 120% przez 1 min, co ma znaczenie przy krótkotrwałych wzrostach obciążenia. Z punktu widzenia integracji systemowej przewidziano interfejsy komunikacyjne RS485 oraz CAN (protokoły Modbus i CAN2.0) oraz kompatybilność z wieloma protokołami BMS.

W zakresie wykonania i warunków środowiskowych przekształtnik ma konstrukcję beztransformatorową, chłodzenie powietrzem (inteligentne) oraz parametry instalacyjne istotne dla doboru miejsca montażu: wymiary 524×535×219 mm, masa 60 kg, poziom hałasu ≤65 dB. Zakres temperatury pracy wynosi –25...60°C (z deratingiem powyżej 45°C), a wysokość instalacji do 3000 m (powyżej – derating). Dostępne są wersje o stopniu ochrony IP65 (wykonanie szczelne) lub IP20 (wersje standardowe).

Przykładowy wygląd komercyjnego magazynu energii o mocy 50 kW i pojemności baterii 100 kWh przedstawiono na **rysunku 2**. Magazyn ten składa się z modułu BMS oraz 23 modułów bateryjnych o pojemności 4,736 kWh każdy. Wewnątrz rozdzielniczy zamontowano inwerter PCS, sterownik HMI w wbudowanym systemem EMS oraz dodatkowy osprzęt i aparaturę zabezpieczeniową. Na tylnej ścianie zamontowano zewnętrzny klimatyzator, zapewniający właściwą temperaturę pracy ogniw bateryjnych i pozostałych elementów magazynu.

Przedstawienie pracy istniejącego magazynu energii dla zwiększenia autokonsumpcji

Dla zakładu o charakterze biurowo-produkcyjnym przedstawiono przebiegi przepływów mocy czynnej. Obiekt dysponuje mocą umowną 42 kW i współpracuje z instalacją fotowoltaiczną o mocy 42 kWp oraz baterijnym magazynem energii o parametrach 50 kW/100 kWh. Trzy zasadnicze części układu – obwód zasilający, instalacja PV oraz magazyn energii – wyposażono w stacjonarne analizatory jakości energii elektrycznej PQI-DA Smart firmy A-Eberle [5]. W analizowanym przypadku moc magazynu energii ograniczono do poziomów: podczas ładowania – 15 kW, natomiast podczas rozładowania – 10 kW. Przyjęte ograniczenia wynikały z założonej strategii pracy magazynu oraz potrzeby utrzymania poboru z sieci na poziomie nieprzekraczającym mocy umownej. Magazyn pracował wyłącznie w trybie harmonogramu czasowego – w godzinach porannego szczytu (od 7:00 do 11:00) oddawał do sieci stałą moc 10 kW, a od 11:00 do 14:00 ładował się z mocą 15 kW. Takie sterowanie pozwalało na reduk-



Rys. 2. Magazyn energii o parametrach 50 kW/100 kWh, rysunek poglądowy

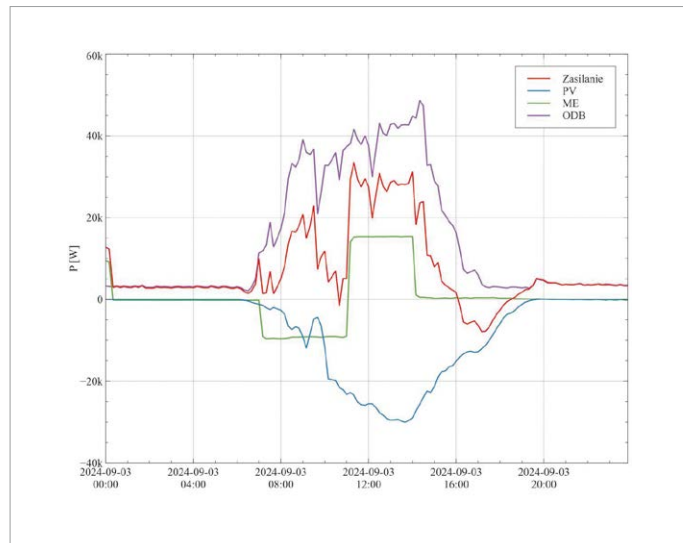
cję poboru w okresie zwiększonego obciążenia oraz gromadzenie energii w przedziale czasowym o korzystniejszych warunkach pracy układu. Zmiany tych zależności zobrazowano na wykresie na **rysunku 3**.

Na **rysunku 3** fioletowa krzywa (ODB) przedstawia zapotrzebowanie na moc czynną odbiorników zainstalowanych w obiekcie. Typowe godziny pracy zaczynają się w okolicach godziny 7:00, koniec pracy następuje między 15 a 16, w zależności od działu. Można zauważyć, że szczytowe zapotrzebowanie na moc przekroczyło poziom 42 kW, czyli moc umowną. Nastąpiło to tuż przed godziną 15. Krzywa generacji mocy z instalacji fotowoltaicznej przypomina typową krzywą dzwonową. Szczytowa generacja mocy osiągnęła poziom ok. 30 kW. Ponieważ ta krzywa jest ciągła, nieposzarpana ani w inny sposób zmienna, można przyjąć, że w rozpatrywanym dniu panowały odpowiednie warunki pogodowe do wysokiej generacji mocy ze źródeł PV, przede wszystkim brak zachmurzenia. Szczytową generację mocy osiągnięto pomiędzy godziną 13 a 14. Jak wspomniano wcześniej, nastawy magazynu energii zostały dobrane tak, aby zminimalizować poranny pobór mocy w godzinach od 7:00 do 11:00. Następnie następowało doładowanie magazynu energii przy wysokiej generacji mocy z instalacji PV. Dzięki temu energia generowana z fotowoltaiki w jednym dniu była konsumowana przez odbiorcę następnego dnia. Ostatecznie, czerwona krzywa przedstawia pobór i generację mocy z sieci dystrybucyjnej. O godzinie 16 widoczna jest niewielka generacja mocy czynnej do sieci, wynikająca z nadal pracującej instalacji PV przy braku obciążenia ze strony odbiorników. W pozostałych godzinach energia jest pobierana z sieci.

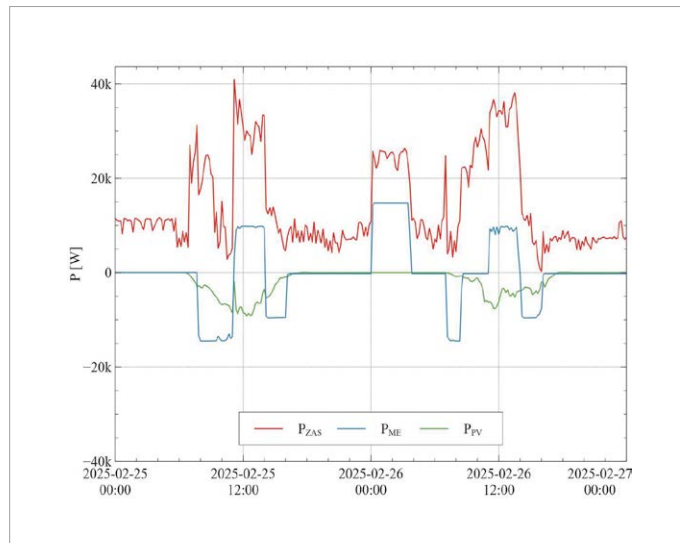
STRESZCZENIE

W artykule omówiono cele stosowania bateryjnych magazynów energii w obiektach biurowych i przemysłowych: zwiększenie autokonsumpcji energii z instalacji fotowoltaicznej, ograniczenie mocy szczytowej (utrzymanie poboru z sieci na poziomie mocy zamówionej) oraz redukcję kosztów zakupu energii w układach wielotaryfowych. Wskazano wpływ stochastycznego charakteru generacji PV i zależności profili obciążenia na sposób doboru i sterowania magazynem. Przedstawiono założenia pracy z harmonogramem ładowania/rozładowania oraz wymagania integracyjne układów BMS/PCS/EMS na przykładzie rozwiązania dla obiektu z PV.

Słowa kluczowe: baterijny magazyn energii (BESS), autokonsumpcja PV, redukcja mocy szczytowej.



Rys. 3. Wykres poboru i generacji mocy dla wybranego dnia roku: PV – generacja mocy z instalacji fotowoltaicznej, ME – pobór i generacja mocy z magazynu energii, ODB – zapotrzebowanie na moc przez odbiorniki, zasilanie – pobór mocy z sieci dystrybucyjnej



Rys. 4. Wykres poboru i generacji mocy dla wybranego dnia roku: PV – generacja mocy z instalacji fotowoltaicznej, ME – pobór i generacja mocy z magazynu energii, ZAS – pobór mocy z sieci dystrybucyjnej

Analiza przepływu tych mocy wykazuje, że w rozpatrywanym dniu roboczym pobór mocy czynnej z sieci był niższy niż zapotrzebowanie na moc ze strony odbiorcy (porównanie krzywej czerwonej i fioletowej). Szczególnie widoczna jest ta różnica w godzinach porannych, gdy przy braku lub niewielkiej generacji energii z instalacji PV moc oddawana z magazynu energii skutecznie uzupełnia ten niedobór. W godzinach południowych, przy wysokiej generacji mocy czynnej z instalacji fotowoltaicznej, zapotrzebowanie na moc z sieci pozostaje ograniczone, nawet przy dodatkowym ładowaniu magazynu energii. Produkowana energia jest częściowo przeznaczona na ładowanie magazynu, a częściowo na bieżącą konsumpcję przez odbiorniki energii elektrycznej. Pomimo wysokiego zapotrzebowania na moc i doładowywania magazynu, moc dostarczana z sieci pozostaje niższa niż zapotrzebowana moc czynna. Wykorzystanie współpracy pomiędzy instalacją fotowoltaiczną a magazynem energii w takim zakresie pozwoliło na zwiększenie autokonsumpcji oraz zmniejszenie zakupu energii od dostawcy w godzinach porannych.

Zapotrzebowanie na energię elektryczną odbiorcy w analizowanym dniu wynosiło 347 kWh, przy czym wielkość tę rozumie się jako energię pobraną przez odbiory obiektu, wyznaczoną przez całkowanie przebiegu mocy (rozumiana jako energia importowana) wyniosła 172 kWh. Instalacja fotowoltaiczna wygenerowała 186 kWh energii czynnej. Bilans magazynu energii określono jako różnicę energii pobranej przez magazyn podczas ładowania

i energii oddanej podczas rozładowania, wyznaczoną na stronie AC na podstawie przebiegu ME. Dodatnia wartość 10 kWh oznacza, że w analizowanym okresie energia doprowadzona do magazynu była większa od energii oddanej, co obejmuje straty konwersji i magazynowania oraz pobór własny układów pomocniczych (m.in. klimatyzatora). Dodatkowa energia została zużyta przede wszystkim na działanie układu klimatyzacji, którego zapotrzebowanie mierzono łącznie ze wszystkimi komponentami magazynu.

Przedstawienie pracy istniejącego magazynu energii dla zwiększenia autokonsumpcji i wykorzystania systemów dwutaryfowych

Dla obiektu jak wyżej została uwzględniona praca w układzie dwutaryfowym, gdzie godziny szczytowe ustawione są od 7 do 11 i od 14 do 16. Pozostałe godziny ustawiono jako pozaszczytowe. Na **rysunku 4.** przedstawiono przebiegi przesyłu mocy czynnej dla magazynu energii (ME), instalacji fotowoltaicznej (PV) oraz z układu zasilania sieci dystrybucyjnej (ZAS). Wartość mocy ze znakiem dodatnim oznacza pobór energii z sieci oraz ładowanie magazynu energii, ze znakiem minus generację energii z instalacji fotowoltaicznej oraz oddawanie energii z magazynu energii do sieci.

Praca magazynu energii uwzględniała jego doładowanie w godzinach nocnych (od północy do siódmej rano). Wielkość tego doładowania była zależna od zgromadzonej energii i różniła

się w poszczególnych dniach pracy (nie pokazano na rysunku). W godzinach porannych następuje oddawanie energii z magazynu w celu ograniczenia porannego zapotrzebowania na moc. W kolejnej części dnia, w godzinach od 11 do 14, następuje doładowanie magazynu energii, gdzie następuje wykorzystanie instalacji fotowoltaicznej. Następnie w drugim szczytowym przedziale czasu następuje oddawanie energii z ME. Praca w takim trybie pozwala na ograniczenie zapotrzebowania na moc czynną zakupioną od spółki dystrybucyjnej, co jest szczególnie istotne przy wyższych cenach w taryfie szczytowej.

Podsumowanie

Baterijne magazyny energii w obiektach biurowych i przemysłowych znajdują zastosowanie przede wszystkim w trzech obszarach: zwiększaniu autokonsumpcji energii z instalacji foto-

ABSTRACT

Operation of battery energy storage systems for increasing self-consumption and utilization of time-of-use tariffs

The paper discusses the main purposes of battery energy storage systems in office and industrial facilities: increasing PV self-consumption, reducing peak demand (keeping grid draw within the contracted power), and lowering energy costs in multi-tariff billing schemes. The impact of the stochastic nature of PV generation and the relationship between PV and load profiles on storage sizing and control is highlighted. A schedule-based charge/discharge strategy is outlined, together with key integration requirements for BMS/PCS/EMS, illustrated by a PV-assisted solution for a commercial facility.

Keywords:

voltaicznej, ograniczaniu mocy szczytowej oraz redukcji kosztów zakupu energii w rozliczeniach wielotaryfowych. Stochastyczny charakter generacji PV, przy jednocześnie bardziej uporządkowanym profilu obciążenia, prowadzi do okresowych nadwyżek energii czynnej. Nadwyżki te mogą zostać oddane do sieci lub zmagazynowane i wykorzystane w godzinach zwiększonego zapotrzebowania, w tym w przedziałach o wyższych stawkach taryfowych. W efekcie magazyn pełni rolę bufora przesuwającego energię w czasie, a przy właściwym sterowaniu umożliwia stabilizację poboru z sieci na poziomie zbliżonym do mocy umownej, bez konieczności redukcji mocy odbiorów.

W części aplikacyjnej przedstawiono przykład zakładu biurowo-produkcyjnego o mocy umownej 42 kW, współpracującego z instalacją PV 42 kWp oraz magazynem energii 50 kW/100 kWh. Przepływy mocy czynnej rejestrowano w trzech obszarach układu (obwód zasilający, PV, magazyn) z wykorzystaniem stacjonarnych analizatorów jakości energii. Dla zachowania wymaganej strategii oraz ograniczenia wpływu pracy magazynu na profil poboru przyjęto limity mocy: 15 kW podczas ładowania oraz 10 kW podczas rozładowania. Maga-

zyn pracował wyłącznie w trybie harmonogramu czasowego: w godzinach 7:00–11:00 oddawał stałą moc 10 kW, natomiast w godzinach 11:00–14:00 ładował się mocą 15 kW, co pozwalało na redukcję poboru w porannym szczycie i gromadzenie energii w korzystniejszym przedziale pracy układu.

Wskazano, że skuteczność realizacji opisanych funkcji zależy od poprawnej integracji warstw BMS/PCS/EMS, umożliwiającej wdrożenie harmonogramów, nadzór parametrów energetycznych oraz wymianę danych pomiarowych i diagnostycznych. Zwrócono również uwagę, że dobór mocy i pojemności magazynu powinien wynikać z analizy profili generacji i obciążenia, a także z warunków umownych i taryfowych, tak aby uzyskać pożądany efekt techniczny i ekonomiczny.

Literatura

1. R. Szczerbowski, Nowe technologie i rozwiązania w instalacjach fotowoltaicznych, „elektro.info” 3/2024
2. P. Świsłowski, L. Dębska, M. Rajfur, Roczna wydajność instalacji PV zamontowanej na dachu budynku dydaktycznego Uniwersytetu Opolskiego, ECoPole, 2018.

Dlaczego warto prenumerować elektro.info?

- » 10 numerów w roku (numery łączone: 1/2, 7/8 – w cenie numeru pojedynczego)
- » Przesyłka na koszt wydawnictwa
- » Prenumerata w formie pdf do pobrania na nośnik zewnętrzny (laptop, tablet itp.)
- » Link do pobrania wersji pdf czasopisma otrzymujesz niezwłocznie po ukazaniu się danego numeru
- » Dostęp do wszystkich treści zamieszczonych na stronie internetowej www.elektro.info.pl otrzymujesz niezwłocznie po zaksięgowaniu wpłaty na konto

Prenumerata papierowa



EDUKACYJNA ROCZNA

10 numerów + roczny dostęp do wszystkich treści portalu (365 dni)

cena: 145,00 zł

PÓŁROCZNA

5 numerów + półroczny dostęp do wszystkich treści portalu (183 dni)

cena: 145,00 zł

ROCZNA

10 numerów + roczny dostęp do wszystkich treści portalu (365 dni)

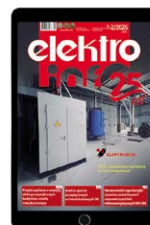
cena: 250,00 zł

DWULETNI

20 numerów + dwuletni dostęp do wszystkich treści portalu (730 dni)

cena: 425,00 zł

Prenumerata PDF



ROCZNA

10 numerów + roczny dostęp do wszystkich treści portalu (365 dni)

cena: 225,00 zł

DWULETNI

20 numerów + dwuletni dostęp do wszystkich treści portalu (730 dni)

cena: 382,00 zł

Prenumerata papierowa + PDF



ROCZNA

10 numerów + roczny dostęp do wszystkich treści portalu (365 dni)

cena: 362,00 zł

DWULETNI

20 numerów + dwuletni dostęp do wszystkich treści portalu (730 dni)

cena: 616,00 zł

FORMULARZ ZAMÓWIENIA

Zamawiam:

■ Prenumeratę papierową:

☐ edukacyjną – 145 zł ☐ półroczną – 145 zł

☐ roczną – 250 zł ☐ dwuletnią – 425 zł od numeru

■ Prenumeratę PDF:

☐ roczną – 225 zł ☐ dwuletnią – 382 zł od numeru

■ Prenumeratę papierową + PDF:

☐ roczną – 362 zł ☐ dwuletnią – 616 zł od numeru

Nazwa firmy

Ulica i numer

Kod pocztowy

Miejscowość

Osoba zamawiająca

Rodzaj działalności

NIP

Telefon kontaktowy

e-mail:

Wysyłka będzie realizowana po dokonaniu wpłaty na konto:
Volksbanken Bank Polska S.A., 09 2130 0004 2001 0616 6862 0001

Administratorem Państwa danych osobowych jest Grupa MEDIUM Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością Sp.K., nr KRS: 0000537655, z siedzibą w 04-112 Warszawa, ul. Karłowicza 18, tel. +48 22 810-21-24, wydawca elektro.info. Wyrażam zgodę na przetwarzanie moich danych osobowych przez Grupę MEDIUM Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością Sp.K. w celu zamówienia prenumeraty. Przystępuję Pani/Panu prawo do wglądu do swoich danych, aktualizowania, poprawiania oraz całkowitego usunięcia ich, a także wniesienia sprzeciwu wobec ich przetwarzania. Podanie danych ma charakter dobrowolny. Dane są chronione zgodnie z Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/679 z dnia 27 kwietnia 2016 r.

Upoważniam GRUPĘ MEDIUM do wystawienia faktury VAT bez podpisu odbiorcy.
Data: Podpis:

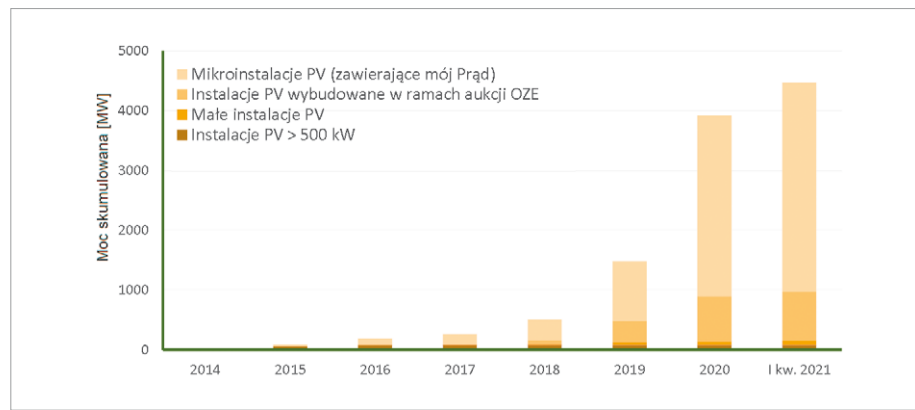
Technologia fotowoltaiczna – kierunki rozwoju, możliwości optymalizacji i magazynowania energii

Fotowoltaika była najszybciej rozwijającą się technologią wytwarzania energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii w ostatniej dekadzie. Światowa skumulowana moc zainstalowana w systemach fotowoltaicznych przekroczyła 1 TW w marcu 2022 r. W Unii Europejskiej na koniec 2021 r. były zainstalowane instalacje fotowoltaiczne o łącznej mocy 170 GW, które wytworzyły ok. 158 TWh energii elektrycznej.

Tylko między majem a sierpniem 2022 r. w UE wytworzono 99,4 TWh energii w instalacjach fotowoltaicznych w porównaniu z 77,7 TWh wytworzonymi w tym samym okresie w 2021 r., co odpowiada wzrostowi o 28%. Zgodnie z prognozami, moce w UE wzrosną do 328 GW w 2025 r., między 500 GW a 1 TW w 2030 r. i między 7 GW a 8,8 GW w 2050 r., podczas gdy prognozowana światowa moc zainstalowana wzrośnie do 22 TW lub nawet 60 TW.

I Stan obecny fotowoltaiki

Średnia sprawność modułów fotowoltaicznych wzrosła z 9% w 1980 r. do 14,7% w 2010 r. i 20,9% w 2021 r. (tab. 1). W ciągu najbliższych lat krzemowa technologia fotowoltaiczna pozostanie technologią dominującą, a sprawność modułów przekroczy 24%. Jeśli chodzi o technologie cienkowarstwowe, np. oparte na selenku mie-



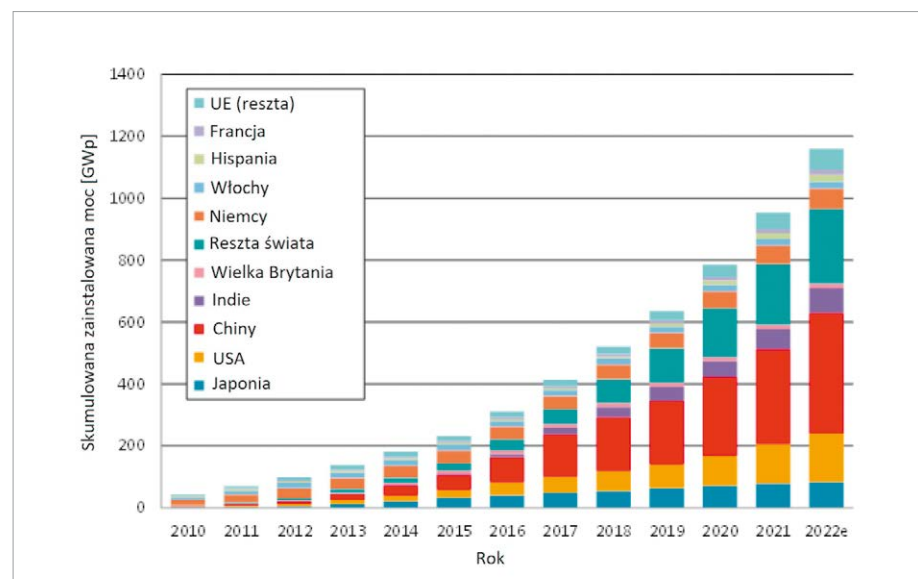
Rys. 1. Skumulowana moc zainstalowana w elektrowniach fotowoltaicznych w Polsce (na podstawie [10])

dzi, indu i galu (CIGS) i tellurku kadmu (CdTe) – motorem ich rozwoju jest masowa produkcja, jednak dostępność materiałów wpływa niekorzystnie na rozwój tych wcześniej często stosowanych technologii. W przyszłości technologie krzemowe mogą zostać zastąpione przez tech-

nologię perowskitową, która obecnie szybko się rozwija i ma potencjał wdrożeniowy (obecna wydajność modułu wynosi 17,9%, podczas gdy rekordowa wydajność ogniw wynosi 25,7%). Inne obecnie najbardziej obiecujące i wydajne technologie to krzemowe tandemy z materiałem powierzchniowym III-V (obecnie o sprawności modułu 32,7%) oraz urządzenia perowskit-krzem (obecnie o sprawności modułu 31,3%). Zauważalna jest tendencja rynkowa do zastępowania architektury *Passivated Emitter and Rear Contact* (PERC) (obecnie wydajność modułu ok. 21%, z prognozami sięgającymi ok. 22,5% w 2032 r.) przez n-type *Tunnel Oxide Passivated Contact* (TOPCon) (obecnie ok. 21,3% wydajności modułu, z prognozami sięgającymi ok. 24% w 2032 r.) [8].

STRESZCZENIE

W artykule opisano stan obecny i potencjalne kierunki rozwoju generatorów fotowoltaicznych wraz z możliwością optymalizacji ich pracy poprzez strukturę samego układu, lokalizacji i magazynowania energii. **Słowa kluczowe:** fotowoltaika, optymalizacja, rozwój, magazyn energii.



Rys. 2. Skumulowana moc zainstalowana w fotowoltaice w latach 2010–2021 i prognoza na 2022 (na podstawie [8])

Na rysunkach 1.–4. przedstawiono rozwój rynku fotowoltaiki w Polsce, Unii Europejskiej i na świecie w latach 2010–2021, z prognozą na 2022 rok – w każdym przypadku widoczne są wyraźne wzrosty.

Na koniec września 2022 r. moc zainstalowana w fotowoltaiki w Polsce wyniosła 11 061,2 MW (o 74,3% więcej niż we wrześniu 2011 roku, kiedy było 6344,3 MW). Powstało 16 053 nowych instalacji PV, o 414 więcej niż przed miesiącem, o łącznej mocy 421,88 MW, co stanowiło 86% mocy wszystkich nowych instalacji OZE. Tak duży miesięczny wzrost mocy PV jest wynikiem uruchomienia największej w Polsce farmy PV o mocy 204 MW w Zwartowie na Pomorzu, należącej do Respect Energy [1].

Obecnie do pierwszej piątki największych polskich farm PV należą: Zwartowo (204 MW, Respect Energy), Brudzew (70 MW, ZE PAK), Witnica (64 MW, Alternus Energy Group), Wielbark (62 MW, Grupa ORLEN), Stępień (58 MW, Wento).

Na rysunkach 5. i 6. przedstawiono moc wygenerowaną w instalacjach PV w Unii Europejskiej i na świecie w latach 2010–2021 oraz prognozę generacji w 2022 roku.

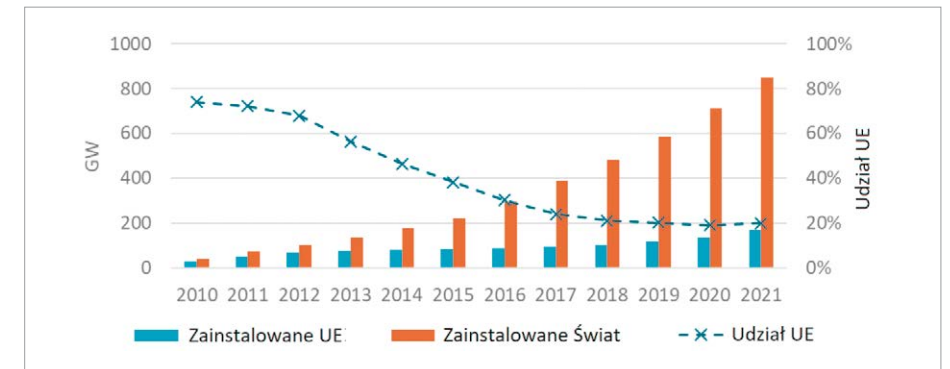
Na rok 2030 prognozuje się produkcję energii elektrycznej na poziomie 200 TWh, z udziałem odnawialnych źródeł energii 32,5%. Są to bardzo dobre prognozy dla rozwoju rynku generatorów fotowoltaicznych w Polsce, jednak coraz bardziej oczywiste staje się to, że w celu zapewnienia nie tylko jakości, ale także bezpieczeństwa oraz ciągłości zasilania, w systemie muszą zaistnieć określone elementy, które umożliwią magazynowanie wyprodukowanej energii elektrycznej, szczególnie tej wyprodukowanej przez generatory o mało przewidywalnej charakterystyce generacji, jak elektrownie fotowoltaiczne i wiatrowe.

Obecnie instalacje fotowoltaiczne – w zależności od ich współpracy z siecią elektroenergetyczną – można podzielić na trzy podstawowe grupy: on-grid, off-grid i instalacje hybrydowe.

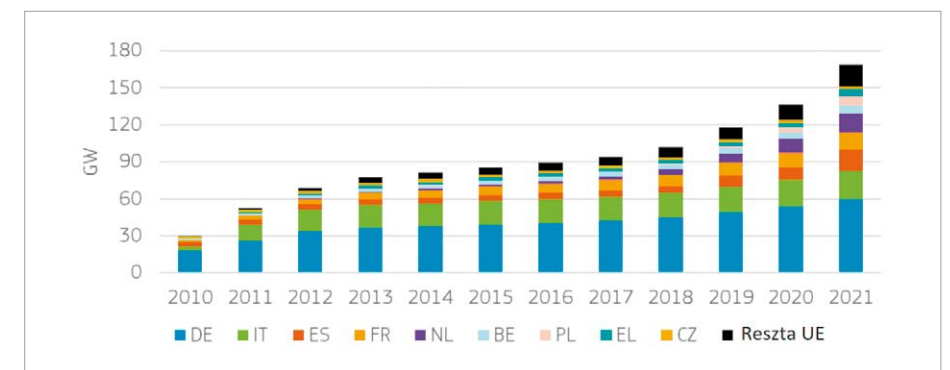
Klasyczna instalacja fotowoltaiczna on-grid daje możliwość włączenia generatorów bezpośrednio do sieci elektroenergetycznej, np. na poziomie niskiego napięcia, i tym samym odprowadzenia wyprodukowanej energii elektrycznej operatorowi sieciowemu. Instalacje typu on-grid należą do jednej z najtańszych form instalacji fotowoltaicznej. Największą wadą tego typu instalacji jest brak możliwości korzystania z energii, jaka jest produkowana przez poszczególne panele, chociażby w sytuacji braku zasilania z sieci elektroenergetycznej.

Rok	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Sprawność, w [%]	14,7	15,2	15,4	16,0	16,3	17,0	17,5	17,7	18,4	19,2	20,0	20,9

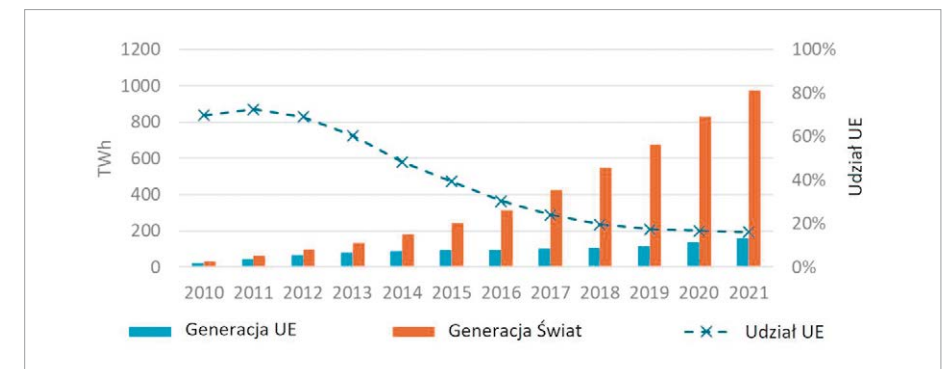
Tab. 1. Średnia sprawność modułów PV w okresie 2010–2021 (na podstawie [8])



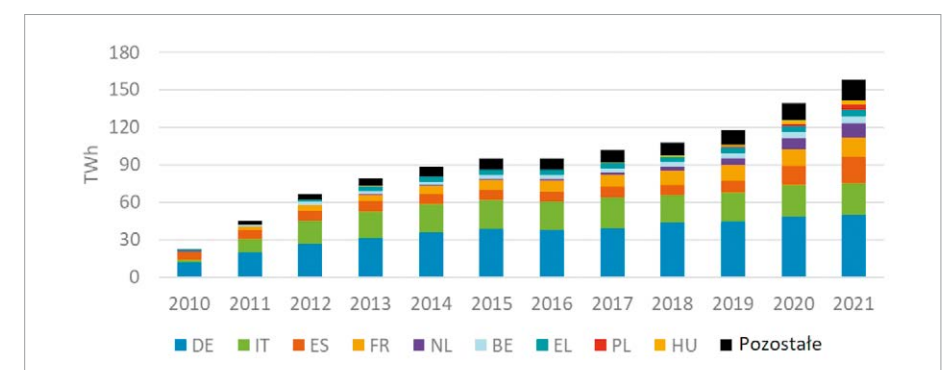
Rys. 3. Moc zainstalowana w sektorze PV na świecie i w UE (na podstawie [8] i EUROSTAT)



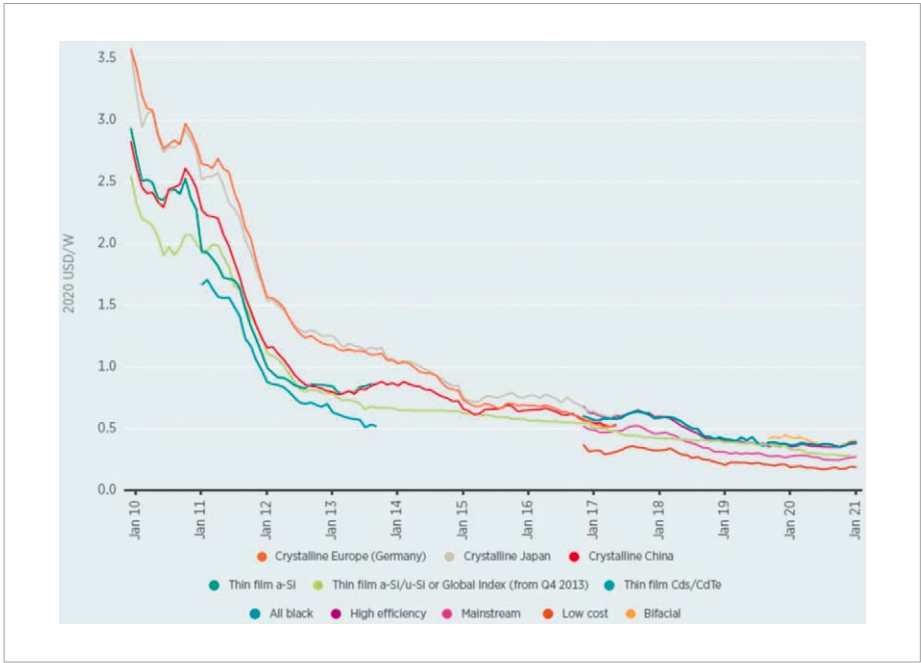
Rys. 4. Moc zainstalowana w sektorze PV w UE (na podstawie [8] i EUROSTAT)



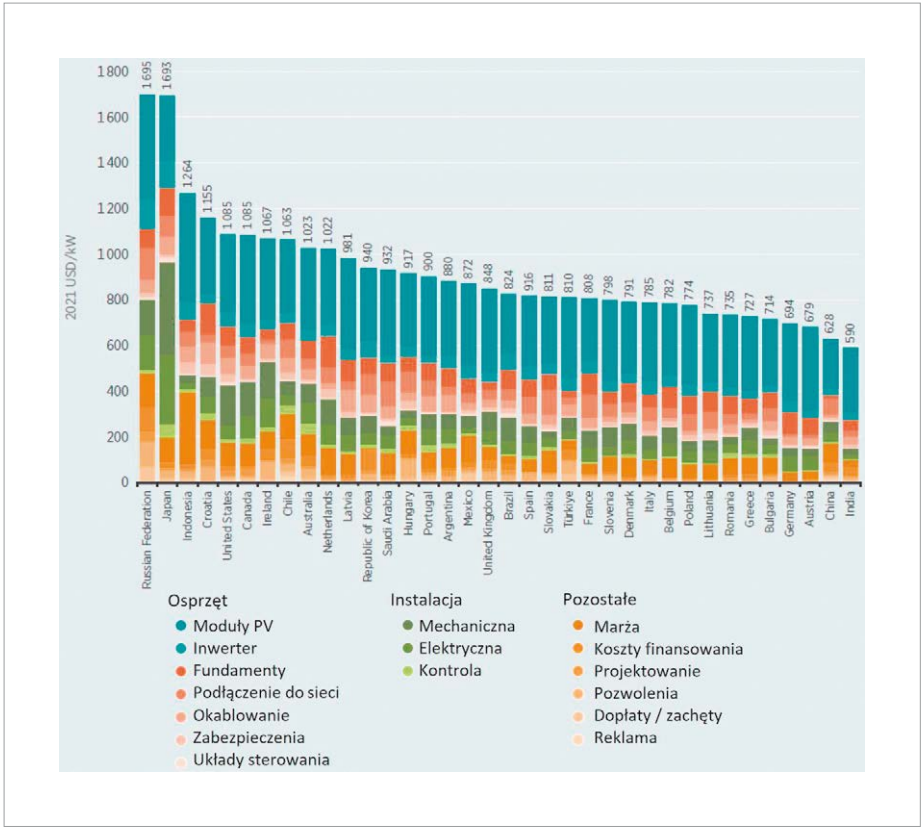
Rys. 5. Generacja energii elektrycznej w sektorze PV na świecie i w UE (na podstawie [8] i EUROSTAT)



Rys. 6. Generacja energii elektrycznej w sektorze PV w UE (na podstawie [8] i EUROSTAT)



Rys. 7. Koszt modułów fotowoltaicznych w latach 2010–2021 [8]



Rys. 8. Szczegółowe zestawienie całkowitych kosztów instalacji fotowoltaicznych na skalę przemysłową dla różnych krajów w 2021 r. [8]

W przypadku instalacji fotowoltaicznej typu off-grid nie ma możliwości sprzedaży energii elektrycznej bezpośrednio do sieci. Produkowana energia może być wykorzystywana na bieżąco bądź też akumulowana w magazynach energii. Dzięki temu cechą charakterystyczną tego typu instalacji jest przede wszystkim duża au-

tonomiczność energetyczna, z możliwością pokrycia do 100% zapotrzebowania na energię elektryczną podłączonych odbiorów. Wadą tego typu instalacji jest przede wszystkim znacznie droższe wykonanie w porównaniu z instalacją on-grid, co wynika głównie z kosztów magazynu energii.

Instalacje hybrydowe są bardziej złożone i mogą zawierać połączenia różnych źródeł energii odnawialnych i nieodnawialnych, magazynu energii oraz przyłączenia do sieci elektroenergetycznej. Spotykany rozwiązaniem, szczególnie w obiektach oddalonych od sieci, jest również zastosowanie np. generatora spalinowego jako źródła back-upu dla paneli fotowoltaicznych z ewentualnym niewielkim akumulatorowym magazynem energii elektrycznej.

W Polsce zdecydowanie największy udział w rynku mają mikroinstalacje PV, w 2020 r. stanowiły one aż 77% mocy zainstalowanej w fotowoltaice. Jest to wynik wielu czynników, jak chociażby znacznego wzrostu popularności tej technologii wśród prosumentów, dotacji, jakie są udzielane w ramach Regionalnych Programów Operacyjnych, a także rządowego programu dofinansowania „Mój prąd”, który był realizowany od września 2019 r. do grudnia 2020 r. Udział mocy zainstalowanej w fotowoltaice w stosunku do mocy zainstalowanej w OZE na koniec 2020 r. wynosił 30% i był on już dwukrotnie wyższy niż w 2019 r. Instalacje PV wyprzedziły biomasę (11%), hydroelektrownie (8%) oraz biogaz (2%). Jednak na pierwszym miejscu w dalszym ciągu znajduje się energetyka wiatrowa na lądzie, z udziałem mocy zainstalowanej na poziomie 49%. Statystyki pokazują, że od czterech lat fotowoltaika jest najszybciej rozwijającym się OZE w Polsce i osiąga największe roczne przyrosty [10]. Wśród instalacji posiadających koncesję na produkcję energii elektrycznej na koniec 2020 r. na fotowoltaikę przypadało 887 MW, na energetykę wiatrową 6347 MW mocy zainstalowanej [1].

Dane zebrane zarówno wśród polskich producentów, jak i firm instalatorskich oraz deweloperów, pokazują, iż nastąpił wyraźny wzrost zainteresowania modułami Half Cut Cells, czyli wykonanymi w technologii, która wykorzystuje moduły z ogniwami ciętymi na pół. Udział sprzedaży modułów Half Cut Cells w I połowie 2020 r. osiągnął 75,5%, monokrystalicznych całych 18%, polikrystalicznych 6,2%. Ponadto w zestawieniu uwidoczniły się również moduły w technologii bifacialnej, stanowiące 0,3% całkowitej sprzedaży w I połowie 2020 r. [6].

Prognozowane kierunki rozwoju PV

Oprócz małych, często przydomowych instalacji PV i klasycznych dużych farm PV, w najbliższej przyszłości największe szanse na rozwój mogą mieć następujące instalacje fotowoltaiczne:

Fotowoltaika rolnicza (Agri-PV): jednoczesna optymalizacja wykorzystania gruntów rolnych, produkcja żywności i wytwarzanie energii elektrycznej. Wydajność rolnictwa może wzrosnąć w określonych warunkach, a energia elektryczna może być używana lokalnie lub sprzedawana w celu uzyskania dodatkowych dochodów. Ten aspekt jest szczególnie interesujący dla klastrów energii (więcej o klastrach w „elektro.info” 9/2022 [4]).

Instalacje na obszarach czynnych lub zamkniętych składowisk odpadów: wykorzystanie elektrowni fotowoltaicznych na składowiskach odpadów nie zmienia wrażliwych ekosystemów. Ponadto zamknięte składowiska są często podłączone do sieci, a w przypadku wykorzystania biogazu składowiskowego współczynnik obciążenia instalacji można poprawić za pomocą systemu fotowoltaicznego.

Przełomy zewnętrzne budynków: wykorzystanie fotowoltaiki zainstalowanej na elewacjach i dachach jako źródła zasilania i jako osłony przeciwsłonecznej jednocześnie może zmniejszyć obciążenie cieplne budynku i zapotrzebowanie na chłodzenie.

Zapory wodne: PV może chronić powierzchnię zapór ziemnych i działać jako element ochronny przed erozją spowodowaną deszczem.

Kanały nawadniające i pływające PV: zminimalizowanie parowania wody w regionach o suchym klimacie i przyczynienie się do ograniczenia krytycznego niedoboru wody.

Parkingi: PV służy jako osłona przeciwsłoneczna dla zaparkowanych pojazdów i jednocześnie wytwarza energię elektryczną do ładowania pojazdów elektrycznych.

Barierzy dźwiękowe: PV na ekranach dźwiękochłonnych, np. przy autostradach, mogą wytwarzać energię elektryczną do wykorzystania w sąsiednich miejscowościach lub w miejscach obsługi stacji ładowania pojazdów elektrycznych i MOP. Zastosowanie paneli bifacialnych (więcej o panelach bifacialnych w „elektro.info” 6/2022 [5]) eliminuje konieczność stosowania powierzchni zorientowanej na południe, umożliwiając również orientację na wschód i zachód.

PV wzdłuż linii kolejowej może generować energię elektryczną, którą można wykorzystać bezpośrednio do zasilania pociągów.

PV zintegrowane z pojazdem (VIPV): pojazdy ze zintegrowaną technologią PV w celu dostarczania energii elektrycznej na pokładzie zmniejszają potrzebę ładowania pojazdu ze źródeł zewnętrznych.

Kraj	Koszt [EUR/kW/rok]
Austria	8,42 – 18,29
Belgia, Luksemburg, Niemcy	8,54 – 18,54
Bulgaria	5,18 – 11,24
Chorwacja, Słowenia	5,64 – 12,24
Cypr	6,47 – 14,04
Czechy	5,82 – 12,64
Finlandia	8,17 – 17,74
Francja	7,80 – 16,94
Grecja	6,33 – 13,74
Hiszpania	6,79 – 14,74
Irlandia	8,40 – 18,24
Litwa, Łotwa, Estonia	5,57 – 12,09
Niemcy	8,70 – 18,89
Polska	5,64 – 12,24
Portugalia	6,10 – 13,24
Rumunia	5,36 – 11,64
Słowacja, Węgry	5,66 – 12,29
Szwecja, Dania	8,19 – 17,79
Włochy, Malta	7,13 – 15,49

Tab. 2. Średnie koszty obsługi i serwisu farm PV w UE w 2021 roku (na podstawie [8])

Rodzaj instalacji PV		Przyrost mocy w 2020 r., w [MW]	Moc na koniec 2020 r., w [MW]	Produkcja energii w 2020 r., w [MWh]	Wartość energii z PV, w [mln zł/rok]
On-grid	Mikroinstalacje 0–50 kW	800	1 791	1 700 981	476
	Mikroinstalacje 50–500 kW	20	72	70 898	21
	Instalacje powyżej 500 kW	10	50	50 000	12
	Farmy fotowoltaiczne poniżej 1 MW	90	450	450 331	143
	Farmy fotowoltaiczne powyżej 1 MW	25	25	25 000	52
Off-grid	Oświetlenie, domy letniskowe, oddalone obiekty turystyczne	1,5	8	6000	3

Tab. 3. Zestawienie mocy zainstalowanej i wyprodukowanej energii w 2020 roku w polskich instalacjach fotowoltaicznych on-grid i off-grid (na podstawie [10])

Koszty instalacji

Spadek kosztów instalacji PV, spowodowany głównie efektem skali, sprzyja rozwojowi rynku. Zmiany cen w latach 2010–2021 można zobaczyć na **rysunku 7**. Szczegółowy podział kosztów instalacji PV za 2021 rok pokazuje **rysunek 8**.

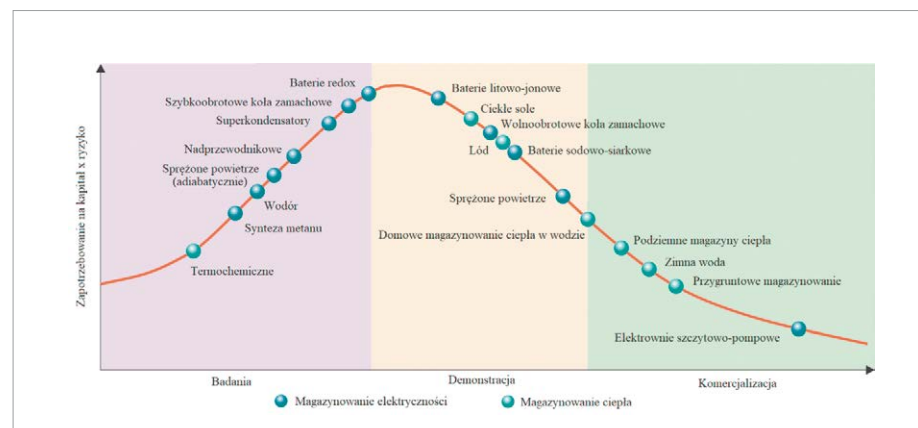
Ocena kosztów energii słonecznej na poziomie UE wykazała, że średnie unijne koszty eksploatacji i utrzymania dla instalacji komercyjnych wyniosły od 6,8 do 14,8 EUR/kW/rok. Najniższe koszty O&M były w Bułgarii – w przedziale od 5,2 do 11,2 EUR/kW/rok, a najwyższe w Niemczech – między 8,7 a 18,9 EUR/kW/rok. Dolna wartość zakresu odnosi się do stałego sy-

stemu, a górna wartość do 2-osiowego systemu śledzenia [8]. Koszty O&M dla każdego kraju UE można porównać w **tabeli 2**.

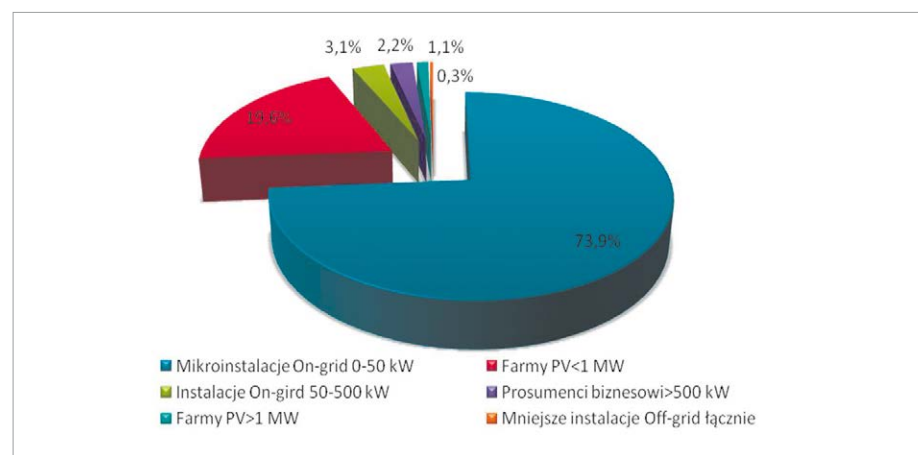
Zwiększenie niezawodności zasilania

Ze względu na specyfikę generacji energii elektrycznej w generatorach fotowoltaicznych najlepszą i najbardziej naturalną możliwością podniesienia niezawodności zasilania jest lokalne magazynowanie energii.

W 2009 r. Parlament Europejski uchwalił dyrektywę, na każde państwo członkowskie UE nałożono obowiązek podjęcia kroków w celu stworzenia obiektów magazynujących energię



Rys. 9. Stopień zaawansowania wybranych technologii magazynowania energii (na podstawie [9])



Rys. 10. Generacja energii ze źródeł fotowoltaicznych w Polsce (dane na podstawie [10])

i gwarantujących bezpieczeństwo wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych [7]. Jednak dopiero w 2015 roku Unia Europejska podjęła realne kroki, zwracając szczególną uwagę na to, iż kwestia magazynowania energii powinna być tematem priorytetowym z uwagi na wciąż rosnące zagrożenie niestabilnością systemu elektroenergetycznego. W 2022 roku dołożył się do tego gwałtowny wzrost cen energii. W związku z tym, aby możliwe było sprostanie wciąż rosnącej liczbie źródeł odnawialnych, należy:

- » stworzyć systemy magazynowania na zasadzie lokalnych obszarów bilansowania, w szczególności na terenach wiejskich;
- » promować zwłaszcza w indywidualnych gospodarstwach domowych systemy fotowoltaiczne wraz z przydomowym akumulatorem, który ładowałby się podczas nieobecności domowników;
- » inwestować w akumulację, która to mogłaby szybko reagować na znaczne zmiany w wytwarzanej mocy z odnawialnych źródeł energii.

W Polsce przełom miał miejsce na początku 2018 r., wraz z wejściem w życie Ustawy o rynku mocy [11], gdyż jest to w zasadzie pierwsza ustawa, która tak wyraźnie wspomina o magazynach

energii. Kolejnym krokiem w kwestii magazynowania energii było Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 21 października 2021 r., opublikowane w Dzienniku Ustaw w dniu 5 listopada 2021 r., w sprawie rejestru magazynów energii elektrycznej. Magazynowanie energii przyczynia się do zwiększenia efektywności energetycznej, nie tylko samego systemu dystrybucyjnego, ale też i jego bezpośrednich odbiorców, będących konsumentami energii elektrycznej.

W większej skali magazynowanie energii ma na celu zbilansowanie sieci w pełnym cyklu dobowym, a także łagodzenie powstających w szczytach obciążeń sieci elektroenergetycznej, i gromadzenie energii w przypadku jej nadprodukcji. Magazynowanie energii prowadzone na dużą skalę dałoby możliwość gromadzenia nadwyżki wówczas, kiedy produkcja energii w generatorach fotowoltaicznych przekracza popyt, po czym uwolniłoby ją do sieci, gdy produkcja bieżąca jest niewystarczająca do tego, aby możliwe było zaspokojenie bieżącego zużycia.

Magazyny energii w wersji zintegrowanej ze stacją rozdzielczą bądź też jako samodzielne obiekty powstają od kilku lat i będą stały

się z czasem coraz bardziej powszechne. Aktualnie istnieje wiele sposobów magazynowania energii elektrycznej w zależności od typu magazynowanej energii, najważniejsze z nich wraz z zaawansowaniem technologii i stopniem komercjalizacji zestawiono na **rysunku 9**. Więcej informacji o magazynowaniu energii można znaleźć w miesięczniku „elektro.info” w artykułach autora w numerach 6/2020 [2] i 7–8/2020 [3].

Zastosowanie magazynów energii elektrycznej w instalacjach fotowoltaicznych daje możliwość przechowywania ewentualnych nadwyżek produkowanej energii elektrycznej. Dzięki temu zgromadzona w ten sposób energia może być wykorzystywana w okresie bezprodukcyjnym. Jednakże pomimo zalet magazynu energii mają też i wady, do których zalicza się między innymi: wysoki koszt magazynu/magazynowania, straty w magazynowaniu energii, różną wydajność takiego procesu w zależności od warunków pracy. Dwie ostatnie nie są tak istotne, jeżeli magazynujemy energię ze źródeł odnawialnych, która w innym przypadku w ogóle nie byłaby wykorzystana.

Magazyn energii jako optymalizacja pracy systemu fotowoltaicznego

Obecnie w Polsce układy współpracy generatora fotowoltaicznego z elektrochemicznym magazynem energii (akumulatorem) znajdują zastosowanie ograniczone głównie do sytuacji, kiedy nie ma możliwości podłączenia się do sieci energetycznej bądź też kiedy dostęp ten jest w bardzo dużym stopniu utrudniony. Dotyczy to zwłaszcza odległych od infrastruktury domków letniskowych, obiektów turystycznych oraz sygnalizacji i oświetlenia.

Znacznie większą popularnością cieszą się instalacje łączące zalety systemów on-grid z off-grid, ponieważ umożliwiają zarówno korzystanie z sieci elektroenergetycznej, jak i nabycie pewnej niezależności od dostawcy energii. W przypadku przerwy w dostawie energii od operatora, instalacja jest w stanie funkcjonować

ABSTRACT

Photovoltaic technology – development, possibilities of optimization and energy storage
The article describes the current state and potential directions of development of photovoltaic generators along with the possibility of optimizing their operation through the structure of the system itself, location and energy storage.

Keywords: photovoltaics, optimization, development, energy storage.

w pełni samodzielnie i dostarczać prąd na własne potrzeby. Dodatkowo, stosowane w rozwiązaniach typowo hybrydowych magazyny energii pozwalają zmniejszyć jej szczytowy pobór bezpośrednio z sieci. Na **rysunku 10**, przedstawiono udział produkcji energii w generatorach fotowoltaicznych ze źródeł off-grid w zestawieniu ze źródłami podłączonymi do sieci.

Ilościowo w Polsce instalacje off-grid stanowią zaledwie margines produkcji energii w instalacjach fotowoltaicznych. W 2020 r. instalacje te produkowały niespełna 6000 MWh, co stanowiło jedynie 0,3% łącznej energii wytworzonej (**tab. 3.**).

Uznanie wśród użytkowników, początkowo na południu Europy, a obecnie i w Polsce, znajdują również systemy grzewcze z wykorzystaniem energii elektrycznej produkowanej przez panele fotowoltaiczne. Systemy tego typu pozbawione są wad instalacji z kolektorami cieczowymi, takich jak przegrzewanie się instalacji i możliwe uszkodzenia, szczególnie w gorące dni, gdy jest zbyt mały lub zerowy pobór ciepła lub ciepłej wody. Sytuacja ta ma szczególnie miejsce podczas wakacyjnych wyjazdów. Elementem grzejącym w systemach z generatorem fotowoltaicznym mogą być np. grzejni-

ki oporowe w tym ogrzewanie podłogowe lub promienniki podczerwieni. Jeżeli ogrzewanie ma być prowadzone w nocy, najlepszym rozwiązaniem będzie wyposażenie instalacji w magazyn energii (off-grid lub hybrydowy).

Rosnąca liczba odnawialnych źródeł energii słonecznej i wiatrowej w systemie elektroenergetycznym będzie powodowała gwałtowne zmiany generacji mocy, a być może również braki mocy w systemie. Dlatego, aby w sposób jak najbardziej skuteczny zabezpieczyć system energetyczny przed potencjalnymi brakami w dostawach i nagłymi skokami mocy w sieci w chwilach znacznie zwiększonej podaży, konieczne jest wdrożenie alternatywnego źródła energii na czas, kiedy występuje jej deficyt, a także dodatkowego odbioru w sytuacjach nadmiernej produkcji. Takim przyszłościowym „źródłem mocy” wydaje się być magazyn energii. Wzrost zainteresowania generatorami fotowoltaicznymi wpływa na rynek magazynów energii, sprawiając, że stają się one w dłuższym horyzoncie czasowym uzasadnionym rozwiązaniem dla stabilności generacji ze źródeł odnawialnych. Generacja ze źródeł fotowoltaicznych, przesunięta względem dziennego profilu zapotrzebowania na energię, ma istotny wpływ

na stymulowanie rozwoju technologii magazynowania energii.

Należy również zauważyć, że w reakcji na koszty opłaty mocowej, jak i znaczny wzrost cen energii, w kolejnych latach coraz bardziej powszechne stawać się będą instalacje autoproducentów, czyli tzw. producentów biznesowych, i co ważne, będą to w dużej mierze instalacje wielkopowierzchniowe.

Podsumowanie

Systemy fotowoltaiczne są już na tyle rozpowszechnione, że użytkownicy często zastanawiają się nie tylko nad instalacją nowego czy powiększeniem starego systemu, ale także nad jego modernizacją i optymalizacją. Specyfika generacji energii elektrycznej przez generator PV sugeruje zastosowanie magazynu energii jako optymalizację systemu. Przy rosnących cenach paliw jest to dobra alternatywa np. dla generatorów spalinyowych służących jako back-up zasilania OZE, szczególnie tam, gdzie niewskazane jest używanie sieci elektroenergetycznej jako wirtualnego back-upu.



literatura do artykułu na
elektro.info.pl

REKLAMA

Poradnik UPS, ZESPOŁY PRĄDOTWÓRCZE

- Zasilanie sieci komputerowych i urządzeń domowych
- Zasilacze DRUPS w systemach zasilania gwarantowanego obiektów data center
- Zasilacze UPS w układach zasilania urządzeń elektromedycznych

UPS, ZESPOŁY PRĄDOTWÓRCZE

pobierz bezpłatny poradnik i dowiedz się więcej

Układy magazynowania energii i zwiększania niezawodności zasilaczy UPS

Zagadnienia wybrane

Zaniki i zapady napięcia oraz inne zaburzenia, które występują coraz częściej w sieciach elektroenergetycznych, powodują w zakładach przemysłowych lub innych przedsiębiorstwach straty w wyniku zatrzymania linii produkcyjnych bądź zakłóceń w pracy układów elektronicznych i systemów informatycznych.

Częste występowanie trwających kilkadziesiąt sekund zakłóceń zasilania urządzeń o mocy rzędu kilkudziesięciu-kilkuset kVA wymaga zastosowania specjalizowanych układów zapewniających krótkotrwałe zasilanie odbiorcom, np. zasilaczy UPS lub dynamicznych układów zasilania wyposażonych w kinematyczny zasobnik energii [1–3].

I Układy równoległe UPS

Jednym z powodów budowania układów równoległych UPS jest zwiększenie mocy UPS-a w sytuacji, gdy moc pojedynczej jednostki jest niewystarczająca. W tym przypadku stosuje się jednostki UPS, tak zwane „modularne”, tzn. każdy UPS wyposażony jest w wewnętrzny bypass elektroniczny oraz układ sterowania pozwalający pracować również samodzielnie. Często stosuje się również centralny bypass zewnętrzny, którego moc znamionowa umożliwia zapewnienie zasilania dla całego węzła.

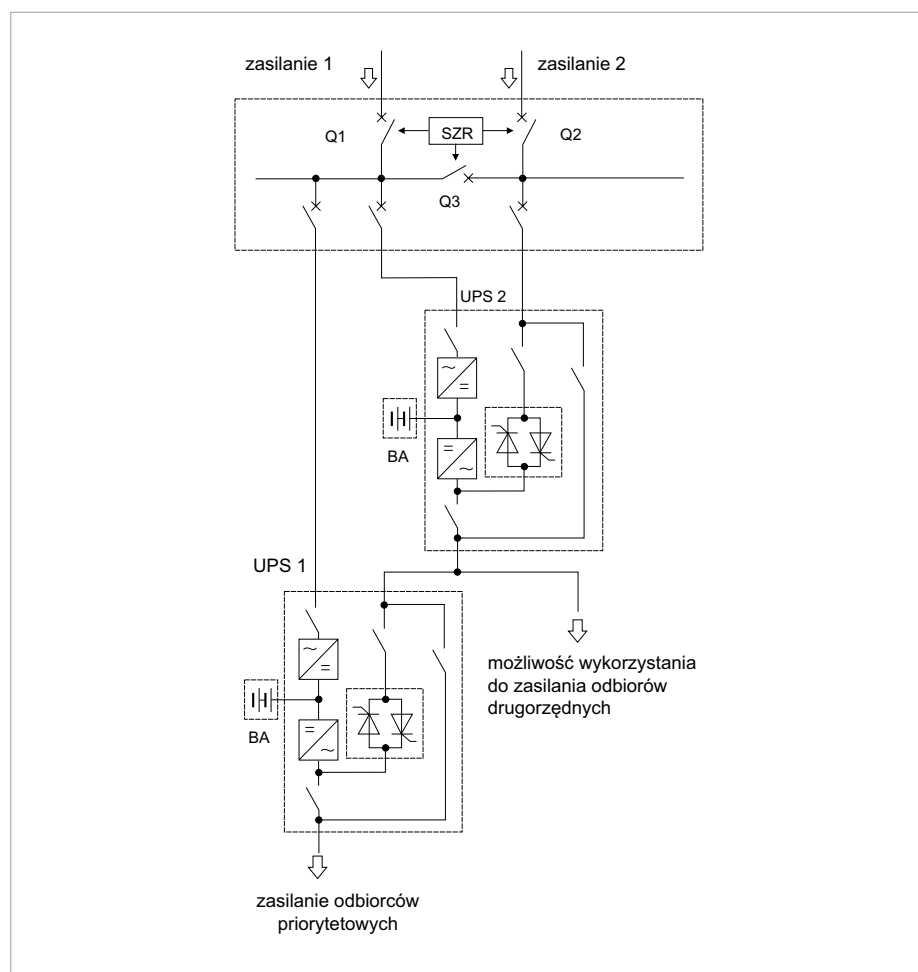
W układach równoległych wszystkie jednostki UPS muszą komunikować się ze sobą lub być zarządzane przez jeden wspólny układ sterowania, którego zadaniem jest [1–3]:

- » utrzymywanie jednakowych napięć, co do wartości i fazy, wytwarzanych przez wszystkie falowniki, przy zasilaniu UPS-a z sieci i przy pracy z baterii,

STRESZCZENIE

W artykule omówiono podstawowe informacje dotyczące układów magazynowania energii i zwiększania niezawodności zasilaczy UPS.

Słowa kluczowe: zasilacz UPS, magazynowanie energii, niezawodność.



Rys. 1. Przykładowe rozwiązanie redundancji szeregowej [1, 2]

- » kontrola obciążeń poszczególnych jednostek UPS oraz sterowanie nimi, aby wszystkie jednostki obciążone były równomiernie,
- » kontrola trybu pracy poszczególnych jednostek UPS (z falownika czy na bypassie elektronicznym) oraz takie nimi sterowanie, aby we wszystkich jednostkach tryby pracy były jednakowe. Niedopuszczalne jest bowiem,

aby część jednostek pracowała z falownika, a pozostała część na obejściu – przez bypass elektroniczny,

- » blokowanie pracy falownika we wszystkich jednostkach UPS, gdy w którymkolwiek z nich zamknięty jest bypass serwisowy lub gdy zamknięty jest centralny bypass zewnętrzny.

Z uwagi na wspólny system sterowania jednostkami UPS pracującymi równolegle, liczba tych jednostek w układzie jest ograniczona. Różni producenci stosują własne układy sterowania, stąd różna jest maksymalna dopuszczalna liczba jednostek w układzie równoległym. Na ogół liczba ta zawiera się w przedziale od 4 do 8. Ograniczenie liczby jednostek UPS pracujących równolegle wynika nie tylko z ograniczeń układów sterowania. Powodem tym jest również nierównomierność rozprętu prądu w połączonych równolegle torach układów bypass wewnętrznych UPS-ów [1–3]. Wiadomo bowiem, że nawet przy pozornie identycznych torach pracujących równolegle, rozpręt prądu nie jest równomierny. Im liczba torów pracujących równolegle jest większa, tym nierównomierność obciążeń również jest większa. Aby ograniczyć to zjawisko, wszystkim jednostkom UPS w układzie równoległym należy zapewnić podobne warunki pracy sieciowej. Z tego powodu wymagane jest, aby kable zasilające wszystkie jednostki UPS były tego samego typu, miały jednakowy przekrój poprzeczny oraz jednakową długość. Dotyczy to zarówno strony zasilającej, jak i podłączenia odbiorników.

I Układy rozdzielnic nn

W przypadku stosowania w centralnym węźle kilku jednostek UPS pracujących równolegle, zwykle stosuje się wydzieloną rozdzielnicę zasilania UPS-ów. W układzie z rozdzielnicą z pojedynczym systemem szyn zbiorczych, rozdzielnica zasilana jest dwiema niezależnymi liniami, przy czym w danej chwili pracuje tylko jedna linia zasilająca (rezerwa jawna). W polach odpływowych do UPS-ów mogą być stosowane wyłączniki nadprądowe lub bezpieczniki topikowe [1–3].

Zasilanie UPS-ów z jednej sekcji szyn zbiorczych ma istotną wadę, polegającą na tym, że wyłączenie napięcia na szynach zbiorczych w wyniku awarii, przeglądu, naprawy, konserwacji lub prowadzonej rozbudowy powoduje całkowite pozbawienie zasilania UPS-ów. Zasilanie odbiorów będzie wówczas podtrzymane tylko do czasu wyczerpania baterii akumulatorów. Ponieważ czas podtrzymania zasilania z baterii zwykle wynosi od kilku do kilkudziesięciu minut, może to być czas zbyt krótki do dokonania czynności naprawczych lub rozbudowy rozdzielnic zasilania UPS-ów. W układzie tym jest więc zagrożona ciągłość zasilania odbiorów.

Wyprowadzenie mocy z UPS-ów następuje często do jednej rozdzielniczy, która rów-

niez wyposażona jest w pojedynczy system szyn zbiorczych. Takie rozwiązanie ma poważną wadę, polegającą na tym, że jakkolwiek przerwa w pracy tej rozdzielniczy natychmiast pozbawia odbiory zasilania. Wymienione wady rozdzielnic powodują, że układ pojedynczych szyn zbiorczych charakteryzuje się niską pewnością zasilania odbiorów. Pewną poprawę niezawodności zasilania odbiorów można uzyskać przez zastosowanie w rozdzielnicach podwójnych systemów szyn zbiorczych [1–3].

Rozwiązania dla najwyższych wymagań niezawodnościowych

W przypadku gdy bypass jest zasilany napięciem sieciowym, w razie zaniku napięcia sieciowego odbiory pozbawione zostaną zasilania. W przypadku bardzo ważnych odbiorów takie ryzyko może być niedopuszczalne. Można wówczas budować układy o szczególnie wysokim stopniu niezawodności [1–4].

Najprostszym przykładem zabezpieczenia toru bypass przed zanikiem zasilania jest tzw. redundancja szeregową dwóch jednostek UPS, nazywana także redundancją kaskadową. Schemat przykładowego układu przedstawiono na **rysunku 1**. Grupa najważniejszych odbiorów zasilana jest z UPS1. Tor bypass UPS1 zasilany jest nie z sieci, lecz z UPS2. Moc znamionowa UPS2 powinna być większa niż moc UPS1, gdyż jednym z powodów przejścia UPS1 na bypass może być jego przeciążenie. Gdyby moc UPS2 była równa mocy UPS1, to UPS2 również zostałby przeciążony i przeszedłby na bypass, który też jest zasilany napięciem sieciowym. W efekcie obwody zostałyby pozbawione zasilania [1–3].

Gdyby UPS2 zasilał tylko bypass UPS1, byłby słabo wykorzystany, gdyż praca UPS1 na obejściu (bypass) jest sporadyczna i najczęściej krótkotrwała. Pewnym złagodzeniem tej wady jest zainstalowanie UPS2 o większej mocy znamionowej i wykorzystanie nadwyżki mocy względem UPS1 do zasilania odbiorów drugorzędnych. Na przykład, gdy przyjęto moc znamionową UPS1 równą 200 kVA, a moc znamionową UPS2 400 kVA. Koszt jednostkowy 1 kVA UPS2 będzie niższy niż koszt jednostkowy UPS1, a zatem w takim rozwiązaniu koszt zapewnienia zasilania będzie niższy niż gdyby UPS2 miał moc znamionową również 200 kVA. W tym przypadku dopuszczalna przeciążalność, dla jednostki 400 kVA, będzie większa niż dla jednostki 200 kVA, gdyż stanowi ona określony procent mocy znamionowej (prądu znamionowego) UPS-a.

Systemy magazynowania energii

Metody magazynowania energii są stale rozwijane, co wynika z rosnącego zapotrzebowania na niezawodność i dostępność zasilania. Wyboru najbardziej odpowiedniej technologii magazynowania energii użytkownik dokonuje na podstawie kryteriów technicznych i ekonomicznych. Do podstawowych należą [4]:

Gęstość energii – dostępna energia oraz maksymalna moc na jednostkę objętości lub masy jest istotną daną dla większości zastosowań, lecz najistotniejszą jest dla zastosowań w transporcie i mobilnej komunikacji. Tu masa (ciężar) lub objętość są bezwzględnie ograniczeniem bądź czynnikiem determinującym dla projektowania i osiągnięć systemu magazynowania.

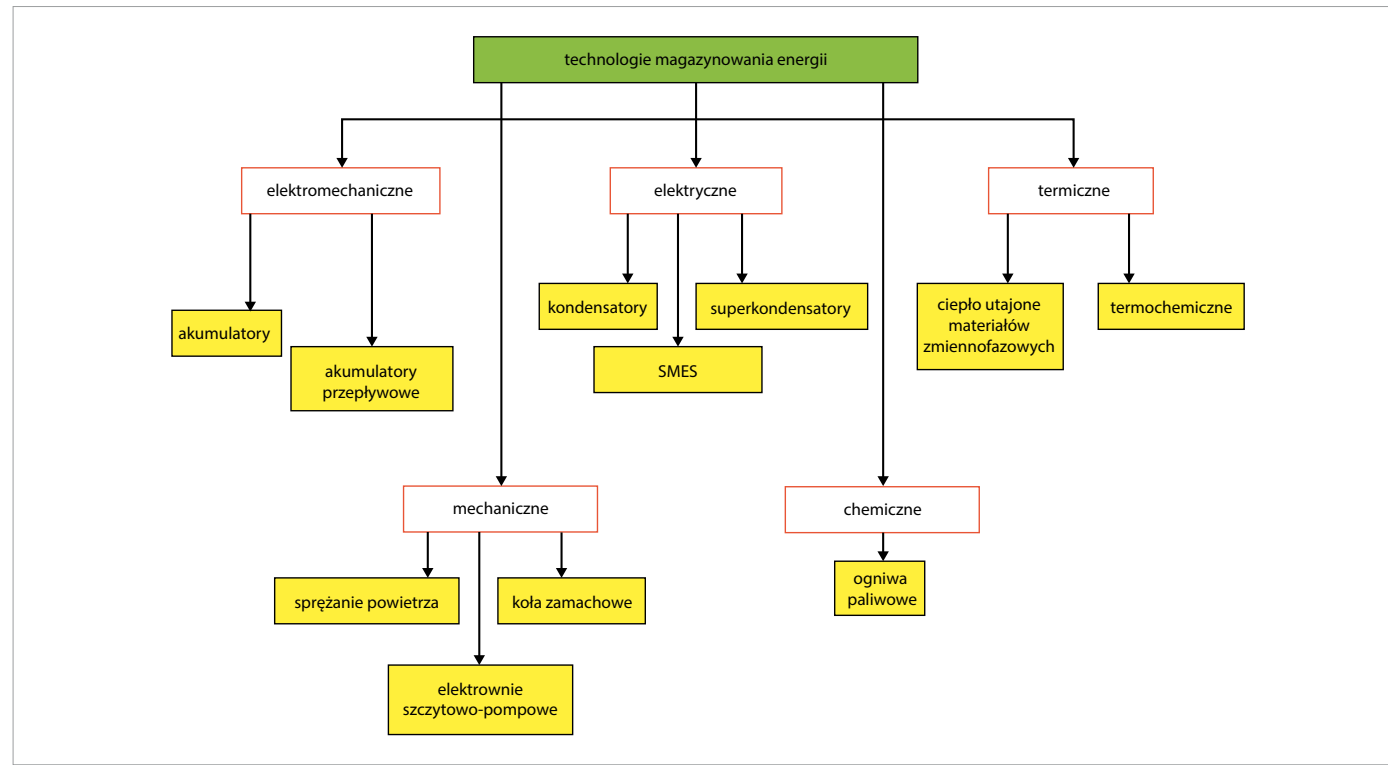
Czas odpowiedzi – w pewnych zastosowaniach występują bardzo restrykcyjne wymagania dotyczące prędkości, z jaką energia może być uwolniona lub zaabsorbowana. W zastosowaniach w UPS czas kilku milisekund może niekiedy być maksymalnym, akceptowalnym czasem odpowiedzi.

Żywotność – całkowity koszt magazynowania energii jest określony przez początkowy koszt inwestycyjny i przewidywany okres eksploatacji magazynu. Określenie żywotności jest szczególnie ważnym problemem dla systemów magazynowania elektrochemicznego.

Koszty – wyposażenie dodatkowe, wymagane przez niektóre systemy magazynowania energii, określa całkowity koszt systemu i często jest niezależny od jego wielkości. Z tych względów pewne systemy magazynowania są ekonomicznie uzasadnione tylko powyżej minimalnej wartości magazynowanej energii i mocy na wyjściu.

Monitoring – zachowanie niektórych systemów może być monitorowane ze szczególną łatwością i przy niskich kosztach, podczas gdy inne systemy wymagają szczególnego wysiłku dla uzyskania informacji o dostępnej do wykorzystania energii i bezpieczeństwie jej magazynowania.

Sprawność magazynowania energii – proces magazynowania/rozładowywania energii może powodować znaczące straty, specyficzne dla danego zastosowania. Wiele elementów wyposażenia pomocniczego charakteryzuje się stałym poborem mocy, a dodatkowo występujące straty energii, związane są z samą zasadą magazynowania, np. samorozładowywanie się akumulatorów lub straty ciepła do otoczenia. Mogą to być straty bardzo wysokie w odniesieniu do pojemności energetycznej magazynu.



Rys. 2. Klasyfikacja sposobów magazynowania energii [6]

W literaturze najczęściej spotykany jest podział magazynów energii z uwagi na sposób akumulowania energii, który został pokazany schematycznie na **rysunku 2**. [6]: mechaniczny, elektryczny, termiczny, chemiczny i elektrochemiczny.

I Magazyny mechaniczne

Do magazynów energii mechanicznej zalicza się: elektrownie szczytowo-pompowe, sprężanie powietrza i innych gazów oraz kinetyczne magazyny energii, wśród których najbardziej rozwinięte są technologie z masami wirującymi [4, 5].

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, stosuje się ją głównie do gromadzenia energii rzędu dziesiątek i setek MWh oraz wymaga ona lokalizacji o specyficznym ukształtowaniu [4].

Natomiast kinetyczny magazyn energii zamienia energię elektryczną na energię kinetyczną koła zamachowego [4]. Wartość zgromadzonej energii wzrasta wraz z kwadratem

prędkości kątowej wirowania, która jest ograniczona wytrzymałością stosowanego materiału, to technologia, której ogólna zasada działania do budowy koła. Materiały lekkie umożliwiają osiągnięcie wyższych prędkości niż materiały cięższe o tej samej wytrzymałości na rozciąganie i przez to mogą zmagazynować większą ilość energii. Wirniki, zbudowane z kompozytów, wzmocnione włóknami o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie i osiągające prędkości do 100 000 obr./min, mogą zmagazynować więcej energii na jednostkę objętości niż wirniki wykonane z wysoko wytrzymałej stali o prędkości 10 000 obr./min (koła zamachowe wolnoobrotowe). Koło zamachowe jest najczęściej sprzęgane z konwencjonalną prądnicą, wytwarzającą energię elektryczną z wyhamowania energii kinetycznej wirującej masy [5].

Koła zamachowe mają 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 oraz serwisu układu łożyskowania i sprzęgieł [4].

Magazyny pneumatyczne stanowią jedną z najstarszych form gromadzenia energii, która polega na efektywnym sprężaniu powietrza zazwyczaj w jaskiniach lub kopalniach, choć ostatnio również w specjalnych zbiornikach. 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 40–70%. Niska efektywność tej metody wynika z przemian adiabatycznych, podczas których należy najpierw podczas sprężania powietrza odprowadzić duże ilości ciepła, a podczas rozprężania służącego odzyskowi energii ponownie zwiększyć temperaturę czynnika [4].

I Magazyny elektryczne

Kategoria ta obejmuje przede wszystkim superkondensatory i SEMS.

Superkondensatory osiągają swoje właściwości poprzez gromadzenie ładunków elektrycznych w obrębie podwójnej warstwy elektrycznej powstałej na granicy ośrodków elektroda-elektrolit. Z tego powodu superkondensatory 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 aktywne-

go węgla), odseparowane cienkim porowatym izolatorem, uzyskano bardzo dobre właściwości. Przede wszystkim superkondensator może przyjmować i oddawać bardzo duże wartości energii w krótkim czasie. Pojemność superkondensatora zależy od powierzchni okładzin, które dzięki porowatemu wykonaniu charakteryzują się znacznie większą wartością niż w tradycyjnych kondensatorach. Ponadto układy te mają dużą gęstość mocy, małą szkodliwość dla środowiska naturalnego, bardzo wysoką sprawność (nawet do 98%), dużą trwałość, sięgającą setek tysięcy cykli ładowania i rozładowania oraz szeroki zakres temperatur pracy. Natomiast ich wadą jest mała gęstość energii (rzędu 10 Wh/kg) oraz wysoka cena [4].

Nadprzewodnikowe magazynowanie energii magnetycznej (ang. *Superconducting Magnetic Energy Storage* – SMES) to technologia, której ogólna zasada działania polega na tym, że w fazie ładowania energia elektryczna jest magazynowana w postaci magnetycznej za pomocą cewki wytwarzającej silne stałe pole magnetyczne i układu chłodzącego, który utrzymuje cewkę w temperaturze ciekłego helu (4K), aby zminimalizować straty (zjawisko nadprzewodnictwa). W fazie rozładowania SMES uwalnia zmagazynowaną energię za pomocą układu przekształtników mocy [6]. Technologia ta jest stosowana do krótkotrwałego magazynowania energii i oczekuje się, że zyska kluczową rolę w stabilizacji wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych. Zalety SMES to wysoka wydajność i gęstość mocy. Wadą tego typu rozwiązań magazynowania energii jest wysoki koszt budowy i eksploatacji, wysoki współczynnik samorozładowania, wpływ na środowisko wynikający ze stosowania silnych pól magnetycznych oraz duża wrażliwość na temperaturę. Moc urządzeń SMES wynosi najczęściej od 0,1 do 10 kW, a zmagazynowana energia to nawet 100 MWh. Gęstość mocy magazynu energii wynosi od 500 do 2000 (W/kg), a jego żywotność przekracza 20 lat [6].

I Magazyny chemiczne i elektrochemiczne

W grupie magazynów chemicznych i elektrochemicznych ze względu na zachodzące procesy wyróżnić można ogniwa paliwowe oraz ogniwa elektrochemiczne (galwaniczne) pierwotne i wtórne.

Ogniwa paliwowe wytwarzają energię elektryczną w wyniku reakcji utleniania paliwa (najczęściej wodoru powstałego w procesie elektrolizy). Ogniwo paliwowe przetwarza wodór

ABSTRACT

Energy Storage Systems and Increasing the Reliability of UPS – Selected Issues

The article discusses the basic information about energy storage systems and increasing the reliability of UPS.

Keywords: UPS, energy storage, reliability.

ze zbiornika gazu lub z układu reformującego gaz oraz tlen z powietrza atmosferycznego na wodę i generuje prąd w procesie elektrochemicznym. Reakcja elektrochemiczna jest odwracalna, jednak materiały i konstrukcja ogniwa paliwowego muszą spełniać sprzeczne wymagania przy odwracaniu reakcji. Dla magazynowania energii wymagania, typowe dla ogniwa paliwowego i elektrolizerów, muszą być połączone w jednym systemie – odwracalnym ogniwie paliwowym. Zamiast wodoru i tlenu można wykorzystać także inne materiały, np. cynk/brom oraz cynk lub tlenek wanadu [5]. Materiały aktywne reagują, gdy istnieje możliwość wymiany protonów przez elektrolit nieprzewodzący elektronów i generują prąd poprzez reakcję elektrochemiczną. Są to akumulatory o przepływie „redoksyw”. Ich sprawność energetyczna może być wyższa niż odwracalnych ogniwa paliwowych, ale nadal jest niższa od efektywności energetycznej, osiągananej przez większość akumulatorów. Małe akumulatory typu redox mogą znaleźć zastosowanie w pojazdach elektrycznych, natomiast wersje większe, w zakresie setek MW, znajdują się jeszcze w fazie rozwoju. Celem jest ich wykorzystanie w dużych farmach wiatrowych oraz systemach energii dla wyrównania napięcia z czasem rozładowania do 24 godzin. Materiały stosowane w ogniwach paliwowych i akumulatorach redox są na ogół zagrożeniem dla środowiska i należy przedsięwziąć szczególne środki ostrożności przy budowie wielkich zbiorników do magazynowania energii rzędu MW. Odwracalne ogniwa paliwowe i akumulatory typu redox umożliwiają oddzielenie cechy wysokiej pojemności energii od maksymalnej mocy wyjściowej. Ilość zmagazynowanej energii jest określona wielkością zbiornika magazynowania materiałów aktywnych, zaś moc – poprzez powierzchnię elektrod i konstrukcję reaktora. Straty trybu czuwania („stand-by”) są niskie z powodu fizycznego oddzielenia przechowywanych materiałów aktywnych. Technologia ogniwa paliwowych, elektrolizerów oraz akumulatorów typu redox jest w zasadzie opartą. Nadal trwają badania wpływu tem-

peratury zewnętrznej na eksploatację pomp, zaworów i innych elementów wyposażenia pomocniczego instalacji. Kluczowym problemem w rozwoju ogniwa paliwowych jest konstrukcja membran do separacji wodoru [5].

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: akumulatory kwasowo-ołowiowe, niklowo-kadmowe, litowo-jonowe i metalowo-powietrzne. Szczegółowe informacje można znaleźć w licznej literaturze, w tym [1, 2, 6].

I Magazynowanie termiczne

Stosowane sposoby magazynowania termicznego w postaci ciepła i chłodu klasyfikowane są najczęściej następująco [5]:

- » magazynowanie aktywne:
 - z wykorzystaniem ciepła właściwego ciał (ciepło jawne),
 - ciepła przemian fazowych (ciepło utajone, ciepło ukryte),
 - ciepła przemian chemicznych i fotochemicznych;
 - » magazynowanie pasywne w elementach konstrukcyjnych budowli.
- Szczegółowe informacje o zasadach działania i możliwościach magazynowania energii znajdują się w publikacjach [5, 6].

I Literatura

1. T. Sutkowski, Rezerwowe i bezprzerwowe zasilanie w energię elektryczną – urządzenia i układy, COSiW SEP, Warszawa 2007.
2. J. Wiatr, M. Miegoń, Zasilanie budynków użyteczności publicznej oraz budynków mieszkalnych w energię elektryczną, „Niezbędnik elektryka” nr 4, Warszawa 2019.
3. K. Kuczyński, Zastosowania specjalne UPS-ów – zagadnienia wybrane, „elektro.info” 9/2011.
4. D. Głuchy, Czynniki warunkujące współpracę magazynów energii z OZE, Poznań University of Technology Academic Journals, Electrical Engineering, no. 87, 2016, s. 191–204.
5. H. Wojciechowski, Technologie magazynowania energii. Cz. I, Instal, 2/2017, s.20–27.
6. A.A. Kebede, T. Kalogiannis, J. Van Mierlo, M. Bercebar, *A comprehensive review of stationary energy storage devices for large scale renewable energy sources grid integration*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 159, 2022, s. 112213.

Magazyn energii w spółdzielni energetycznej – sposób na oszczędności

W wyniku niezbilansowania i pozostawienia energii u sprzedawcy, spółdzielnia musi później zakupić energię po cenach rynkowych. Jeśli zbilansowanie byłoby całkowite, wtedy spółdzielnia energetyczna korzystałaby tylko z własnej energii i nie ponosiła kosztów usług dystrybucyjnych. Jak to osiągnąć? Jedną z możliwości jest odpowiednio dobrany magazyn energii. Pozwoli on także na zarządzanie przepływami energii z sieci, co jeszcze bardziej zmniejszy koszty energii elektrycznej i usług dystrybucyjnych. Oszczędności, jakie można osiągnąć dzięki magazynom energii, warto obliczyć za pomocą specjalnego kalkulatora zamieszczonego na stronie energate.pl polskiego producenta ELMECH-ASE, spółki zależnej znajdującej się w portfelu Grupy Mercor i Grupy Technologicznej ASE.

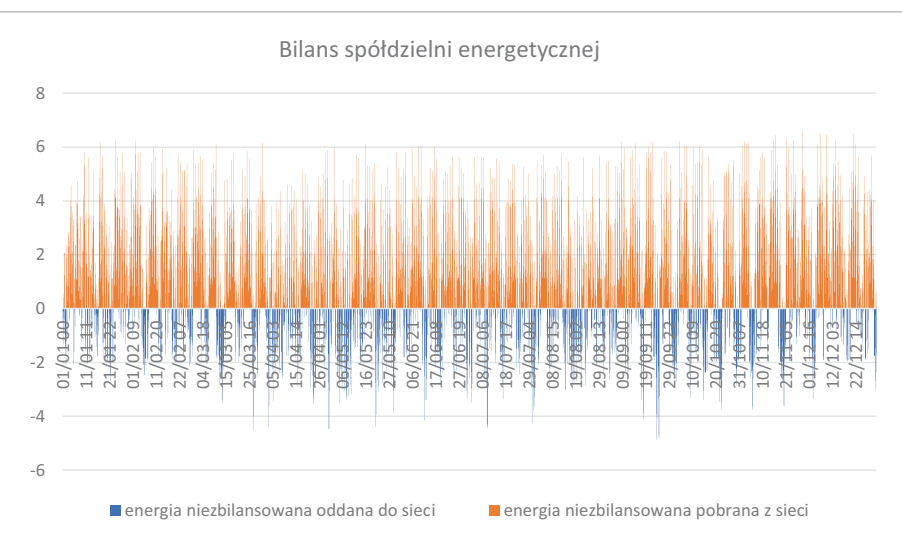
Przedmiotem działalności spółdzielni energetycznej jest wytwarzanie energii elektrycznej, biogazu lub ciepła w instalacjach odnawialnego źródła energii i równoważenie zapotrzebowania na energię elektryczną lub biogaz lub ciepło, wyłącznie na potrzeby własne spółdzielni energetycznej i jej członków. Członkowie spółdzielni przyłączeni są do zdefiniowanej obszarowo sieci dystrybucyjnej elektroenergetycznej o napięciu znamionowym niższym niż 110 kV lub sieci dystrybucyjnej gazowej, lub sieci ciepłowniczej.

Zasady działania spółdzielni energetycznej

Spółdzielnia energetyczna działa na obszarze jednego operatora systemu dystrybucyjnego elektroenergetycznego albo sieci dystrybucyjnej gazowej lub ciepłowniczej, zaopatrujących w energię elektryczną, biogaz lub ciepło wytwórców i odbiorców będących członkami tej spółdzielni, których instalacje są przyłączone do sieci danego operatora lub do danej sieci ciepłowniczej. Wytwórców energii w ramach spółdzielni może być kilku. Instalacje wytwórcze mogą być własnością spółdzielni lub poszczególnych jej członków. Spółdzielnie mogą działać na terenie gminy wiejskiej i miejsko-wiejskiej lub trzech takich gmin bezpośrednio ze sobą sąsiadujących.

Oprócz wymagań, o których piszemy wyżej, spółdzielnia musi spełniać jeszcze następujące warunki:

- » liczba członków musi mniejsza niż 1000,
- » w ciągu roku trzeba zapewnić pokrycie nie mniej niż 70% zapotrzebowania na dany rodzaj energii wszystkich członków spółdzielni,
- » moc zainstalowana elektryczna nie może być wyższa niż 10 MW, w przypadku energii ciepła



Rys. 1. Roczny bilans po przystąpieniu do spółdzielni

– nie wyższa niż 30 MW, natomiast w przypadku produkcji biogazu – 40 mln m³/rok.

Sprzedawca zobowiązany, którym jest wyznaczony przez Urząd Regulacji Energetyki na danym terenie koncesjonowany sprzedawca danego rodzaju energii, dokonuje ze spółdzielnią energetyczną rozliczenia ilości energii elektrycznej wprowadzonej do sieci dystrybucyjnej elektroenergetycznej wobec ilości energii elektrycznej pobranej z tej sieci w celu jej zużycia na potrzeby własne przez spółdzielnię energetyczną i jej członków w stosunku ilościowym 1 do 0,6. Ilość niewykorzystanej energii pozostaje do odebrania w następnym okresie rozliczeniowym, ale okres ten nie może być dłuższy niż 12 miesięcy od ostatniego dnia miesiąca, w którym taka nadwyżka powstała.

Rozliczenie to dotyczy energii elektrycznej wprowadzonej i pobranej z sieci dystrybucyjnej elektroenergetycznej przez wszystkich wy-

twórców i odbiorców energii elektrycznej będących członkami spółdzielni energetycznej. Rozliczeń tych dokonuje się na podstawie wskazań urządzeń pomiarowo-rozliczeniowych przyłączonych do sieci dystrybucyjnej, które udostępnia operator sieci dystrybucyjnej. Zasady bilansowania i rozliczeń reguluje Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 23 marca 2022 r. w sprawie dokonywania rejestracji, bilansowania i udostępniania danych pomiarowych oraz rozliczeń spółdzielni energetycznych (Dz.U. z 2022 r. poz. 703).

Od ilości energii elektrycznej rozliczonej w sposób, który opisaliśmy wyżej, spółdzielnia energetyczna nie uiszcza:

- » opłaty z tytułu rozliczeń energii,
- » opłaty dystrybucyjnej, zależnej od ilości pobranej energii,
- » kosztów tzw. bilansowania handlowego.

Koszty te pokrywa sprzedawca zobowiązany w ramach wartości pozostającej do jego dyspozycji energii (0,4 wprowadzonej do sieci dystrybucyjnej). Spółdzielnia energetyczna nie uiszcza również opłaty OZE, opłaty „mocowej” i opłaty kogeneracyjnej. Nie stosuje się obowiązków umarzania określonych świadectw pochodzenia energii.

Dla potrzeb wewnętrznych rozliczeń spółdzielni, sprzedawca zobowiązany jest podać ilości wprowadzonej i pobranej z sieci energii przez poszczególnych członków spółdzielni. Spółdzielnia rozliczy ją zgodnie z wewnętrznymi przyjętymi zasadami.

Rozliczenie spółdzielni energetycznej – studium przypadku

W prezentowanym przykładzie rozliczenie przeprowadzono dla nowo powstającej spółdzielni energetycznej, której członkami są:

- 1) Po stronie wytwarzania:
 - » biogazownia o mocy 1 MW przyłączona do sieci 15 KV,
 - » źródła fotowoltaiczne o łącznej mocy 6 MWp, przyłączone do sieci średniego napięcia,
 - » źródła wiatrowe o łącznej mocy 3,2 MW, przyłączone do sieci średniego napięcia.

Przed przystąpieniem do spółdzielni, za wytworzoną energię wytwórcy otrzymują, zgodnie z cenami wygranych aukcji, 6,650 tys. zł;

- 2) Po stronie odbioru:
 - » odbiorcy przemysłowi, przyłączeni do sieci średniego napięcia,
 - » odbiorcy domowi przyłączeni do sieci niskiego napięcia,
 - » obiekty handlowe i usługowe, przyłączone do sieci niskiego napięcia,
 - » obiekty użyteczności publicznej,
 - » oświetlenie uliczne.

Roczne koszty dostaw energii, liczone dla składników zależnych od ilości pobranej energii wynoszą 30,232 tys. zł.

Roczny bilans po przystąpieniu do spółdzielni przedstawia rysunek.

Ilość energii pobranej z sieci przez spółdzielnię energetyczną, tj. energię zbilansowaną wektorowo dla energii pobranej i wytworzonej dla każdej godziny w roku, wyniesie 11.596 MWh. Ilość energii oddanej do sieci przez spółdzielnię energetyczną, tj. energii zbilansowanej wektorowo dla energii pobranej i wytworzonej dla każdej godziny w roku, wyniesie 3.530 MWh. Spółdzielnia będzie mogła w ciągu roku odebrać 60% wprowadzonej energii do sieci, nie ponosząc opłat dystrybucyjnych zależnych od

ilości pobranej energii. Opłatę tę poniesie sprzedawca, korzystając z wartości zatrzymanych 40% wprowadzonej do sieci energii, za którą należy wnieść opłaty dystrybucyjne.

Zatem spółdzielnia poniesie koszty dostaw energii, na które składają się koszty zakupu energii niezbilansowanej pobranej przez odbiorców, pomniejszonej o 60% odebranej energii niezbilansowanej, wprowadzonej do sieci. Spółdzielnia poniesie również koszty usług dystrybucyjnych z tego tytułu.

Koszty te wyniosą:

- » koszty zakupu energii wyniosą 10.404 tys. zł,
- » koszty zakupu usług dystrybucyjnych wyniosą 6.458 tys. zł.

Zatem roczne koszty dostaw energii do członków spółdzielni będą wynosiły 16,862 tys. zł. Wynagrodzenie wytwórców może wzrosnąć nawet do 13,370 tys. zł, w zależności od zasad rozliczeń w spółdzielni.

Magazyn energii pomoże w zbilansowaniu

Powyższy przykład pokazuje, że w wyniku niezbilansowania i pozostawienia u sprzedawcy 40% energii, spółdzielnia musi zakupić tę energię dla odbiorców po cenach rynkowych. Jeśli zbilansowanie byłoby całkowite, spółdzielnia korzystałaby tylko z własnej energii i nie ponosiła kosztów usług dystrybucyjnych. Można to osiągnąć dobierając odbiorców lub wytwórców z możliwościami regulacyjnymi. Innym sposobem jest zainstalowanie magazynu energii. Takimi magazynami mogą być bojler elektryczny ciepłej wody lub zbiorniki gazu przy biogazowniach. Innym rozwiązaniem mogą być magazyny baterijne. W spółdzielni z przykładu dobrano magazyn energii o mocy 2 MW i pojemności 8 MWh. Wielkość tę dobrano również ze względu na możliwość dofinansowania inwestycji z Rynku Mocy, ponieważ rynek energii w Polsce jest dwutowarowy. Kontraktować możemy obrót energią, a także rezerwy mocy, zakładając pracę magazynu energii przez 17 lat.

Przy rocznej oszczędności 2,849 tys. zł i koszcie budowy magazynu 20,800 tys. zł okres zwrotu inwestycji wyniesie 7,3 roku. Natomiast jeśli spółdzielnia energetyczna wygra aukcję rynku mocy, inwestycja zwróci się w okresie 5,7 roku. Okres zwrotu policzony został przy cenie dostarczanej energii w roku 2023 na poziomie 800 zł/MWh, tj. cenie ograniczonej w sposób sztuczny przez regulację ustawową, chroniącą małe i średnie przedsiębiorstwa. Ponieważ ta regulacja w latach następnych nie będzie obowiązywała i ceny energii zostaną uwolnione, od-

biorcy już otrzymują propozycje dostaw w cenie 1200–1400 zł/MWh. Przyjmując cenę sprzedaży energii na poziomie 1200 zł/MWh, okres zwrotu z inwestycji związanej z magazynem energii wyniesie odpowiednio 5,6 roku i 4,6 roku w przypadku świadczenia usług na rynku mocy. Dodatkowo, magazyn energii taki jak ENERGATE od ELMECH-ASE, pozwoli na zarządzanie przepływami energii z sieci, co pozwoli na jeszcze większe zmniejszenie kosztów energii elektrycznej i usług dystrybucyjnych.

Im bardziej zostanie zbilansowana w danym momencie ilość wytwarzanej energii z jej odbiorem, tym efekty ekonomiczne będą większe. Przy pełnym zbilansowaniu sieć dystrybucyjna będzie tylko zapewniać ciągłość dostaw energii i zabezpieczać wewnętrzną gospodarkę energetyczną.

Na koniec należy zaznaczyć, że każdy przypadek jest inny. Dlatego, aby sprawdzić własną sytuację i to ile można, zaoszczędzić energię, warto m.in. skorzystać z kalkulatora, który to wyliczy. Przykładem takiego narzędzia jest kalkulator dla magazynów energii ENERGATE od ELMECH-ASE: <https://energate.pl/#calculator>. Spółka ELMECH-ASE, należąca do portfela spółek zależnych Grup: Mercor i ASE od ponad 35 lat zajmuje się opracowywaniem nowatorskich konstrukcji dla zasilania gwarantowanego, konwersji energii, ładowania, nadzoru i zarządzania bateriami akumulatorów oraz poprawy jakości energii. Jej przemysłowy magazyn energii ENERGATE to rozwiązanie, które od samego początku zabezpiecza przemysł przed konsekwencjami niepewnego rynku energii poprzez zakup energii w czasie taryfowym, kiedy jest tańsza, magazynowanie i wykorzystanie w czasie, kiedy jest droga. Firma wyposażona w magazyn energii oszczędza nie tylko na arbitrażu cenowym, ale także na obniżeniu opłaty mocowej, eliminacji opłat za przekroczenie mocy zamówionej oraz poborze energii biernej pojemnościowej i indukcyjnej. Im wyższa cena energii elektrycznej, tym szybszy termin zwrotu magazynu energii.

ENERGATE

Elmech-ASE S.A.

83-000 Pruszcz Gdański, ul. Podmiejska 5c
tel. 510 00 44 77
kontakt@energate.pl
www.energate.pl

mgr inż. Jacek Świątek – APS ENERGIA S.A.

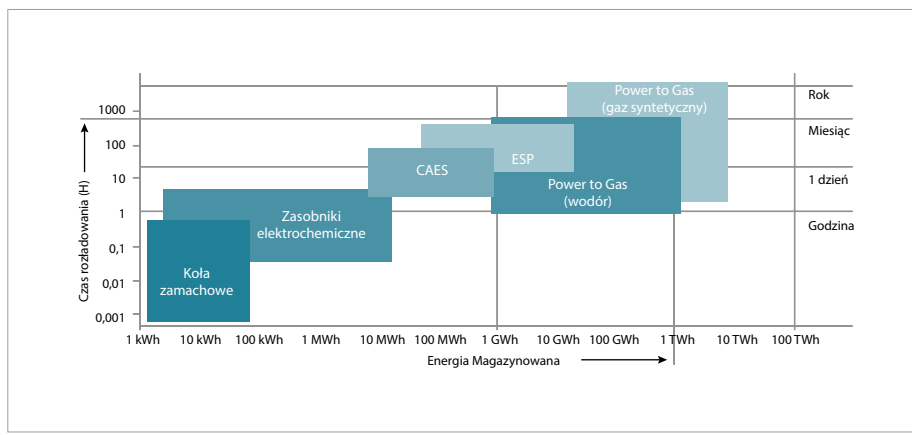
Magazyny energii jako element transformacji systemu energetycznego (część 1.)

Magazynowanie energii jest jednym z popularniejszych haseł obszaru elektroenergetycznego. Stało się zjawiskiem niemal powszechnym, mającym na celu poprawę stabilności Krajowego Systemu Elektroenergetycznego z uwagi na przyłączanie źródeł energii odnawialnej.

Rozwój systemów magazynowania energii (ESS z ang. *Energy Storage System*) charakteryzuje kilka etapów instalacyjnych. Pierwszy etap to faza projektów dotowanych, gdzie instalowane są ESS z dużym współfinansowaniem i dotacjami unijnymi/państwowymi. Są to instalacje próbne, badawcze, eksperymentalne, które w ograniczonym zakresie wynikają z głębokich analiz zasadności technicznej i ekonomicznej. Ten etap właśnie się kończy.

Drugim etapem będą instalacje ESS, które łagodzą niewydolność systemu energetycznego. Dotyczy to przypadków wykonania instalacji Odnawialnych Źródeł Energii (OZE) w otoczeniu, gdzie:

- » nie można uzyskać odpowiedniej mocy przyłączeniowej;
- » w danym obszarze występują problemy techniczne z jakością energii za sprawą in-



Rys. 1. Możliwości magazynowania energii w różnych technologiach ze względu na czas i moc, zgodnie z [2]

stalacji OZE, które w konsekwencji mogą być odłączane (bo zawyżają napięcia w sieci dystrybucyjnej, powodują niebilansowanie lokalnej generacji energii z OZE z profilem odbiorów itp.);

» mogą występować zapady napięcia w sieci dystrybucyjnej i nawet wyłączenia odbiorców, wtedy magazyn energii będzie miał jako zadanie przeprowadzić instalację na pracę wyspową (ang. *off-grid*).

	Usługi operatorów				Usługi klienta dla klienta instytucjonalnego				Praca off-grid			
	regulacja częstotliwości i FRR	regulacja częstotliwości FCR	regulacja częstotliwości FRR	Regulacja napięcia	Bilansowanie obciążenia	Potrzeby własne	Lokalny magazyn	Podniesienie jakości	przesunięcie krzywej zużycia	sieć wyizolowana	sieć promienna	Praca wyspowa
Hydro Elektrownie												
Zasobniki pneumatyczne CAES												
Zasobniki mechaniczne/zamachowe												
Baterie kwasowe klasyczne												
Baterie kwasowe VRLA												
Li-ion (NMC)												
Li-ion (NCA)												
Li-ion (LFP)												
Li-ion (LTO)												
Wysoko temperaturowe NaNiCl												
Wysoko temperaturowe NaS												
Przepływowe VRFB												
Przepływowe bromowe ZnBr												

Rys. 2. Dobór zasobników energii ze względu na zadania systemowe (źródło: [8]).

Trzeba pokreślić, że odbiorcy energii/prosumenci, pomimo że są końcowym elementem Krajowego Systemu Elektroenergetycznego, to muszą respektować jego techniczne uwarunkowania. Nie mogą przekraczać warunków przyłączeniowych i muszą mieć na uwadze lokalne uwarunkowania techniczne sieci. Z tego powodu będą zmuszeni do podejmowania działań łagodzących niewydolność systemu energetycznego np. poprzez dodanie do swojej lokalnej instalacji OZE Systemu Magazynowania Energii.

Trzecim etapem instalacji magazynów energii będą instalacje stanowiące element systemu energetycznego po jego transformacji. Te instalacje będą w pełni dobrane, przeliczone, uzasadnione technicznie i ekonomiczne. Dlatego też odniesiemy magazynowanie energii do transformacji systemu KSE. Transformacją będzie przejście z koncepcji energetyki scentralizowanej (zarządzanej odgórnie, gdzie wiodącą rolę w generacji energii mają duże bloki energetyczne) do koncepcji energetyki rozproszonej (elastycznej, lokalnej, gdzie największe znaczenie będą miały źródła OZE uzupełnione o generację stabilną np. z bloków gazowych, jądrowych, biomasy). Energetyka rozproszona będzie oparta na obszarach samobilansujących (określanych jako LOB – Lokalne Obszary Bilansujące), a docelowo będzie oparta na inteligentnych sieciach (z ang. *Smart-Grids*).

Transformacja energetyczna jest problemem odkładanym, niechcianym, a nawet w niektórych kręgach pomijanym w dyskusji. Dość powszechny jest pogląd, że transformacji nie bę-

dzie lub będzie miała charakter pozorowany, czyli system pozostanie scentralizowany z elementami rozproszenia.

Tu mam inne zdanie, bo uważam, że Krajowy System Elektroenergetyczny działając w obecnym otoczeniu stanie się wkrótce systemem nieefektywnym ekonomicznie i technicznie. Będzie to wynikało z faktu, że system nie będzie w stanie rozwiązać nawarstwiających się problemów, jakimi są:

- » przeciążenia na liniach najwyższych napięć przesyłu i dystrybucji (400, 220, 110 kV);
- » coraz większa, ponadnormatywna liczba instalacji generacji OZE – generacji niestabilnej i niesterowalnej przez operatorów i mogącej powodować ogromne problemy w sieciach OSD (Operatorów Sieci Dystrybucyjnych);
- » wymóg osiągnięcia celów unijnej polityki klimatyczno-energetycznej oraz coraz większych opłat za nadmiarową emisję CO₂.

Wątpię, że ww. problemy można skutecznie zaadresować bez głębokiej transformacji KSE. Ich nasilenie będzie powodować wyłączenia, problemy z brakiem ciągłości dostaw energii, nieefektywnym wykorzystaniem źródeł OZE i w konsekwencji tego pojawi się znaczny wzrost cen energii. Jeżeli do tego dołożymy coraz większe naciski Unii Europejskiej na działania proklimatyczne i dalsze naciski/kary finansowe, to można zadać pytanie: czy to nie spowoduje niezadowolonych społecznych i w efekcie nie wymusi rewolucji energetycznej i jej decentralizacji? W artykule omówię, z jakich elementów się składa magazyn energii, jakie są generalne zasady jego doboru i jakie spełnia funkcje. To wszystko odniesiemy do potrzeb i problemów Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE), by określić docelowe zadania pełnione przez magazyny energii. Przedstawię możliwe modele energetyki „przyszłości”. Transformacja energetyki musi być powiązana ze zmianą myślenia społecznego i przewartościowaniem celów efektywności energetycznej w obszarach życia zawodowego i prywatnego. Drogowskazem są zapisy normy ISO 50001 „Efektywność Energetyczna” – która powinna też zaistnieć w naszym życiu jako element i podstawa takich zmian.

Magazyn energii – funkcje, schemat podstawowy, dobór zasobników

Magazyn energii (ESS) jest zestawem urządzeń podłączonych do sieci energetycznej, które w sposób aktywny są w stanie pobierać i oddawać energię do sieci, zgodnie z zadaniem

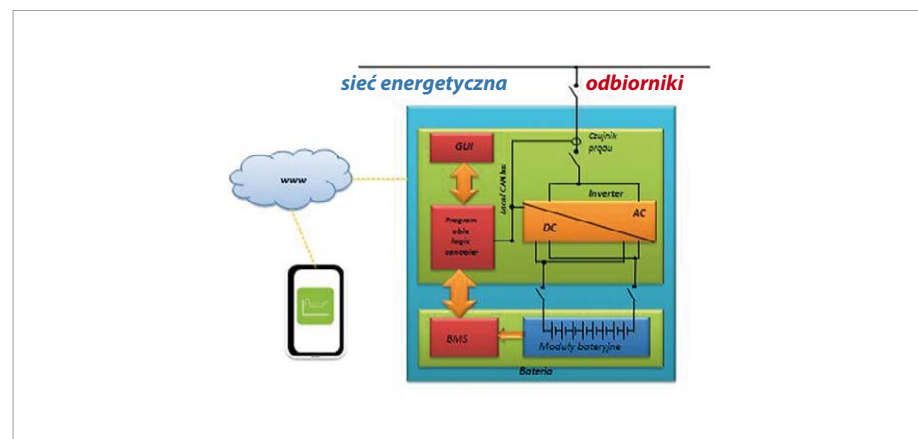
algorytmem. Transmisję energii w obu kierunkach zapewnia przekształtnik dwukierunkowy (DC→AC i AC→DC, określany jako falownik, a czasem prostownik – bo łączy obie funkcje). Magazyn Energii może stabilizować i regulować parametry sieci lub zadania w punkcie przyłączenia, a jego pracą zarządza sterownik określany jako EMS (ang. *Energy Management System*), w oparciu o algorytm, zaprojektowany specyficznie dla potrzeb danego systemu.

Często magazyny energii będą umiejscowione przy źródłach OZE z racji tego, że te źródła charakteryzuje niestabilna generacja, a ESS doskonale niweluje tę dysfunkcjonalność.

Magazyn energii musi być wyposażony w zasobnik, czyli zbiornik energii, do którego jest przekazywana lub pobierana energia. Energia może być magazynowana w różnej formie. Mogą to być zbiorniki wodne (stosowane w elektrowniach wodnych), gazy sprężone, masy wirujące, wodór, baterie chemiczne. Dobór zasobnika jest zależny od tego, jaką moc i w jaki czasie musi zapewnić ESS. Jeżeli mówimy o magazynach energii największej mocy (czyli setki megawatów przy pracy w długim czasie często kilku godzin) tu preferowane będą zbiorniki wodne, czyli elektrownie wodne, szczytowo-pompowe. Magazynowanie energii w formie sprężonego gazu, czy wodoru są to systemy, które dobrze się sprawdzają dla mocy od 10 MW do 100 – 200 MW. Baterie chemiczne optymalnie magazynują moc w systemach od kilku kilowatów do 10 megawatów w czasie rozładowania minutowym i godzinowym. Kola zamachowe, superkondensatory optymalnie zapewniają magazynowanie energii do stu kilowatów, ale są dedykowane do krótkich czasów rozładowań np. sekundy, milisekundy. Przedstawia to **rysunek 1**.

Innym parametrem doboru technologii wykonania zasobnika energii w ESS są funkcje sieciowe, takie jak:

- » kształtowanie profilu obciążenia (ang. *Capacity Firming*),
- » regulacja częstotliwości (ang. *Frequency Regulation*),
- » wyrównywanie profilu obciążenia (ang. *Load Leveling*),
- » wycinanie obciążeń szczytowych (ang. *Peak Shaving*),
- » przesunięcie obciążenia w okresy pozaszczytowe (ang. *Load Shedding*),
- » zapewnienie jakości energii (ang. *Power Quality*),
- » funkcje przeciwwypadowe (ang. *Spinning Reserve*).



Rys. 3. Konfiguracja magazynu energii z zasobnikiem chemicznym BESS (zgodnie z [1])

Są też funkcje popytowo-podażowe wykorzystujące zmienność cen na rynku energii oraz wspomaganie realizacji programów bilansowania popytu i podaży. Mogą być zadania typu UPS czyli zapewnienie bezprzerwowego zasilania lub wydzielenie obszaru a wyspę. Zatem zmiennych jest wiele. Dopasowanie technologii magazynowania energii do ww. funkcji ilustruje **rysunek 2**. (opracowanie na podstawie raportu „International Renewable Energy Agency” z 2017 roku (źródło [8]).

Gęstość kresek ilustruje skalę dopasowanie danej technologii do zadania. Opracowanie wskazuje, że istotną rolę zasobników w Magazynach Energii mogą spełniać baterie litowo-jonowe lub litowo-polimerowe, które w dobrze wypełniają niemal wszystkie funkcje. Tu trzeba pamiętać, że jest to grupa baterii o różnych parametrach, a nie jeden typ. Najbardziej popularne są baterie litowe chemii NMC (nikiel, mangan, kobalt), LFP (żelazowo-fosforowe) i LTO (tytanowe). W tym zestawieniu są też analizowane baterie kwasowo-ołowiowe. Jednak ich rola

w magazynach energii będzie mniejsza i wykorzystywane będą raczej tylko do funkcji pojemnościowych. Wynika to z powodu ich słabej cykliczności, małej odporności na wysokie temperatury, braku możliwości przyjmowania dużych porcji energii, braku systemów nadzoru tego typu ogni.

Magazyn Energii z zasobnikiem chemicznym określany jest jako BESS (ang. *Battery Energy Storage System*) i składa się z następujących elementów (zgodnie z [1]):

- przetwornicy dwukierunkowej (falownika/prostownika) przekształtnika DC/AC i AC/DC;
- zasobnika bateryjnego – baterii akumulatorów chemicznych;
- kontrolera baterii BMS (z ang. *Battery Management System*);
- programowalnego kontrolera (ang. *Programmable Logic Controller*);
- układu nadzoru i wizualizacji pracy GUI (ang. *Graphic User Interface*);
- elementów pomocniczych zapewniających podłączenie do sieci (np. transformatora se-

parującego), elementów pomiarowych prądu i napięcia, itp.

Schemat zasobnika BESS ilustruje **rysunek 3**.

Magazyn energii może pracować w trybie „pojemnościowym” polegającym na oddawaniu zmagazynowanej energii, zazwyczaj w dłuższym czasie lub może pracować w trybie „mocy – regulacyjnym” polegającym przyjęciu/oddaniu dużej porcji energii w krótkim czasie. Tryb który łączący obie funkcje jest określany jako „hybryda”. Układy pojemnościowe wspierają niestabilną pracę źródeł OZE, mogą zapewnić pracę magazynu energii w funkcji UPS do utrzymania krytycznych odbiorów, mogą przesunąć profil obciążenia, czyli przyjąć energię w szczycie produkcyjnym źródeł OZE, a oddać ją kiedy źródła OZE nie pracują. Tryb regulacyjny to realizacja poprzednio opisanych funkcji sieciowych w celu wyeliminowania zakłóceń, zapewnienia jakości zasilania, ukształtowania profilu odbiorów. Uzyskujemy to przez dostarczanie lub pobieranie z systemu mocy biernej i/lub czynnej, zazwyczaj w krótkim czasie. W trybie hybrydowym realizowane są oba zadania. Tryb hybrydowy będzie stosowany w pracy wyspowej instalacji, w inteligentnych mikrosieciach, w Lokalnych Obszarach Bilansujących się (określanych jako LOB). Tryby pracy BESS ilustruje **rysunek 4**.



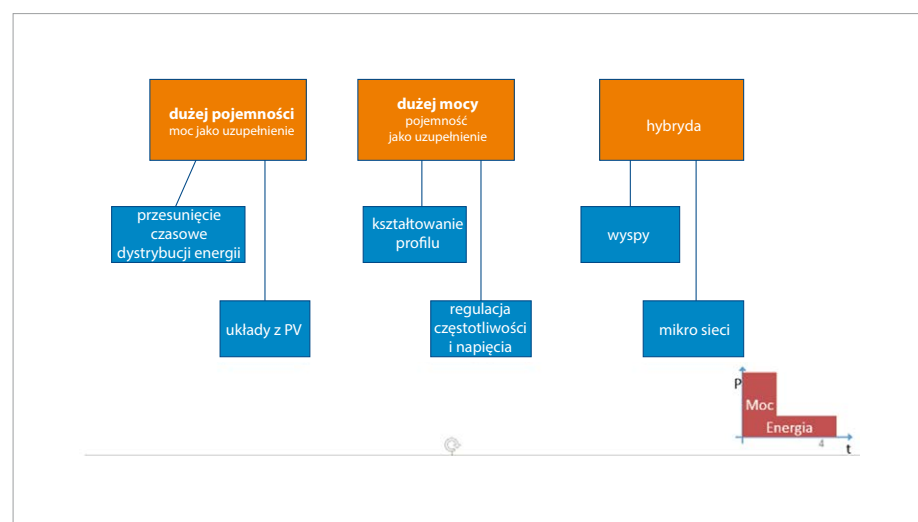
literatura do artykułu na
elektro.info.pl

ABSTRACT

Energy Storage Systems as part of National Power System transformation

Energy storages is one of the most popular buzzwords of the electric power area. The article presents what elements an Energy Storage System consists of, what are the general principles of its selection and what functions it performs. If we relate this to the needs and problems of the National Power System (NPS), we determine the target tasks that such systems will have to fulfill. The models of the power industry of the 'future' are presented and how the transformation of the power system may proceed. It will be a transformation from a centralized energy concept (top managed, where the leading role in energy generation is played by large power generation) to a distributed energy concept (flexible, local, where the leading role will be played by RES sources complemented by stable energy production from gas, nuclear and biomass units. Finally it will be a transition to a system based on Local Self-Balancing Areas, and to the Smart Grids.

Key words: Energy Storage System (ESS), Battery Energy Storage System (BESS), National Power System Transformation, Energy transmission and distribution; Local Balancing Areas and Smart Grids.

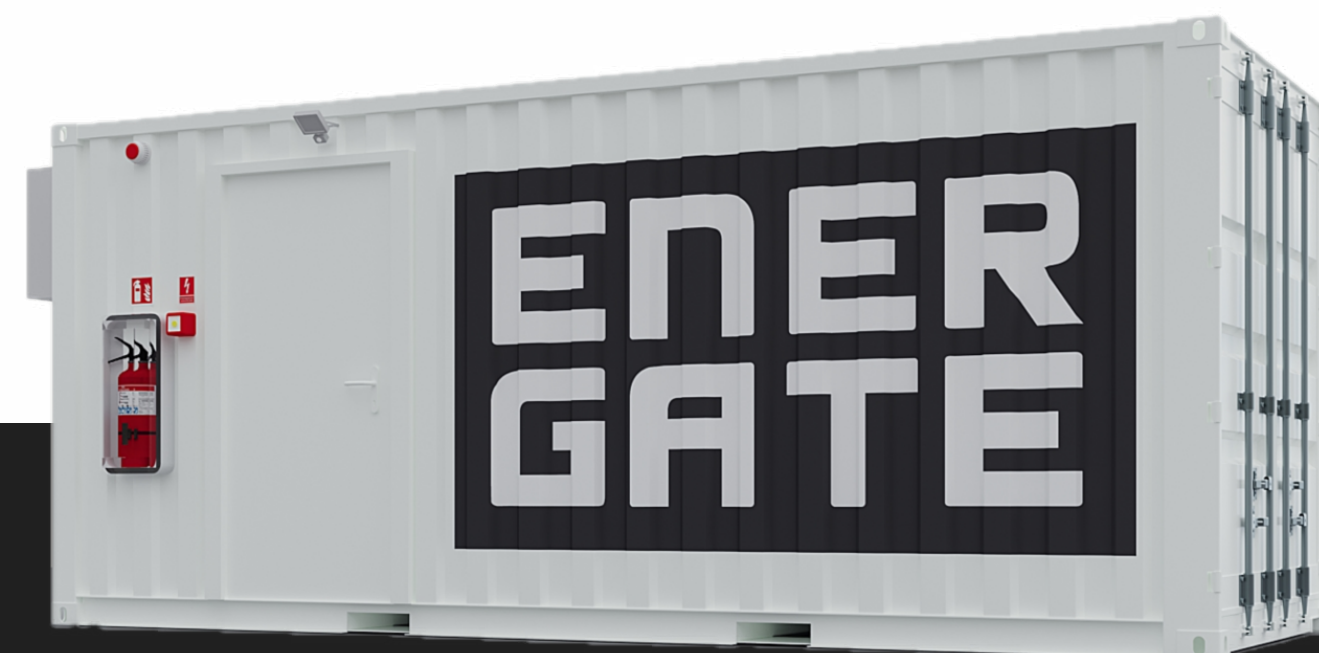


Rys. 4. Konfiguracja Magazynu Energii w zależności od wymagań moc/energia (opracowanie własne na podstawie [9])

ENERGATE

PRZEMYSŁOWY MAGAZYN ENERGII

ZABEZPIECZ FIRMĘ • ZBILANSUJ SIEĆ



**ZESKANUJ I OBLICZ
ILE OSZCZĘDZISZ
NA RACHUNKACH ZA PRĄD!**

Dowiedz się więcej **energate.pl**
lub zadzwoń **510 00 44 77**

mgr inż. Jacek Świątek – APS ENERGIA S.A.

Magazyny energii jako element transformacji systemu energetycznego (część 2.)

Zasady funkcjonowania Krajowego Systemu Energetycznego (KSE)

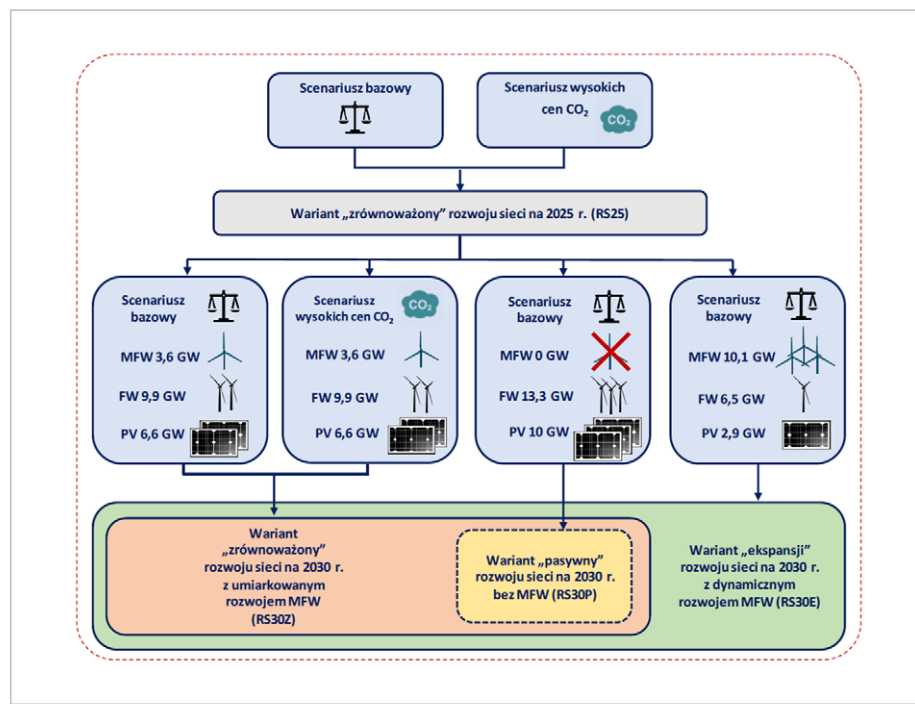
Spółki dystrybucyjne w ramach systemu energetycznego prowadzą działalność biznesową, ale jednocześnie pełnią misję społeczną dla zapewnienia prawidłowego funkcjonowania gospodarki krajowej oraz odbiorców indywidualnych. Krajowy System Elektroenergetyczny ma zapewnić nieprzerwane dostawy energii o wymaganych parametrach gwarantujących funkcjonowanie zasilanych odbiorców. KSE ma spełniać dowolne i nieznane potrzeby odbiorców, którzy mogą pobierać energię do wielkości mocy przyłączeniowej, w dowolnym czasie i w dowolny sposób. Odbiorcy chcą być zasilani napięciem sinusoidalnym o stałej amplitudzie i częstotliwości, a KSE powinien w sposób stabilny, bez przerw, spełnić ich oczekiwania. „Stabilność” jest jednak inaczej definiowana z punktu widzenia odbiorcy i operatora systemu.

Operator systemu elektroenergetycznego przede wszystkim oczekuje, że system będzie zrównoważony w bilansie energii, czyli produkcja powinna być równa zapotrzebowaniu na odbiór. Wskaźnikiem tego stanu jest przede wszystkim stabilny poziom częstotliwości i napięcia sieci, dwa parametry szczególnie ważne dla operatorów. Zatem ope-

STRESZCZENIE

Magazynowanie energii jest jednym z popularniejszych haseł obszaru elektroenergetycznego. W artykule przedstawiono z jakich elementów się składa magazyn energii, jakie są generalne zasady jego doboru i jakie spełnia funkcje. Jeżeli odniesiemy to do potrzeb i problemów Krajowego Systemu Energetycznego (KSE) to określiliśmy docelowe zadania, jakie będą musiały wypełnić takie systemy. Przedstawiono modele energetyki „przyszłości” i jak może przebiegać transformacja systemu elektroenergetycznego. Będzie to przejście z koncepcji energetyki scentralizowanej (zarządzanej odgórnie, gdzie wiodącą rolę w generacji energii mają duże bloki energetyczne) do koncepcji energetyki rozproszonej, elastycznej, lokalnej, gdzie wiodącą rolę będą miały źródła OZE uzupełnione o stabilną produkcję energii z bloków gazowych, jądrowych, biomasy. Docelowo będzie to przejście do systemu opartego na Lokalnych Obszarach Samobilansujących, a docelowo na inteligentnych sieciach.

Słowa kluczowe: magazyn energii, baterijny magazyn energii, transformacja Krajowego Systemu Elektroenergetycznego, przesył i dystrybucja energii, Lokalne Obszary Bilansujące i Sieci Inteligentna.



Rys. 1. Proces analityczny wyboru zakresu rozbudowy sieci przesyłowej [12]

rator systemu musi dysponować narzędziem do bilansowania popytu i podaży dla zapewnienia wymaganej jakości napięcia oraz bezprzerwowego i stabilnego zasilania odbiorców. Inne są regulatory w scentralizowanym systemie, a inne będą w decentralizowanym (z powodu rozproszenia generacji muszą być instalowane w pobliżu miejsca zakłóceń i mieć

zdolność do szybkiego działania). Podsumowując, możemy określić następujące zasady działania KSE:

1. Podstawową zasadą systemu elektroenergetycznego jest: energia wytworzona = energia zużywana + straty.
2. Niezbilansowanie powyższego będzie powodować zakłócenia w pracy systemu.

3. Współczesne systemy elektroenergetyczne, które wykorzystują niestabilne źródła generacji OZE, są bardziej podatne na zakłócenia.
4. System elektroenergetyczny sam w sobie nie ma zdolności magazynowania energii. Obecnie stabilizację systemu energetycznego w Polsce uzyskujemy przez regulację bloków węglowych mogących pracować w parametrach ponad krytycznych (czyli można je przeciążać), przez pracę hydrozespołów (mogą być włączone w kilka minut), a w krytycznych sytuacjach wspomagane jest to interwencyjnym importem. Tak działa system scentralizowany, który jest zaprojektowany do przesyłu energii od najwyższych napięć do niższych.

Lokalne regulatory systemu, jakimi mogą być magazyny energii, muszą eliminować zakłócenia wynikające ze starych i nowych problemów w KSE. System elektroenergetyczny zachowuje się inaczej w poszczególnych jego częściach. Inne zakłócenia są bliżej generacji, inne dla przesyłu energii po liniach WN (wysokiego napięcia) i SN (średniego napięcia), a inne bliżej odbiorcy i rozdziału energii (linie nn – niskiego napięcia). Zmiana częstotliwości pokazuje niezbilansowanie mocy czynnej, a napięcia mocy biernej. W systemie przesyłowym wysokiego i średniego napięcia rezystancja linii jest pomijalnie mała w porównaniu do reaktancji. Z tego powodu niezbilansowanie parametrów przesyłowych pokazują wahania częstotliwości. Wahania rzędu +/- 50 mHz uznaje się za akceptowalne. Gdy są większe, operator musi interweniować starając się doprowadzić do równowagi systemu. W systemie dystrybucyjnym (linie nn) wielkości rezystancji i reaktancji są porównywalne. W tym systemie zmiany napięcia pokazują niezbilansowanie przesyłu (w tym przekraczanie zdolności przesyłowej linii). Dopuszczalne wahania napięcia powinny się mieścić w przedziale +/- 10% napięcia nominalnego (U_N) dla 95% odbiorców (próbka mierzona w czasie 10-minutowym), a w przedziale +/- 10/-15% U_N dla całej populacji odbiorców. Do tego dochodzą wymogi przeciwdziałania szybkim zmianom napięcia, niesymetrii obciążenia, zawartości w napięciu odkształceń harmonicznych napięcia (THDu, ang. *Total Harmonic Distortion Voltage*). Wymogi do oceny jakości napięcia i częstotliwości w sieciach przesyłowych i dystrybucyjnych opisane są w pozycji [4]. W obszarze Polski południowej elektro-

rownie (produkcja energii) znajduje się w pobliżu odbiorców, tu nie ma problemu z przesyłem i dystrybucją energii po liniach WN. W obszarze

Polski północnej problemem jest przesył i przeciążenie linii 400 kV, 220 kV i 110 kV. W obszarze Polski rolnej problemem jest okresowe, nagłe przeciążanie linii (np. włączanie pomp do nawadniania pól, okresowa praca przechovalni plonów i agregatów chłodniczych) – czyli zapady napięcia. W obszarze całej Polski problemem jest włączanie się do systemu niestabilnych źródeł OZE, które są niestabilne, a także (a nawet przede wszystkim) podwyższają napięcia w sieci energetycznej. W elektrowniach coraz częściej się mówi o problemie z wodą do chłodzenia bloków energetycznych. W praktyce system energetyczny nie jest dokładnie zrównoważony, a efektem zakłóceń bliżej odbiorów jest fakt, że w punkcie przyłączeniowym odbiorców napięcie nie jest idealnie „sinusoidalne”. Przy znacznych przebiegach lub zapadach (niespełnieniu wymogów opisanych w [4]) operator powinien także interweniować i stabilizować napięcie, z jednej strony zwiększając lub zmniejszając produkcję energii, a z drugiej, starając się regulować popyt.

W ramach szeregu działań przygotowawczych do transformacji energetyki prowadzone są analizy, jak uzyskać stabilizację systemu w nowych warunkach, przy istotnym wykorzystaniu źródeł OZE. Prace uwzględniają możliwe scenariusze zakłóceń, nawet przypadki okresowych, lokalnych wyłączeń (z ang. *black-out*). Te opracowania uwzględniają magazynowanie energii jako element stabilizacji systemu. Są to bardzo ważne i cenne opracowania, lecz sporządzone centralnie, z poziomu operatorów przesyłowych lub dystrybucyjnych, w odniesieniu do dużych obszarów. W związku z tymi mogą nie uwzględniać uwarunkowań lokalnych i szybkich zmian otoczenia.

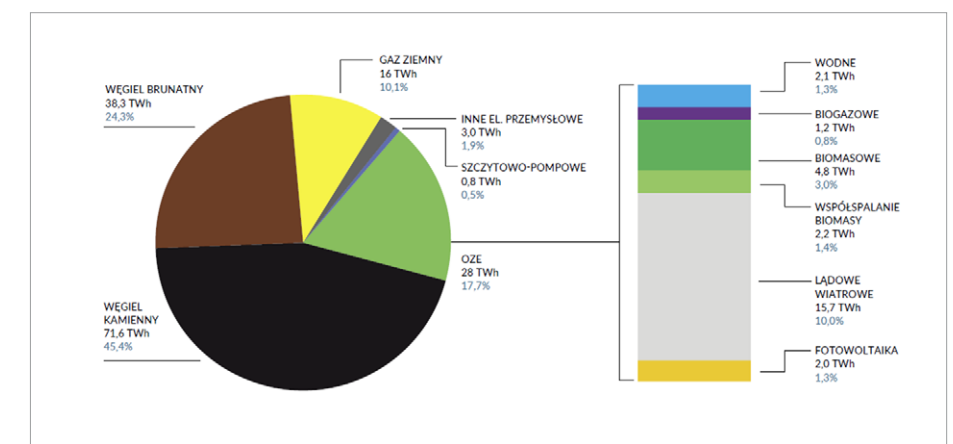
Takim opracowaniem jest „Plan rozwoju w zakresie zaspokojenia obecnego i przyszłego zapotrzebowania na energię elektrycz-

ną na lata 2021–2030”, opracowany przez PSE S.A. [12]. Dokument obejmuje różne scenariusze rozwoju KSE, opisuje działania przygotowawcze do transformacji energetyki, zawiera analizy uzyskania stabilizacji systemu po transformacji, opisywane są modele przyszłości KSE przy istotnym wykorzystaniu źródeł OZE. Przewidywane są możliwe ekstremalne warunki zakłóceń, możliwe następstwa i pod to dobrane środki zaradcze. W Planie ujęto różne współczynniki, które określają prawdopodobieństwa wystąpienia niezbilansowania systemu, przykładowo:

- » prawdopodobieństwa wystąpienia niezbilansowania systemu COPT (ang. *Capacity Outage Probability*),
- » współczynniki deficytów i dystrybuanty mocy LOLE (ang. *Loss of Load Expectation*),
- » deficyt mocy w czasie LOLP (ang. *Loss of Load Probability*),
- » prawdopodobieństwo deficytu mocy,
- » prawdopodobieństwo przerw w dostawach EENS (ang. *Expected Energy Not Supplied*),
- » plan modeli DSR (z ang. *Demand Side Response*), czyli dostosowania popytu na żądanie.

Centralne scenariusze rozwoju i transformacji energetyki uwzględniają dominujący udział państwowej energetyki zawodowej. Zmiany będą zależne od decyzji rządów wielkich spółek energetycznych, zatem pod wpływem politycznym nadzorujących ministerstw (czasem pojedynczych polityków). W tym scenariuszu decyzje będą zależne od finansowania centralnego Skarbu Państwa. Natomiast wyzwaniem dla KSE jest dywersyfikacja źródeł generacji energii i ograniczenie wytwarzania energii z bloków węglowych.

W KSE źródła wytwarzające energię elektryczną to: elektrownie, elektrociepłownie, źródła energii odnawialnej. Łączna moc zainstalowana wynosi obecnie 48 GW. Dominuje tu



Rys. 2. Produkcja energii elektrycznej w 2020 r. z podziałem na źródła generacji [6]

generacja energii z bloków na paliwa kopalne – 40 GW, co stanowi o ok. 80% ogólnej mocy zainstalowanej. Pozostałe źródła są to generacja wiatrowa – 5,8 GW (12%), generacja PV – 0,2 GW (0,5%), energetyka wodna – 2,5 GW (5%), energetyka obywatelska (biomasa, biogaz, prosumenci) – 60 MW. Powyższe dane zestawiono na podstawie [6, 11].

W 2020 roku udział „węgla” w produkcji energii elektrycznej wyniósł 69,7% (pierwszy raz poniżej 70%) i jest to spadek o 3,6% rok do roku (r/r). Z drugiej strony, udział produkcji energii ze źródeł OZE osiągnął 17,7% i jest to wzrost o 2,8% r/r. Widoczna jest tendencja spadku generacji z „węgla” i wzrostu OZE. Analizy roku 2020 wskazują, że całkowita produkcja energii elektrycznej spadła o 3,8% r/r, a zapotrzebowanie na nią zmniejszyło się o 2,1% r/r. Trudno dziś ocenić, czy spadek zapotrzebowania na energię jest trwały, czy raczej wynika ze specyfiki roku pandemicznego. Import netto energii elektrycznej w roku 2020 osiągnął rekordowy poziom 13,3 TWh, co stanowiło 7,8% całkowitego zużycia. Zmniejszyło się zarówno zużycie, jak i produkcja węgla energetycznego, wzrosły zapasy węgla, które na koniec 2020 r. wyniosły 15 mln ton. Podział produkcji energii według źródeł przedstawiono na **rysunku 2**.

Energetyka się zmienia w kierunku głębszego wykorzystania źródeł OZE i ograniczenia stosowania paliw kopalnych, choć tempo zmian nie jest zbyt dynamiczne. Pozytywne jest jednak to, że w Polsce w 2019 r. emisja gazów cieplarnianych ogółem zmalała o 5,3% r/r i wyniosła 390,67 mln ton ekwiwalentu CO₂. Ta tendencja się utrzymała w roku 2020 – spadek o co najmniej 3% r/r, zaś energetyka zanotowała spadek emisji gazów cieplarnianych o 7,4% r/r. Istotny udział w tych zmianach ma polityka Unii Europejskiej, która oferuje duże wsparcie dla ochrony klimatu w obecnej perspektywie finansowej. Polska w roku 2021 będzie mogła mieć do dyspozycji kwotę ca. 130 mld zł na inwestycje w energetyce, a wraz z pożyczkami to może być 250 mld zł (źródło [5, 6]). Zgodnie z rozporządzeniami Unii Europejskiej nie będzie dostępne wsparcie inwestycji energetycznych ze środków publicznych w odniesieniu do paliw kopalnych.

Bardzo niekorzystne dla Polski jest to, że ceny uprawnień do emisji CO₂ biją kolejne rekordy cen i coraz trudniej będzie dźwigać te obciążenia krajowym producentom energii. Jeśli więc nie kwestie klimatyczne, to właśnie te ekonomiczne powinny przyspieszyć decyzje o ograniczeniu węgla w produkcji energii. W maju 2021 roku cena praw do emisji 1 tony CO₂ przebiła

już 60 euro (a pod koniec 2021 roku było już ponad 70 euro), podczas gdy jeszcze w styczniu sięgała niewiele powyżej 30 euro (zgodnie z [5]). Roczna emisja CO₂ w Polsce wynosi około 170 mln ton na rok, a darmowy przydział wynosi 105 mln ton rocznie, zatem łatwo obliczyć, że deficyt uprawnień w latach 2021–2023 będzie oscylować wokół ok. 60 mln ton p.a., a to będzie powodować konieczność zakupu dodatkowych uprawnień do emisji CO₂ w kwocie 16–20 mld zł rocznie.

W efekcie należy oczekiwać, że energetyka będzie przenosić wzrost kosztów emisji na wzrost cen energii, a to jest prostą drogą do inflacji i w konsekwencji niezadowolonych społeczeństwa.

Literatura

1. P. Biczal, J. Świątek, Magazyny energii z akumulatorami chemicznymi, ich funkcje w systemie elektroenergetycznym, „Wiadomości Elektrotechniczne” 10/2017, pp. 58–64. DOI:10.15199/74.2017.10.5.
2. L. Bronk, B. Czarnecki, R. Magulski, Elastyczność krajowego systemu elektroenergetycznego, Diagnostyka, potencjał, rozwiązania, LUTY 2019, www.forum-energii.eu, na podstawie <http://globalwarmingisreal.com/2016/08/18/compressed-air-Energy-stored>.
3. W. Ehrenhalt, Założenia do Rozwoju Energetyki w Polsce, publikacja 04/2021, Związek Pracodawców Polskich, Rada Dialogu Społecznego (www.zpp.net.pl).
4. E. Siwy, Dostosowanie przepisów polskich w zakresie jakości energii elektrycznej do wymogów Unii Europejskiej [w:] Sieci i instalacje elektryczne w aspekcie prawodawstwa Unii Europejskiej. Euro-Slne. Krajowa narada, Gliwice – [Ustroń], 6–7 czerwca 2002 r. Stowarzyszenie Elektryków Polskich. Oddział Gliwicki, Politechnika Śląska w Gliwicach. Wydział Elektryczny; Gliwice: Stowarzyszenie Elektryków Polskich. Oddział Gliwicki, 2002, s. 109–119.
5. www.cire.pl/handel-emisjami-co2.cire.pl/artykuly/serwis-informacyjny-cire-24/ (<https://handel-emisjami-co2.cire.pl/artykuly/serwis-informacyjny-cire-24/kobize-we-wrzesniu-dzieki-uaktywnieniu-podazy-ceny-uprawnien-do-emisji-co2-nie-zdolaly-przebic-poziomu-643-euro-za-tone->).
6. www.forum-energii.eu, „Transformacja energetyczna w Polsce, Edycja 2021”, opracowanie Michał Jędra, marzec 2021.

7. www.gov.pl › attachment, pdf. Sprawozdanie z wyników Monitorowania Bezpieczeństwa Dostaw Energii Elektrycznej, za okres od dnia 1 stycznia 2019 do dnia 31 grudnia 2020 r., Warszawa lipiec 2021.
8. www.irena.org, “Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030, International Renewable Energy Agency”, October 2017, ISBN 978-92-9260-038-9 PDF, s. 44.
9. www.irena.org, Electricity Storage and Renewables: Battery Storage for Renewables: Market Status and Technology Outlook, International Renewable Energy Agency, January 2015 PDF, s. 9.
10. www.me.gov.pl/Energia-jadrowa, „Małe reaktory modułowe – alternatywa dla dużych obiektów jądrowych czy ich uzupełnienie”, Materiał informacyjny, opracowany przez Departament Energii Jądrowej Ministerstwa Energii, maj 2017.
11. www.pse.pl/dane-systemowe/funkcjonowanie-kse/raporty-roczne-z-funkcjonowania-kse-za-rok/raporty-za-rok-2020, „Raport 2020 KSE, Zestawienie danych ilościowych Dotyczących Funkcjonowania KSE w 2020 roku”.
12. www.pse.pl/dane-systemowe/funkcjonowanie-kse/raporty-roczne-z-funkcjonowania-kse-za-rok/raporty-za-rok-2020, „Plan rozwoju w zakresie zaspokojenia obecnego i przyszłego zapotrzebowania na energię elektryczną na lata 2021–2030”, dokument główny, Konstancin Jeziorna 2020.

ABSTRACT

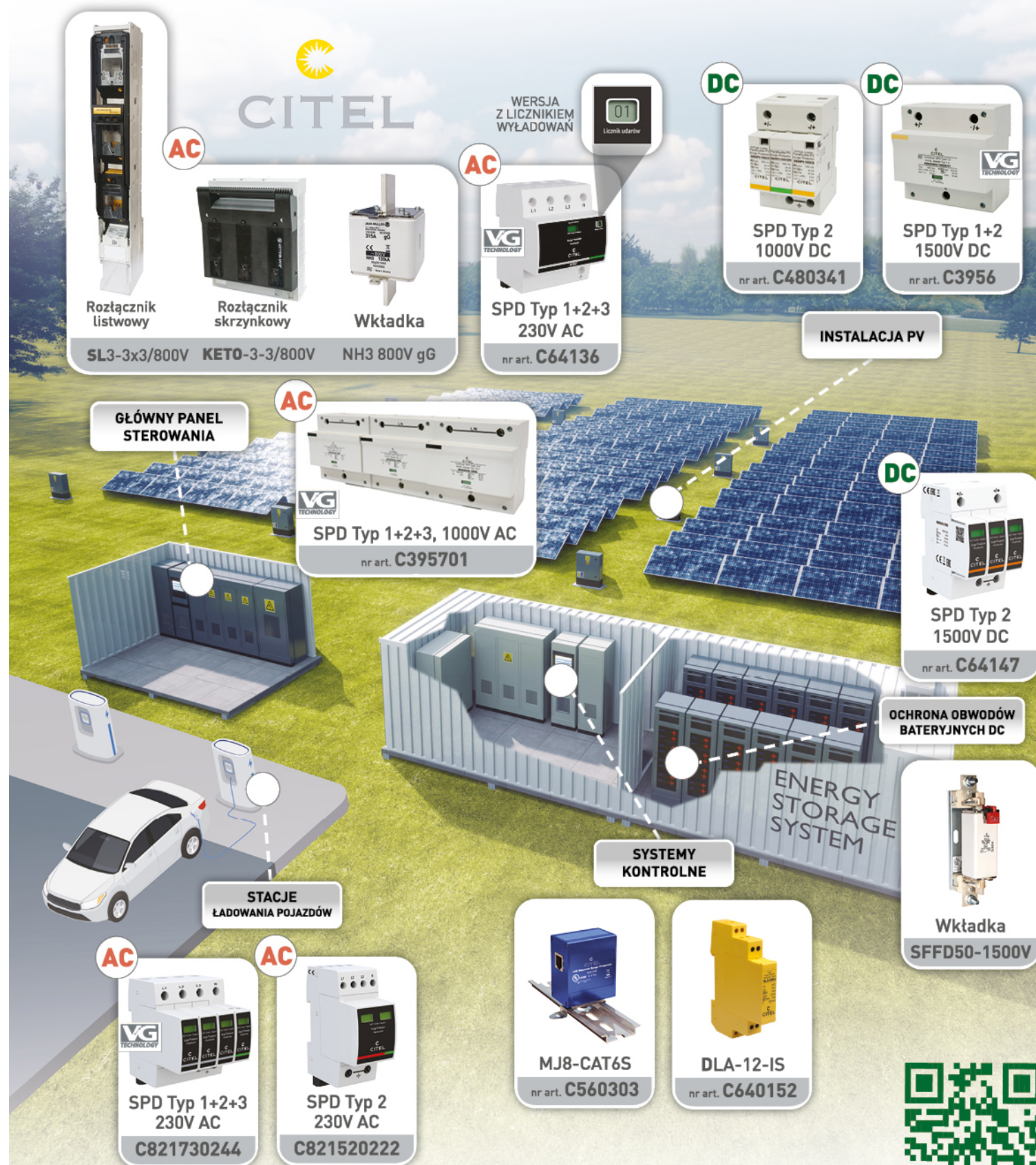
Energy Storage Systems as part of National Power System transformation

Energy storages is one of the most popular buzzwords of the electric power area. The article presents what elements an Energy Storage System consists of, what are the general principles of its selection and what functions it performs. If we relate this to the needs and problems of the National Power System (NPS), we determine the target tasks that such systems will have to fulfill. The models of the power industry of the ‘future’ are presented and how the transformation of the power system may proceed. It will be a transformation from a centralized energy concept (top managed, where the leading role in energy generation is played by large power generation) to a distributed energy concept (flexible, local, where the leading role will be played by RES sources complemented by stable energy production from gas, nuclear and biomass units. Finally it will be a transition to a system based on Local Self-Balancing Areas, and to the Smart Grids.

Keywords: Energy Storage System (ESS), Battery Energy Storage System (BESS), National Power System Transformation, energy transmission and distribution; Local Balancing Areas and Smart Grids.

JEAN MÜLLER 
THE NAME FOR SAFETY

**Twoje bezpieczeństwo
w naszych rękach**



CITEL

AC Rozłącznik listwowy SL3-3x3/800V
AC Rozłącznik skrzynkowy KETO-3-3/800V
AC Wkładka NH3 800V gG

DC WERSJA Z LICZNIKIEM WYŁADOWAN
AC SPD Typ 1+2+3 230V AC nr art. C64136

DC SPD Typ 2 1000V DC nr art. C480341
DC SPD Typ 1+2 1500V DC nr art. C3956

INSTALACJA PV

AC GŁÓWNY PANEL STEROWANIA
DC SPD Typ 1+2+3, 1000V AC nr art. C395701

DC SPD Typ 2 1500V DC nr art. C64147

OCHRONA OBWODÓW BATERYJNYCH DC

Wkładka SFFD50-1500V

SYSTEMY KONTROLNE

AC SPD Typ 1+2+3 230V AC nr art. C821730244
AC SPD Typ 2 230V AC nr art. C821520222

AC MJ8-CAT6S nr art. C560303
DLA-12-IS nr art. C640152

STACJE ŁADOWANIA POJAZDÓW

ENERGY STORAGE SYSTEM

JEAN MUELLER POLSKA
Oficjalny przedstawiciel firmy CITEL na rynku polskim

**25
LAT**

02-293 Warszawa, ul. Krótka 4
info@jeanmueller.pl, tel. 22 751 79 01



mgr inż. Jacek Świątek – APS ENERGIA S.A.

Magazyny energii jako element transformacji systemu energetycznego (część 3.)

Możliwe kierunki transformacji KSE

Z transformacją energetyczną jest podobnie jak z magazynami energii. Wszyscy wiedzą, że będzie, ale nie jest sprecyzowana, w jakiej formie i kiedy się rozpocznie. Prognozowanych jest kilka kierunków i sposobów transformacji energetyki. Część środowiska energetycznego, szczególnie kadra zarządzająca spółek energetycznych, których właścicielem jest skarb państwa, skoncentrowana jest na transformacji, która utrzyma dominującą pozycję spółek energetycznych, a zmiany będą niezbyt dynamiczne. Ja jednak uważam, że może być inaczej.

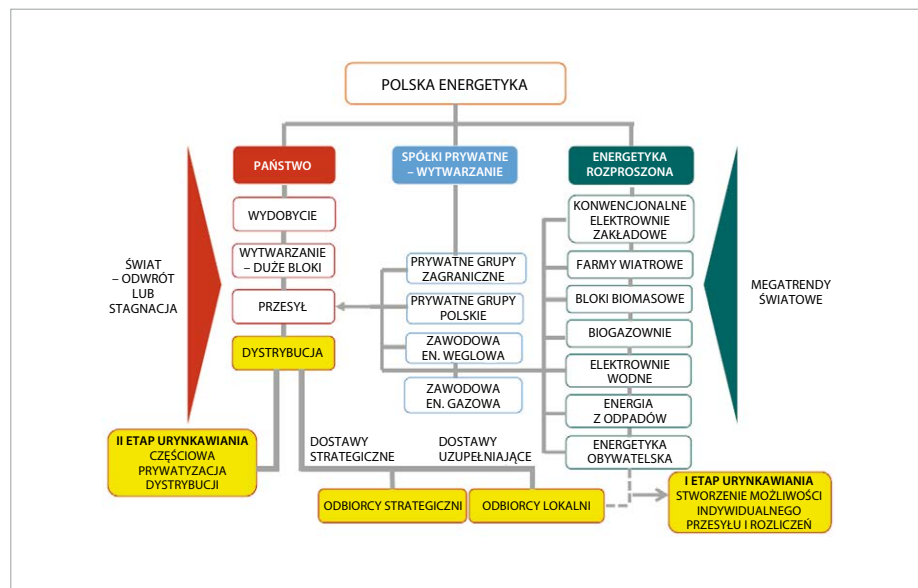
Ociążenia finansowe energetyki, problemy techniczne z przesyłem i nadmiar instalacji OZE, które są niesterowalne i poza kontrolą operatorów energetycznych, mogą doprowadzić do niewydolności technicznej i ekonomicznej systemu, a następnie wymusić zmiany gwałtowne i dynamiczne, a w konsekwencji kosztowne.

Warto zatem rozważyć scenariusz zmian opisany w publikacji „Założenia do Rozwoju Energetyki w Polsce” opracowanej przez Związek Pracodawców Polskich [3]. Przedstawiona tam doktryna energetyczna zakłada, że:

STRESZCZENIE

Magazynowanie energii jest jednym z popularniejszych haseł obszaru elektroenergetycznego. W artykule przedstawiono z jakich elementów się składa magazyn energii, jakie są generalne zasady jego doboru i jakie spełnia funkcje. Jeżeli odniesiemy to do potrzeb i problemów Krajowego Systemu Energetycznego (KSE) to określimy docelowe zadania jakie będą musiały wypełnić takie systemy. Przedstawiono modele energetyki „przyszłości” i jak może przebiegać transformacja systemu elektroenergetycznego. Będzie to przejście z koncepcji energetyki scentralizowanej (zarządzanej odgórnie, gdzie wiodącą rolę w generacji energii mają duże bloki energetyczne) do koncepcji energetyki rozproszonej, elastycznej, lokalnej, gdzie wiodącą rolę będą miały źródła OZE uzupełnione o stabilną produkcję energii z bloków gazowych, jądrowych, biomasy. Docelowo będzie to przejście do systemu opartego na Lokalnych Obszarach Samobilansujących, a docelowo na inteligentnych sieciach.

Słowa kluczowe: magazyn energii, baterijny magazyn energii, transformacja Krajowego Systemu Elektroenergetycznego, przesył i dystrybucja energii, Lokalne Obszary Bilansujące i Sieci Inteligentne.



Rys. 1. Transformacja energetyki – pierwszy etap urynkowania energetyki [3]

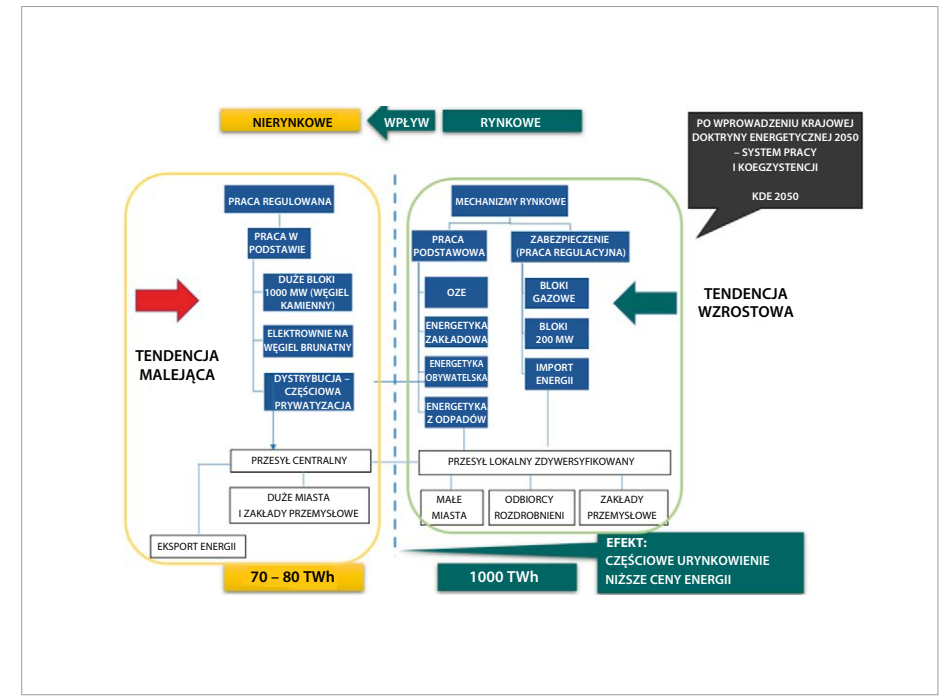
- Kierunkiem zmian energetyki będzie polski mikś energetyczny, czyli konwencjonalna energetyka (oparta na blokach węglowych i gazowych), która będzie współdziałać z generacją energii ze źródeł niskoemisyjnych lub OZE, w przyszłości być może także z generacją z reaktorów jądrowych.
- Będzie następować odwracanie ról poszczególnych źródeł wytwórczych i przejmowanie pracy podstawowej przez źródła rozproszone. Konwencjonalna energetyka węglowa będzie ustępować miejsca jako źródło podstawowej pracy i przejmować rolę pomocniczą, czyli gwaranta dostaw energii elektrycznej.
- Największe i nowo wybudowane bloki węglowe, które są nieregulacyjne, będą pracować (bo nie stać Polski na ich zamknięcie) i będą odgrywać rolę gwaranta energetycznego Państwa.
- Linie przesyłowe 400 kV i 220 kV, 110 kV powinny być w gestii Operatora Systemu Przesyłowego (jako spółki skarbu Państwa).
- Linie przesyłowe średniego i niskiego napięcia mogą być sprywatyzowane, sporadycznie będą prywatyzowane linie 110 kV.
- Pozostałe źródła generacji energii, a także produkcja ze źródeł OZE, mogą powstawać przy współudziale kapitału prywatnego. W tym zestawie dla stworzenia obszarów

bilansujących, generacja OZE (energetyka wiatrowa, energetyka z odpadów, fotowoltaika, energetyka obywatelska) powinna być uzupełniona o duże stabilne bloki generacji 200 MW – 500 MW (gazowe lub rewitalizowane bloki węglowe oraz np. modułowe reaktory – zgodnie z [10]). W obszarze mniejszych LOB rolę stabilnej produkcji energii będą spełniać małe źródła niskoemisyjne.

- Wykorzystanie węgla powinno być zgodne z logiką ekonomiczną. Wydobycie powinno być ograniczone do opłacalnych złóż.
- W przyszłości to źródła OZE powinny być podstawą generacji energetyki rozproszonej i jako element polityki ograniczenia emisji CO₂.
- Państwo będzie odpowiadać za dostawę energii i kreować politykę energetyczną zgodną z ww. założeniami. Strategiczne źródła wytwórcze i strategiczne linie przesyłowe powinny być własnością Państwa.
- Energetyka powinna być decentralizowana, oparta na lokalnej generacji przy dużym współudziale źródeł OZE oraz zdecentralizowanych spółkach dystrybucyjnych.

Zgodnie z tym scenariuszem transformacja energetyczna może być realizowana w kilku etapach. Pierwszym jest ograniczenie produkcji energii z bloków elektrowni systemowych, które są własnością skarbu państwa, a w miejsce tego wzrost produkcji energii z generacji rozproszonej, w tym z OZE. Elementem tej transformacji będzie stworzenie możliwości indywidualnego przesyłu i rozliczeń. Obecnie jest to prawnie dozwolone i sankcjonują to umowy PPA (ang. *Power Purchase Agreements*), które dopuszczają przesyłanie energii z generacji OZE poza państwową siecią i rozliczanie się poza aukcjami. Działania takie są już podejmowane, natomiast nie widać determinacji (inwestycji i możliwości technicznych), aby był to wiodący kierunek dla masowej transformacji. W tym etapie jest zakładana częściowa prywatyzacja dystrybucji, co nie następuje. Oczywiście mogą być zainicjowane zmiany oddolne, w których gminy, miasta, a nawet spółdzielnie będą budować własne sieci i źródła wytwórcze. Obecnie jednak takie działania nie są jeszcze widoczne. Prognozę zmian w energetyce, zgodną z omawianym scenariuszem, ilustruje **rysunek 1**.

Drugim etapem powinno być przejście na Lokalne Obszary Bilansujące. Powstałe obszary z silną generacją opartą np. na blokach gazowych o mocy 200 – 500 MW uwzględnią generację OZE, która będzie z nimi współdziałać. W tym etapie produkcja energii dużych elektro-



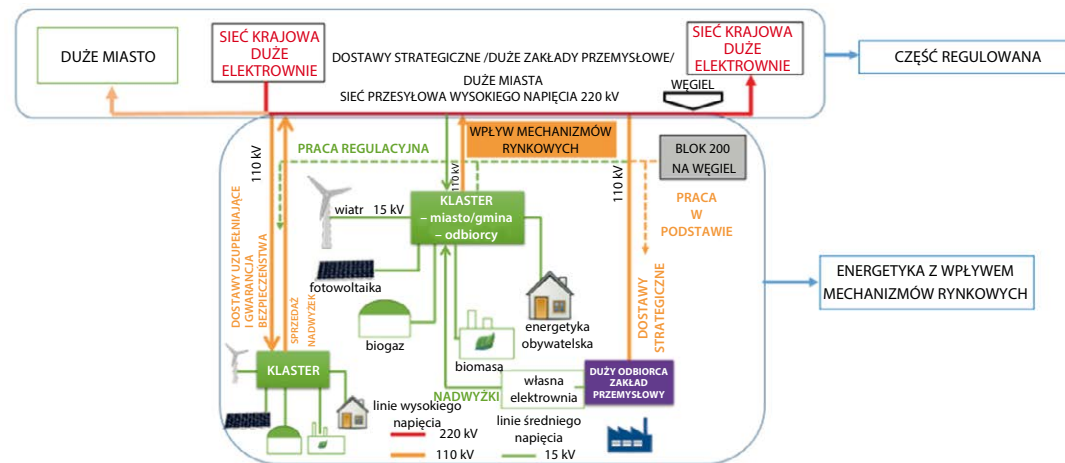
Rys. 2. Transformacja energetyki – drugi etap urynkowania energetyki [3]

wni systemowych będzie uzupełnieniem nowego systemu. Duże miasta będą zasilane przez energetykę zawodową z pracujących tam bloków, które będą generacją podstawą. Powstaną obszary „energetyki lokalnej” oparte na rewitalizowanych blokach węglowych lub gazowych przy współudziale energetyki OZE. Docelowo jest możliwe wprowadzenie bloków z reaktorami jądrowymi (reaktory lekko-wodne, ciśnieniowe typu PWR, z ang. *Pressurized Water Reactor*). Zakłada się, że udział tej formy generacji wyniesie ok 7 – 9% w roku 2040 (za publikacją „Małe reaktory modułowe – alternatywa dla dużych obiektów jądrowych czy ich uzupełnienie”, wydaną przez Departament Energii Jądrowej Ministerstwa Energii [10]).

Zatem główną ideą tej propozycji transformacji jest odwrócenie ról w produkcji energii. Generacją pierwszego wyboru będą źródła bezemisyjne lub niskoemisyjne, a generacja klasyczna będzie spełniać funkcję uzupełniającą. Taki model energetyki mogą szybko wdrożyć duże koncerny państwowe oraz równocześnie mogą powstawać Lokalne Obszary Bilansujące na małym obszarze: w zakładach przemysłowych, gminach, klastrach energetycznych itp. LOB-y w makro wydaniu mogą być realizowane jako inwestycje Orlenu, dużych koncernów energetycznych, a rolę stabilnych źródeł produkcji energii mogą spełniać tam bloki energetyczne dużych zakładów przemysłowych. W „małych” LOB-ch rolę stabilnej generacji mogą pełnić niskoemisyjne źródła, jakimi

są np. agregaty gazowe. W tym modelu magazyn energii będą instalowane jako regulatory po stronie sieci dystrybucyjnej oraz przy źródłach OZE dla zapewnienia stabilnej generacji. Oczywiście kluczem do sukcesu LOB-ów będzie kognizystencja obu energetyk: klasycznej i odnawialnej, ich wzajemna komunikacja, przepływ i analiza danych w celu optymalnego wykorzystania źródeł odnawialnych, a także zapewnienie bilansu pomiędzy generacją i zapotrzebowaniem odbiorców na dostawy energii. Zmiany te raczej odbędą się przy udziale kapitału państwowego, a motorem zmian będzie ograniczanie energetyki „węglowej” i produkcji CO₂. Taki model energetyki przedstawia **rysunek 2**.

Ostatnim, trzecim etapem transformacji polskiej energetyki jest przejście na energetykę rozproszoną. Powstanie na całym terytorium system powiązanych Lokalnych Obszarów Bilansujących oraz sieci inteligentnych (ang. *smart-grid*). Będzie to sieć obszarów rozproszonych. Magazyny energii będą ważnym elementem dla takich obszarów. Dla systemów smart grid podstawą działania będą systemy „inteligentnej” generacji i przesyłu, z rozbudowaną wzajemną komunikacją w celu uzyskania maksymalnej efektywności energetycznej oraz niezawodności pracy. Taki system może powstawać z kapitałem państwowym jak i prywatnym. Pojawia się też nowe pojęcie dla obszaru samobilansującego, czyli sandbox (piaskownica). Tak nazywane są formy obszarów samobilansujących niezależnych od KSE. Takie obszary już



Rys. 3. Transformacja energetyki – trzeci etap urynkowania energetyki [3]

funkcjonują w Unii Europejskiej i są to wspólnoty energetyczne współdziałające z zawodową energetyką (prywatne inicjatywy w Holandii, Niemczech, Belgii). Jest również przestrzeń w Polsce dla wdrażania rozwiązań typu sand-box. Schematycznie ten etap transformacji ilustruje **rysunek 3**.

Podczas transformacji energetyki, przechodzenia przez etapy 1, 2, 3 (**rys. 1–3**) magazyny energii mogą spełniać następujące funkcje:

- » dla generacji centralnej: bilansowanie produkcji energii (funkcje pojemnościowe, oddawanie energii w czasie);
- » dla operatorów przesyłowych OSP: bilansowanie częstotliwości (funkcje regulacyjne, duże porcje energii w bardzo krótkim czasie);
- » dla operatorów dystrybucyjnych OSD: do bilansowania napięcia i częstotliwości (funkcje regulacyjne, duże porcje energii w bardzo krótkim czasie), kompensacja mocy biernej, regulacja mikroobszarów;
- » dla zakładów przemysłowych: kształtowanie profilu napięcia (likwidowanie zapadów), regulacja szczytu obciążenia, odbieranie nadwyżek mocy z farm OZE (funkcje popytowo-podażowe), przejście na pracę wyspową;
- » dla prosumentów: odbieranie nadwyżek mocy z farm OZE (funkcje popytowo-podażowe), przejście na pracę wyspową;
- » dla obszary samo-bilansujących (LOB) /smart-grids: funkcje regulujące przepływy mocy w obszarze.

Podsumowanie

Przyjęte kierunki transformacji w energetyce, w tym zmiany regulacyjne i finansowe,

z uwzględnieniem systemów dotacji, określają dla magazynów energii:

- » miejsce instalacji, algorytmy doboru i ich funkcjonalności,
- » ekonomiczne i techniczne uzasadnienie ich instalacji.

W mojej ocenie dziś nie można jednoznacznie ocenić, kiedy i które scenariusze transformacji energetyki będą wdrażane. Można dywagować, czy najpierw nastąpią wyłączenia, problemy i „ciemność”, a potem zmiany być może pośpieszne i chaotyczne? Czy też może inaczej, zmiany nastąpią wcześniej, jako wynik predykcji ewidentnych zagrożeń? Można jednak przyjąć, że obecny stan problemów krajowego systemu energetyki, bez ich natychmiastowego zaadresowania, spowoduje, że:

1. będą następować podwyżki cen za energię elektryczną – ale to nie rozwiąże problemów systemu energetycznego a w konsekwencji spowoduje niezadowolenie społeczne;
2. konieczną transformacją energetyki w kierunku rozproszonego i elastycznego systemu zajmą spółki i organizacje państwowe, duże, scentralizowane oraz nieelastyczne, bez uwzględnienia głosów innych kluczowych interesariuszy;
3. długoterminowe projekty zmian KSE będą komentowane przez środowisko energetyczne, z dominującym udziałem decydentów, którzy mają poczucie krótkoterminowego zatrudnienia, są podatni na krótkoterminową logikę wyborczą, a nie długofalową cywilizacyjną i proklamacyjną.

Katalizatorem ale i motorem zmian w energetyce wielu krajów UE są lokalni przedsiębiorcy

i inicjatywy oddolne. Ograniczeniem sprawności ich działania są bariery regulacyjne i kapitałowe. W Polsce dodatkowym elementem jest bariera komunikacji pomiędzy interesariuszami społecznymi, prywatnymi a państwowymi krajowego systemu energetyki.

Dokąd zatem zmierzasz energetyko? Bo czas ucieka!



literatura do artykułu na **elektro.info.pl**

ABSTRACT

Energy Storage Systems as part of National Power System transformation

Energy storages is one of the most popular buzzwords of the electric power area. The article presents what elements an Energy Storage System consists of, what are the general principles of its selection and what functions it performs. If we relate this to the needs and problems of the National Power System (NPS), we determine the target tasks that such systems will have to fulfill. The models of the power industry of the 'future' are presented and how the transformation of the power system may proceed. It will be a transformation from a centralized energy concept (top managed, where the leading role in energy generation is played by large power generation) to a distributed energy concept (flexible, local, where the leading role will be played by RES sources complemented by stable energy production from gas, nuclear and biomass units. Finally it will be a transition to a system based on Local Self-Balancing Areas, and to the Smart Grids.

Keywords: Energy Storage System (ESS), Battery Energy Storage System (BESS), National Power System Transformation, Energy transmission and distribution; Local Balancing Areas and Smart Grids.

PowerWalker

VFI EVS

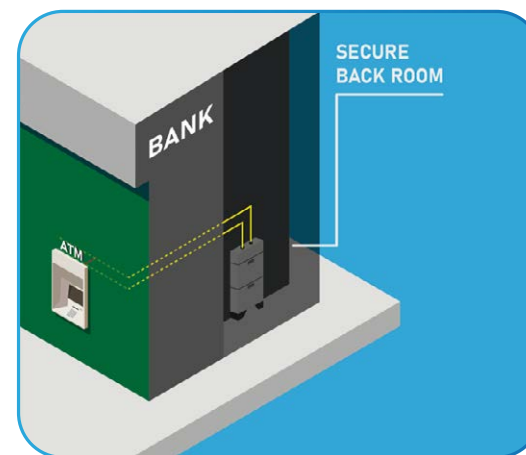
DOŚWIADCZ TURBODOŁADOWANĄ WYDAJNOŚĆ

Długie czasy podtrzymania

Szybki i prosty montaż

Możliwość instalacji w punktach w których brak miejsca na standardowe regały bateryjne i agregaty prądotwórcze

Łatwe możliwości rozbudowy



VFI 5000 EVS

LIFE BATTERY SYSTEM 48-100

VFI 5000 EVS

- Współpracuje z zewnętrznymi bateriami litowymi
- Praca równoległa do 9 jednostek (od 5kVA do 45kVA)
- Możliwość pracy w konfiguracji trójfazowej
- Potężna ładowarka do 60A

LIFE BATTERY SYSTEM 48 100

- Żywotność baterii przewidziana na 12-15 lat
- Szybkie ładowanie (1 godzina do 90% naładowania)
- Możliwość pracy do 10 jednostek aby zwiększyć czas podtrzymania

Liczba Battery Packów	250 W	500 W	1000 W	1500 W	2000 W	2500 W
1	1080	540	270	180	135	108
2	2160	1080	540	360	270	216
3	3240	1620	810	540	405	324
4	4320	2160	1080	720	540	432

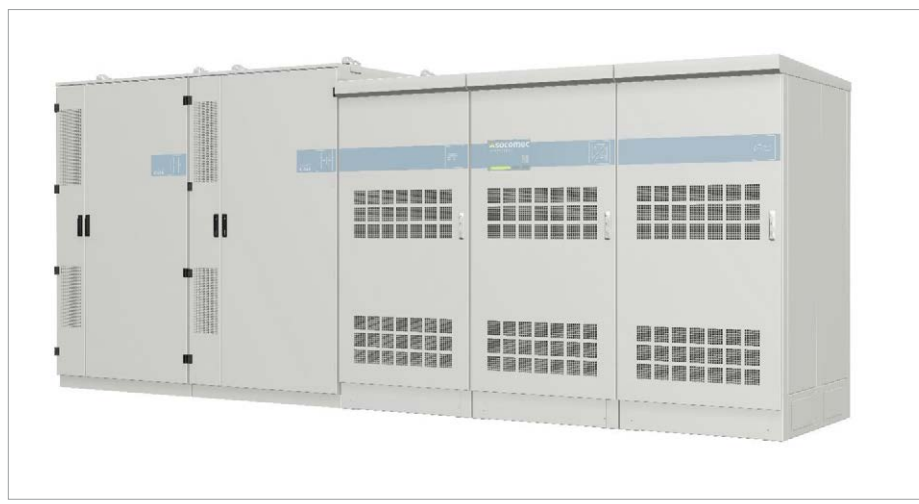
Szacunkowe czasy podtrzymania w minutach, w zależności od poboru mocy (W) podłączonych urządzeń

✎ Opracowano na podstawie materiałów firmy SOCOMEC POLSKA Sp. z o.o.

Może jednak magazynować?

Społeczności w wielu miejscach zdążyły już niewątpliwie zaakceptować nowe technologie umożliwiające pozyskiwanie energii elektrycznej z takich pierwotnych źródeł energii jak wiatr czy słońce. O ile siłownie wiatrowe może budzą ciągle lokalne kontrowersje, bo krajobrazu raczej nie upiększają, a przy tym mogą naprzykrzać się wydawanymi odgłosami, o tyle instalacje przetwarzające energię słoneczną, jeśli są dobrane i wykonane w sposób przemyślany, potrafią nawet dyskretnie komponować się z otoczeniem, dając właścicielowi jedynie znać istotnym ograniczeniem kosztów zakupu energii elektrycznej.

Prostota, duża skalowalność i znaczna bezobsługowość technologii fotowoltaicznych wsparte programem zachęt finansowych ze strony krajowej administracji państwa spowodowały raptowny przyrost mocy z energii słonecznej. Jeśli przykładowo na koniec 2016 roku w Polsce było ponad 17 tys. systemów o łącznej mocy około 192 MW, to według danych na koniec kwietnia 2023 roku łączna moc systemów przekracza niewiele ponad 13 GW i może osiągnąć nawet 18 GW na koniec roku. Należy przy tym zauważyć, że największy udział w tym wolumenie mają mikroinstalacje do 23 kW mocy zainstalowanej, tzw. „prosumenckie” (dane przytoczone na podstawie informacji portalu www.gramwzielone.pl). Raptowne przyrosty mocy w ciągu tych niespełna 7 lat ujawniły również brak gotowości systemu elektroenergetycznego do zagospodarowania takiej mocy, tak niestabilnej, bo związanej ze zmiennym nasłonecznieniem i lokalnym zapotrzebowaniem. Brak towarzyszących rozwojowi instalacji PV jednoczesnych inwestycji lokalnych w stabilizację systemu energetycznego



SOCOMEC SUNSYS HES L – rozwiązanie dla odbiorców komercyjnych i przemysłowych

prowadzi w szczególności słoneczne dni do wyłączeń mikroinstalacji, co powoduje realne straty prosumentów oraz często związane z tym frustracje. Ponadto wprowadzona od 1 kwietnia 2022 roku zmieniona zasada rozliczania nowych prosumentów w oparciu o metodę net-billingu, zmniejsza istotnie atrakcyjność wytwarza-

nia i skłania do poszukiwania dodatkowych rozwiązań prowadzących do zagospodarowania wytworzonej mocy indywidualnie. Może zatem warto pomyśleć o magazynowaniu?

Magazynować, ale jak?

Abstrahując od różnych metod magazynowania energii w postaci ciepła, gazu, energii kinetycznej, należy skupić się na zyskującym dziś popularność w różnej skali instalacji, magazynowaniu poprzez reakcję zachodzącą w ogniwie elektrochemicznym, tj. baterii. Metoda znana od dziesięcioleci i realnie używana dla dużych pojemności jedynie w profesjonalnych zastosowaniach z racji wielu towarzyszących zagrożeń, dziś wraz z transformacją energetyczną i rozwojem technologii zaczyna trafiać pod przysłowiowe strzechy. Postępujące działania rozwojowe technologii baterii służących wsparciu elektromobilności i magazynowania energii elektrycznej skupiają się głównie na zapewnieniu modułowości, wysokiej gęstości mocy i bezpieczeństwa użytkowania. Obecny standard są dobrze znane baterie litowo-jonowe,

których konstrukcja jest poddawana nieustannym modernizacjom, zwłaszcza w materii poprawy ich bezpieczeństwa użytkowania i wydłużenia okresu eksploatacji, a także pośrednio skrócenia czasu ładowania – zwłaszcza pod kątem wykorzystania w pojazdach elektrycznych. Coraz szersze zastosowanie znajdują baterie Li-ion w zmodernizowanej technologii LFP (Li-FePO₄), które charakteryzują się poprawą stabilności pracy i bezpieczeństwa oraz prawie dwukrotnym zwiększeniem liczby cykli ładowania – ok. 6–7 tysięcy cykli, względem klasycznych ogniw Li-ion. Bezpieczeństwo i duża trwałość to cechy, które szczególnie stanowią o przydatności tego typu ogniw w obecnie zalecanych konstrukcjach magazynów energii elektrycznej. Okupione są znacznie ograniczonymi charakterystykami ładowania i rozładowania, których nieustannie pilnuje system zarządzania baterią BMS (Battery Management System), a pracujący w ramach zespołu magazynu energii przemiennik musi być przeznaczony do współpracy z konkretnym producentem baterii i jej typem. Nie należy jednak zapominać, że trwa ciągle doskonalenie technologii bateryjnych i poszukiwanie nowych rozwiązań, stąd zaleca się śledzić na bieżąco pojawiające się nowości.

SOCOMEC SUNSYS HES L, XL i XXL to rozwiązanie na każdy rozmiar

Rozwiązanie magazynu energii SUNSYS HES to odpowiedź firmy SOCOMEC na bieżące potrzeby komercyjnych odbiorców energii, wytwórców energii z OZE, operatorów i posiadaczy stacji szybkiego ładowania pojazdów elektrycznych oraz lokalnych sieci dystrybucji energii elektrycznej.

To autonomiczny, wolnostojący magazyn energii, do którego instalacji potrzebujesz jedy-



Instalacja Sunsys HES L na wolnym powietrzu

nie przygotować właściwych parametrów przyłącze i fundament, na którym postawisz urządzenie. Całość przyjedzie na miejsce instalacji ciężarówką, gotowa do posadowienia za pomocą dźwigu. Krótki czas uruchomienia i przystosowanie SUNSYS HES do pracy na wolnym powietrzu to realne oszczędności inwestycyjne – nawet o 60% względem porównywalnych systemów do zabudowy wewnętrznej.

SUNSYS HES może pracować jako autonomiczny magazyn następujących parametrach:

- » SUNSYS HES L – zakres od 100 kVA mocy i 186 kWh pojemności do 600 kVA i 1674 kWh,
- » SUNSYS HES XL – 500 kVA mocy i zakres od 1116 kWh pojemności do 2232 kWh,
- » SUNSYS HES XXL – zakres od 1 MVA mocy i 1 MWh pojemności do 6 MVA i 20vMWh.

Każdy z modeli SUNSYS HES może pracować także w systemach równoległych magazynów energii pod kontrolą zewnętrznego systemu zarządzania EMS.

Ale jak to działa?

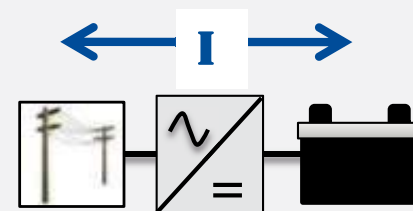
Baterijny system magazynowania energii elektrycznej (Electrical Energy Storage System), zwany potocznie magazynem energii, to w ogólnym pojęciu współpracujący zespół baterii elektrochemicznej i napięciowego przekształtnika dwukierunkowego mocy AC/DC. Wyróżnia się dwa zasadnicze typy magazynów energii, do pracy synchronicznej z siecią elektroenergetyczną (On-Grid) oraz z możliwością pracy wyspowej (Off-Grid).

W obu typach magazynu przemiennik zapewnia pracę dwukierunkowego przetwarzania energii, do postaci napięcia prądu stałego w celu doładowania baterii, w określonych porach doby, aby następnie oddać ją w postaci mocy prądu przemiennego do instalacji w pozostałych godzinach cyklu. W przypadku magazynów przeznaczonych do pracy wyspowej (Off-Grid) jakość baterii i stabilność jej parametrów pracy odgrywa szczególnie istotną rolę

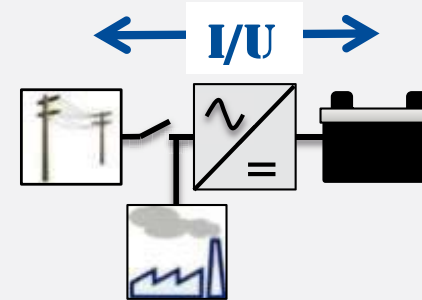


Sunsys HES XL – system o mocy 500 kVA

Magazyn typu On-Grid



Magazyn typu Off-Grid



Wyróżnia się dwa zasadnicze typy magazynów energii, do pracy synchronicznej z siecią elektroenergetyczną (On-Grid) oraz z możliwością pracy wyspowej (Off-Grid)



Jednostka przemiennika o mocy 300 kVA

dla niezawodności pracy całego systemu magazynu energii.

W zależności od potrzeb i przeznaczenia konkretnej aplikacji, oprogramowanie magazynu może realizować różne scenariusze pracy, przykładowo:

- » redukcja kosztów zakupu energii poprzez przesunięcie poboru mocy poza godziny szczytu systemu elektroenergetycznego,
- » redukcja kar za ponadumowny pobór mocy czynnej – przekroczenie mocy zamówionej,
- » maksymalne wykorzystanie energii ze źródeł OZE skojarzonych do pracy z magazynem,
- » kompensacja mocy biernej,
- » wspomaganie ładowarek aut elektrycznych przy zwiększonym zapotrzebowaniu na moc – tryb booster,
- » utrzymanie ciągłości zasilania instalacji odbiorczej przy przerwach w zasilaniu z sieci elektroenergetycznej – praca wyspowa,
- » czerpanie zysków z udziału w programach DSR czy rynku mocy,



1. Przemiennik mocy
2. Bateria
3. Jednostka sterująca
4. Przedział przyłączeniowy AC
5. Przedział przyłączeniowy DC
6. Zabezpieczenie baterii

Kontenerowa zabudowa konwencjonalnych magazynów energii, które nie są przystosowane do pracy na wolnym powietrzu

» stabilizacja parametrów pracy sieci dystrybucyjnej, elektroenergetycznej poprzez lokalne magazynowanie nadwyżek energii pochodzących ze źródeł OZE i dostarczanie ich do systemu w godzinach zwiększonego zapotrzebowania mocy.

Dwukierunkowy przemiennik mocy Sunsys HES to jednostka konstrukcji modułowej oparta na wzajemnie separowanych modułach mocy 50 kVA (50 kW). W zależności od mocy znamionowej magazynu zabudowany jest wspólnie bądź w łączonych ze sobą szczelnych obudowach o stopniu IP55 razem z towarzyszącymi elementami zapewniającymi sterowanie, monitorowanie parametrów pracy i bezpieczeństwo obsługi oraz sekcjami przyłączenia obwodów AC i DC. Ze względu na zapewnienie parametrów zwarciovych, minimalna konfiguracja przemiennika to dwa równolegle pracujące moduły mocy, czyli 100 kVA.

Czy EESS to tylko przemiennik i bateria?

Często pod pojęciem „magazyn energii”, zwłaszcza przy skojarzeniu z instalacjami fotowoltaiki prosumenckiej, kryje się stosowanie tego terminu wobec hybrydowego inwertera PV współpracującego z podłączoną baterią. Przyjęcie takiego określenia często może prowadzić do mylnych wniosków na temat możliwości funkcjonalnych takiego rozwiązania, gdyż wielokrotnie zdarza się, że tego typu inwertery nie są dwukierunkowymi przekształtnikami mocy i mogą realizować tylko jeden scenariusz pracy, polegający na maksymalizacji wykorzystania energii ze słońca. Czasami pełnią też funkcję podtrzymania UPS-a dla wyodrębnionych z instalacji obwodów odbiorczych, gwarantowanych. Tego typu rozwiązania z racji swoich ograniczeń konstrukcyjnych są głównie adresowane do domowych

instalacji prosumenckich. Produkowane zwykle na zakres mocy do kilkunastu kW i mogą pracować z bateriami o pojemności kilku do kilkunastu kWh.

W pełni funkcjonalne rozwiązania magazynów energii to rozwiązania adresowane głównie dla odbiorców komercyjnych, przemysłu i infrastruktury energetycznej. Z racji mocy zaczynających się od kilkudziesięciu kilowatów i pojemności przynajmniej 100 kWh, a sięgających poziomu kilku MW, jak i pojemności liczonych w MWh dla pojedynczego magazynu, są to rozwiązania bardziej złożone technicznie. Każdy magazyn tych rozmiarów musi być zabudowany w stosownie przystosowanym pomieszczeniu, wyposażonym w układ niezawodnej klimatyzacji oraz sprawny system gaszenia pożaru – najczęściej gazowy. W zależności od wielkości magazynu, w pomieszczeniu konieczne jest wykonanie odpowiedniej instalacji elektrycznej i przyłączy wraz z systemem rozdziału energii napięcia AC i DC. Często pojawia się też konieczność zastosowania transformatora podwyższającego napięcie, do właściwego poziomu dla punktu przyłączenia.

W praktyce dużo systemów magazynowania energii elektrycznej powstaje jako prefabrykowane rozwiązania kontenerowe, co powoduje znaczne zwiększenie kosztów inwestycyjnych 2–3-krotnie względem ceny zespołu przekształtnika i baterii.

SUNSYS HES – montowany na zewnątrz

SOCOMEc zaprojektował i wykonał urządzenie SUNSYS HES według koncepcji dzięki której użytkownik nie ponosi zbędnych kosztów związanych z drogą zabudową elementów magazynu energii w kontenerach. Nie jest obciążony uciążliwością całego procesu budowlanego, który wiązałby się z zabudową takiego magazynu w budynku (konstrukcja, odporność ognio-wa, uzgodnienia). Szafa bateryjna Sunsys HES wyprodukowana przez firmę CATL – światowego lidera w obszarze produkcji baterii dla przemysłu motoryzacyjnego jest kompletnie wyposażoną jednostką zawierającą moduły akumulatorów w technologii LFP, chłodzone cieczą, za której parametry odpowiada zintegrowana w szafie pompa ciepła i system BMS. Jednostka posiada także gazowy system gaszenia pożaru, a wszystko to zamknięte w szczelnej, odpornej na uderzenia i warunki atmosferyczne stalowej obudowie o stopniu IP55. Oczywiście montaż SUNSYS HES w pomieszczeniach jest również możliwy, ale z racji kosztów niepołacany.



Jednostka baterii Sunsys HES L

Eksploatacja

Magazyn energii to swego rodzaju mała elektrownia, która jak każda wymaga zapewnienia właściwych warunków eksploatacji i podstawowych czynności konserwacyjnych. Magazy-

ny Sunsys HES zapewniają trwałość 7000 cykli pracy, w czasie których akumulatory mogą być naładowane i rozładowane w zakresie swojej pojemności z uwzględnieniem DoD (Depth Of Discharge). Przy najbardziej optymalnym założeniu, że właściwie dobrany pod względem mocy i pojemności do aplikacji magazyn będzie realizował 1 cykl na dobę, taka trwałość zapewnia blisko 19-letnią eksploatację. Użytkownik może skorzystać w ramach eksploatacji z rozszerzonej nawet do 10 lat gwarancji producenta, co jest uwarunkowane zapewnieniem ciągłej kontroli parametrów pracy magazynu w ramach kontraktu serwisowego świadczonego przez Socomec.

Zastosowane w ramach Sunsys HES technologie wsparte profesjonalną wiedzą w zakresie optymalnego doboru wielkości magazynu do potrzeb konkretnego odbiorcy i aplikacji pozwalają optymistycznie spojrzeć na kwestię realnego czasu zwrotu inwestycji. W zależności od zewnętrznych uwarunkowań, okresowo podyktowanych na przykład cenami energii, można ocenić na podstawie przeprowadzonych estymacji, że inwestycja w Sunsys HES zwróci się po 5-7 latach. Przy zapewnieniu właściwych warunków eksploatacji w kolejnych latach, magazyn będzie zapewniał wymierne zyski, do czasu przewidzianej utylizacji.

Istotną kwestią jest zapewnienie w całym procesie inwestycji właściwego podejścia w kwestii doboru wielkości magazynu do konkretnej aplikacji. Obecnie dość powszechne wśród potencjalnych klientów jest ciągle przeświadczenie, że magazyn potrzebny do współpracy z instalacją OZE o mocy, np. 100 kW, powinien także być takiej mocy, a jego pojemność winna być najlepiej największa możliwa. Oczywiście takie podejście w kwestii doboru jest błędne, a cały proces powinien przede wszystkim być poprzedzony analizą danych o własnej konsumpcji energii i realnych możliwościach wytwórczych posiadanych źródeł OZE.

Uwaga! Falowniki obusystemów, tj. HESXXXL i HES L, posiadają certyfikaty na zgodność z wymaganiami polskiego kodeksu sieciowego i są wpisane na listę PTPIREE.

socomec
Innovative Power Solutions

SOCOMEc Polska Sp. z o.o.
02-823 Warszawa, ul. Salsy 2
tel. 22 825 73 60
info.scp.pl@socomec.com
www.socomec.pl

REKLAMA

Julian Wiatr, Marcin Orzechowski, Piotr Musielak

Vademecum.

Metodyka projektowania oraz odbiorów przeciwpożarowego wyłącznika prądu

Biorąc pod uwagę brak wiedzy oraz wytycznych dotyczących metodyki projektowania PWP, przygotowaliśmy publikację w formie miniporadnika, przeznaczoną dla projektantów, rzeczoznawców funkcjonariuszy pionu prewencji PSP oraz inspektorów nadzoru, a także inwestorów. Mamy nadzieję, że dzięki materiałowi zawartemu w publikacji projektowanie oraz dopuszczanie PWP do eksploatacji stanie się proste i znikną piętujące się problemy.

W imieniu zespołu autorskiego
Julian Wiatr

(fragment Od Autorów)

Rok wydania:
2022, wydanie I

Cena: 68 zł

Publikacja pod patronatem miesięcznika

elektro
info

zamówienia:
www.ksiegarniatechniczna.com.pl

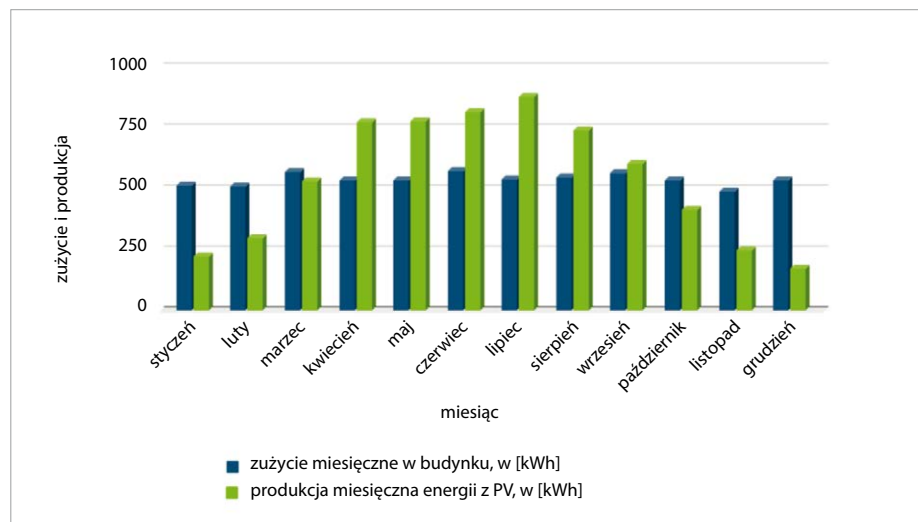
Ochrona odgromowa i przeciwprzepięciowa magazynów energii

Rok 2021 przyniósł zmianę ustawy o odnawialnych źródłach energii. Dotychczasowe regulacje umożliwiały bezgotówkowe rozliczanie energii elektrycznej pobranej i wyprodukowanej przez prosumenta (czytaj właściciela mikroinstalacji fotowoltaicznej o mocy do 50 kWp) [1]. W praktyce dotychczasowe rozwiązania sprowadzały się do rozliczenia „in plus” oraz „in minus” wyprodukowanej energii elektrycznej wraz z odpowiednimi współczynnikami. I tak przykładowo (w dużym uproszczeniu) dla instalacji o mocy do 10 kWp za 1 kWh oddaną do sieci właściciel instalacji fotowoltaicznej mógł odebrać sobie 0,8 kWh. Najkorzystniej jest zawsze zużywać wyprodukowaną energię w czasie rzeczywistym na potrzeby własne – wówczas możemy wykorzystać 100% tego, co zostało wyprodukowane w „naszej” instalacji.

Jeśli przyjrzymy się temu, w jaki sposób zużywamy energię elektryczną w domach, okazuje się, iż tylko 10–20% energii zużywa się na bieżąco. Bardzo często będąc w pracy zostawiamy



Rys. 2. Akumulatory litowo-jonowe niewymagające obsługi stosowane jako magazyny energii w małych instalacjach PV – źródło [4]



Rys. 1. Miesięczny profil zużycia energii elektrycznej w budynku oraz miesięczny profil produkcji z PV – źródło: Globenergia [3]

pracującą instalację fotowoltaiczną nie zużywając samemu praktycznie nic. W takiej sytuacji cała wyprodukowana energia trafiała do systemu elektroenergetycznego. Odbierając w późniejszym okresie energię prosument korzystał z systemu elektroenergetycznego jak ze swego rodzaju magazynu energii, którego koszt utrzymania wynosił 20% wyprodukowanej energii elektrycznej. Takie rozwiązanie jest prawie idealne dla mikrowytwórcy energii elektrycznej – czyli „nas”. Gorzej to wygląda z punktu widzenia operatora systemu dystrybucyjnego, jak i całego systemu elektroenergetycznego. Unikający charakter rozwoju polskiej fotowoltaiki został zdominowany przez prosumenckie mikroinstalacje. Wszystko byłoby dobrze, gdyby nie występowały szczyty zapotrzebowania na energię elektryczną, problemy z bilansowaniem systemu i konieczność dopłacania do energii, którą trzeba „oddać” w ramach „historycznej produkcji” w odnawialnych źródłach energii. Dotychczasowe rozwiązania w zakresie rozliczeń traktowały system elektroenergetyczny jako „wirtualny magazyn energii elektrycznej” [2] (rys. 1). Twarde prawa ekonomii zmusiły do zmiany tego systemu, gdyż nikt przy dynamicznie zmieniających się cenach rynkowych energii elektrycznej (co godzinę) nie będzie dopłacał do „historycznej produkcji”, która została

„skonsumowana – sprzedana” po innej cenie, a po innej cenie mikrowytwórca ją sobie „odbiera”. Nowe rozwiązania, które wejdą w życie 1 kwietnia 2022 roku zakładają odrębne rozliczenia wartości energii wprowadzonej przez mikrowytwórcę do sieci i energii elektrycznej pobranej z sieci w oparciu o ceny giełdowe [2]. Takie rozwiązania są mniej korzystne dla mikrowytwórców, niemniej jednak konieczne z punktu widzenia praw ekonomii i cen energii elektrycznej zmieniających się dynamicznie z godziny na godzinę. Niestety, w warunkach rzeczywistych są momenty (godziny), kiedy ceny energii bar-

STRESZCZENIE

Zmiany w polskim prawie dotyczące rozliczeń pomiędzy mikro wytwórcami energii elektrycznej a operatorami systemu elektroenergetycznego stawiają w nowym świetle sens inwestowania w odnawialne źródła i skłaniają do stosowania własnych magazynów energii. W artykule omówiono alternatywne rozwiązania techniczne umożliwiające gromadzenie energii w kontekście opłacalności inwestycji w odnawialne źródła energii, a w szczególności w systemy fotowoltaiczne. Omówiono również kwestie ochrony przed wyładowaniami piorunowymi i przepięciami magazynów energii elektrycznej.

Słowa kluczowe: magazyn energii, wyładowania piorunowe, przepięcia, ograniczniki przepięć, ochrona odgromowa.

dzo mocno spadają (np. w wietrzne i słoneczne dni), a rosną, kiedy dni są pochmurne, bezwietrzne i dodatkowo jest upalnie lub bardzo zimno. I tak przykładowo cena sprzedaży wyprodukowanej energii w same południe to np. 256 zł za MWh (ok. 0,26 zł/kWh), a cena zakupu energii z sieci wieczorem wyniesie np. 667 zł za MWh (ok. 0,66 zł/kWh). Oznacza to również wydłużony okres zwrotu z inwestycji, zamiast 4–6 lat może to być nawet 8 lat [4]. Ostatnim mankamentem nowych rozwiązań jest przerzucenie na prosumenta obciążenia nowym systemem 100% opłaty dystrybucyjnej [2].

Podsumowując wyżej przywołane argumenty i opisany stan prawny coraz bardziej opłacalne wydaje się zmodyfikowanie struktury zużycia energii elektrycznej w budynku wyposażonym w odnawialne źródła energii elektrycznej poprzez zastosowanie magazynu energii umożliwiającego zgromadzenie jej na przykład w środku dnia, a wykorzystanie wieczorem po powrocie z pracy lub w innej dogodnej chwili.

I Magazyny energii elektrycznej

Prawie bezkosztowym rozwiązaniem umożliwiającym lepsze wykorzystanie energii elektrycznej pochodzącej z instalacji PV są włączniki czasowe. Dzięki nim możemy pranie lub zmywanie naczyń zaplanować w środku dnia, kiedy produkcja energii prawdopodobnie będzie największa, mniej oddamy do sieci, więcej zużyjemy i unikniemy niekorzystnych przeliczeń energii oddanej i pobranej.

Niemniej jednak w przypadku instalacji PV oczekujemy możliwości magazynowania jak największej ilości energii w godzinach największej produkcji, tak aby móc z niej skorzystać w określonych godzinach, aby bilans energii pobranej z sieci był jak najbardziej finansowo opłacalny. Oczywiście, nic nie ma za darmo i na samym początku należy rozważyć, kiedy i czy opłaca się inwestować w magazyn energii, porównując zyski do kosztów z uwzględnieniem nakładów na ich utrzymanie w ruchu [4].

Energia elektryczna może być magazynowana na wiele różnych sposobów. W postaci mechanicznej z wykorzystaniem elektrowni szczytowo-pompowych. Z wykorzystaniem sprężonego powietrza, ogień paliwowych wytwarzających wodór lub metan, termicznych polegających na gromadzeniu ciepła [4].

W przypadku przydomowych instalacji wykorzystujących odnawialne źródła energii wykorzystuje się magazyny energii bazujące na akumulatorach kwasowo-ołowiowych, żelowych, AGM, litowo-jonowych (rys. 2.). Najczęściej

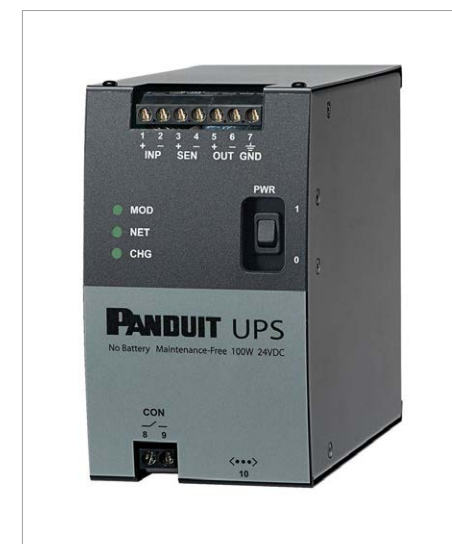
podłączane są one bezpośrednio do falowników hybrydowych, które mają możliwość pracy w trybie magazynowania energii. Niemniej jednak nie każde urządzenie taką funkcję oferuje. Warto o tym pomyśleć na samym wstępie, gdy planujemy inwestycję w fotowoltaikę.

O wyborze właściwego magazynu energii w pierwszej kolejności powinien decydować profil obciążenia związanego z budynkiem, w którym ma być zainstalowany. Najlepszym rozwiązaniem jest wykorzystanie własnego, dedykowanego licznika energii elektrycznej, który umożliwi szczegółową analizę, kiedy, co i ile energii zużywa.

Przeglądając dane możemy wyróżnić odbiorniki, które zużywają dużą chwilową wartość energii związaną z rozruchem, np. silniki elektryczne. W takim przypadku warto rozważyć magazyn energii opierający się np. na superkondensatorach oddających zgromadzoną energię bardzo szybko (rys. 3.). W przypadku tego typu rozwiązań nie są stosowane tradycyjne akumulatory, których żywotność jest stosunkowo krótka, a właśnie superkondensatory, których pojemność nie zależy tak mocno od obciążenia, jak to ma miejsce w przypadku akumulatorów. Największą wadą superkondensatorów jest znamionowe napięcie pracy, które wynosi najczęściej 2,5–3,0 V. Mając to na uwadze konieczna jest właściwa ochrona przeciwprzepięciowa urządzeń, w których są one wykorzystywane.

Ochrona odgromowa i przeciwprzepięciowa magazynów energii

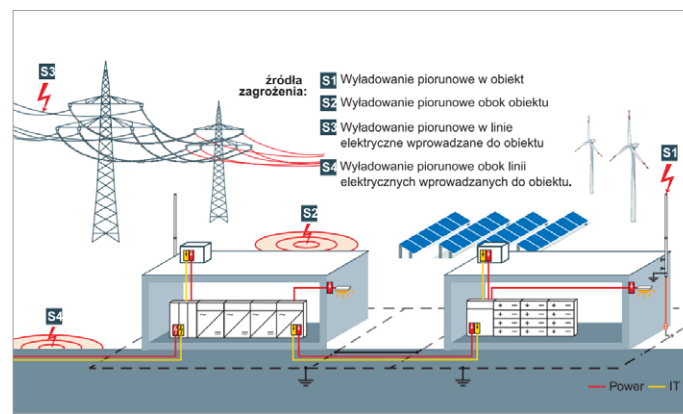
Wyładowania piorunowe stanowią bezpośrednie i pośrednie zagrożenie dla urządzeń służących do wytwarzania energii elektrycznej, jej przetwarzania i magazynowania (rys. 4.). Zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 62305-2 [7] należy przeprowadzić analizę ryzyka i określić na jej podstawie, jakie należy przedsięwziąć środki, jakie rozwiązania techniczne wykorzystać, jakich zabezpieczeń użyć, aby ryzyko zmniejszyć do akceptowalnego poziomu. Z punktu widzenia sytuacji formalnoprawnej należy również uwzględnić jeszcze jeden czynnik nieopisany w normach – ogólne warunki ubezpieczenia (w skrócie OWU). W przypadku gdy planowana lub istniejąca inwestycja podlega ochronie ubezpieczeniowej, bezwzględnie należy ją wyposażać w system ochrony odgromowej i przeciwprzepięciowej na podstawie zapisów OWU, na które „sami” się zgadzamy zawierając umowę ubezpieczenia. OWU jed-



Rys. 3. Zasilacz UPS z superkondensatorami – źródło [5]

noznacznie definiuje z czego musi składać się „instalacja fotowoltaiczna”. W rozumieniu firm ubezpieczeniowych: „instalacja fotowoltaiczna – zespół urządzeń, który jest przeznaczony do przetwarzania energii promieniowania słonecznego w energię elektryczną oraz wykorzystywania tej energii na użytek własny lub dostarczania tej energii do zewnętrznej sieci elektroenergetycznej oraz jest gotowy do pracy, zgodnie z wymaganą dokumentacją potwierdzającą ten stan wydaną przez uprawnionego instalatora. Składa się z następujących elementów: panelu lub paneli fotowoltaicznych oraz innych urządzeń stanowiących całość techniczną i użytkową, w tym uziemienia oraz systemu ochrony przeciwprzepięciowej i odgromowej...” [8]. W zakresie niezbędnym do magazynowania energii w skład instalacji fotowoltaicznej wchodzi również „akumulatory do fotowoltaiki”, które definiowane są jako „przydomowy magazyn energii” [8]. Oczywiście niewłaściwa budowa obiektu objętego ubezpieczeniem jest podstawą do odmowy likwidacji szkody.

Najlepszym i zalecanym sposobem ochrony obiektu wyposażonego w instalację fotowoltaiczną i połączonego z magazynem energii jest montaż zewnętrznego systemu ochrony odgromowej. Konceptcję ochrony pokazuje rysunek 5. Głównym zadaniem systemu ochrony odgromowej jest przechwycenie prądu wyładowania piorunowego i wysłanie go przez projektanta obroną drogą do systemu uziomowego. W tym celu należy rozmieścić na dachu system zwodów pionowych wykorzystując do tego metodę toczonej się kuli lub kąta ochronnego zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 62305-3 [9] (rys. 6.). Należy w tym miejscu również wspomnieć o odstępie



Rys. 4. Źródła zagrożenia obiektu zawierającego magazyny energii [6]

separującym (s), który należy zapewnić między panelami PV oraz innymi elementami i przewodami umieszczonymi na dachu a systemem zwodów. Spełnienie powyższego wymagania w znaczący sposób zmniejsza zagrożenie przepięciowe i pożarowe, gdyż izoluje system zwodów (który podczas doziemnego wyładowania piorunowego jest źródłem m.in. wysokiego napięcia) na dachu od reszty urządzeń, zabezpiecza przed pojawieniem się niekontrolowanych przeskoków iskrowych, które bezpośrednio mogą być przyczyną pożaru. Metodę wyznaczania wymaganych odstępów separacyjnych znajdziemy w normie PN-EN 62305-3 [9]. Bardzo ważną częścią systemu ochrony są także połączenia wyrównawcze. W sposób naturalny zmniejszają one względne różnice potencjałów między urządzeniami i elementami umiejscowionymi na dachu jak i wewnątrz budynku. W przypadku instalacji PV należy połączyć wszystkie konstrukcje wsporcze umieszczone na dachu pamiętając o wymaganym odstępie separacyjnym.

W celu zabezpieczenia się przed skutkami przepięć należy zainstalować (rys. 7):

- » w rozdzielni głównej budynku ogranicznik przepięć klasy T1 kombinowany zbudowany w oparciu o iskiernik,
- » na wyjściu AC falownika lub całej szafy sterującej urządzeniami elektroenergetycznymi

w miejscu przyłączenia sieci niskiego napięcia ogranicznik przepięć klasy T2 jeśli długość przewodów do rozdzielni głównej jest większa niż 10 m (rys. 7., pkt 1),

» na wejściu DC falownika lub całej szafy sterującej urządzeniami elektroenergetycznymi w miejscu przyłączenia kabli z paneli PV ogranicznik przepięć klasy T2 przeznaczony do systemów PV,

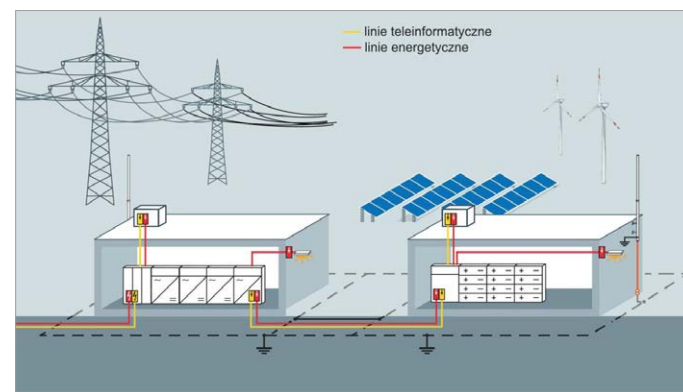
» na wyjściu paneli PV jeśli długość przewodów do falownika jest większa niż 10 m ogranicznik przepięć klasy T1 lub T2 przeznaczony do systemów PV,

» na wejściu sterującym falownika, module komunikacyjnym, module sprzęgającym urządzenie z siecią Ethernet (jeśli takie posiada i są one wykorzystywane) ograniczniki przepięć przeznaczone do torów sygnałowych klasy C2 (rys. 7., pkt 4, 5, 6),

» na wyjściu antenowym układu komunikacji zewnętrznej (jeśli taki jest wykorzystywany) specjalny ogranicznik przepięć klasy D2,

» na wejściu akumulatorowego magazynu energii (baterii akumulatorów) specjalny ogranicznik przepięć klasy T2 (rys. 7., pkt 7),

» na wejściu/wyjściu innych urządzeń podłączonych bezpośrednio lub pośrednio do urządzeń pracujących w obiekcie dedykowany ogranicznik przepięć klasy T1 lub T2,

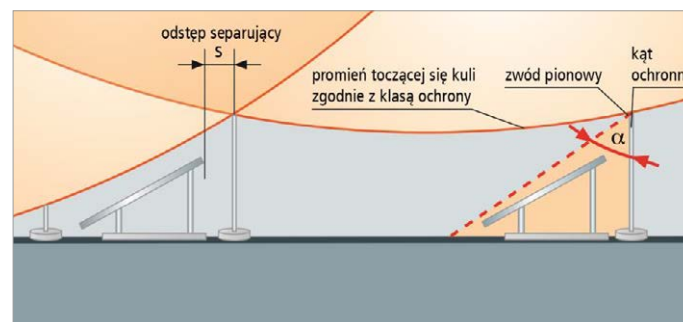


Rys. 5. Schemat ochrony odgromowej i przeciwprzepięciowej obiektu zawierającego akumulatorowy magazyn energii zlokalizowany w budynku [6]

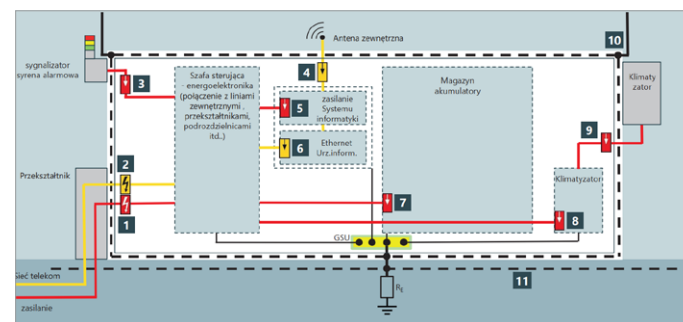
np. na wyjściu sygnalizatora optycznego, syreny alarmowej, klimatyzatora, wejściu sieci internetowej/przylączya telekomunikacyjnego itp. (rys. 7., pkt 3, 5, 6, 8, 9).

Najczęściej popełniane błędy

1. Brak jakiegokolwiek ochrony. Dołożenie instalacji PV bez modyfikacji systemu ochrony odgromowej i przeciwprzepięciowej obiektu.
2. Stosowanie aktywnej ochrony odgromowej lub innej polegającej na ograniczeniu liczby zwodów lub cienia na dachu. Wyłącza to odpowiedzialność ubezpieczyciela za ewentualne straty ze względu na stosowanie rozwiązań niezgodnych z polskim prawem budowlanym. Błędem jest powoływanie się na normy francuskie nie przywołane w polskim rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [11].
3. Niezachowane odstępy separacyjne na dachu.
4. Brak ochrony przeciwprzepięciowej skoordynowanej energetycznie z urządzeniem końcowym (falownikiem). Ryzykujemy uszkodzenie falownika w skutek przepięć pomimo zastosowania warystorowego ogranicznika przepięć (równoległe łączenie warystorowych ograniczników przepięć).



Rys. 6. Ochrona odgromowa paneli PV zgodnie z metodą toczonej kuli i kąta ochronnego [10]



Rys. 7. Ochrona przeciwprzepięciowa akumulatorowego magazynu energii elektrycznej [6]

ABSTRACT

Lightning and surge protection for energy storage
Changes in Polish law concerning settlements between micro electricity producers and electricity system operators put a new light on the sense of investing in renewable sources and encourage the use of own energy storage. The article discusses alternative technical solutions enabling energy collection in the context of profitability of investments in renewable energy sources, in particular in photovoltaic systems. The issues of protection against lightning discharges and overvoltages in electricity storage were also discussed.
Keywords: Energy storage system, lightning strikes, overvoltages, surge arresters, lightning protection.

5. Brak sprawdzenia ogólnych warunków ubezpieczenia obiektu.

Podsumowanie

Własne elektrownie słoneczne stają się coraz bardziej popularne i modne w Polsce. Dostrzegając ich zalety, aktywnie z nich korzystając nie można zapominać o zagrożeniach, które wraz z sobą one niosą. Zmiany w prawie skłaniają do bardziej efektywnego wykorzystania produkowanej energii – najlepiej we własnym zakresie. Należy się spodziewać w niedalekiej przyszłości zwiększonego zainteresowania różnymi

rozwiązaniami technicznymi umożliwiającymi gromadzenie energii i jej późniejsze wykorzystanie. Bez skutecznej ochrony odgromowej i przeciwprzepięciowej okres zwrotu z inwestycji może być dłuższy lub w ekstremalnych przypadkach koszty przewyższą znacząco potencjalne zyski. W Polskim prawie winien być wprowadzony zapis nakładający na użytkowników instalacji PV konieczność wyposażenia ich w urządzenia piorunochronne i przeciwprzepięciowe. Brak takiej regulacji jest wykorzystywany do zmniejszenia kosztów inwestycji. Ubezpieczenie daje tylko złudną nadzieję na pokrycie ewentualnych strat. Podsumowując: zaleca się instalację potocznie zwanej „odgromówki” i „przepięciówki”.

Literatura

1. <https://dombezrachunkow.com/fotowoltaika/system-opustu/>
2. <https://www.pap.pl/mediaroom/1008808%2Csb-f-polska-pv-zmiana-systemu-prosumenckiego-moze-doprowadzic-do-likwidacji-135>
3. <https://globenergia.pl/net-billing-tak-bedzie-wygladalo-rozliczenie-prosumentow-przewodnik/>

4. <https://budownictwob2b.pl/instalacje/baza-wiedzy/fotowoltaika/52005-jaki-magazyn-energii-wybrac-w-zalezności-od-wielkości-instalacji-pv-i-jego-funkcji>
5. <https://automatyzacja2b.pl/produkty/zasilanie-i-rozdziel-energii/zasilanie-gwarantowane-przetwarzanie-energii/11097-zasilacz-ups-z-superkondensatorami-o-dużej-bezawaryjności-i-malym-koszcie-uzyskowania>
6. K. Wincencik, Ochrona odgromowa i przepięciowa akumulatorowych systemów magazynowania energii elektrycznej, „Wiadomości Elektrotechniczne” 2020 nr 5. DOI 10.15199/74.2020.5.8.
7. PN-EN 62305-2:2012 *Ochrona odgromowa. Część 2: Zarządzanie ryzykiem*.
8. Ogólne warunki ubezpieczenia jednej z firm ubezpieczeniowych.
9. PN-EN 62305-3:2011 *Ochrona odgromowa. Część 3: Uszkodzenia fizyczne obiektów i zagrożenie życia*.
10. Poradnik ochrony odgromowej. Neumarkt DEHN, 2019.
11. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 8 kwietnia 2019r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz.U.2019.0.1065.

elektro
info

Profesjonalne szkolenia
dla elektryków online!

Zastosowanie zespołów prądotwórczych do awaryjnego zasilania budynków oraz sieci elektroenergetycznych nn

Dostępne od ręki o każdej porze i bez względu na to, gdzie jesteś!

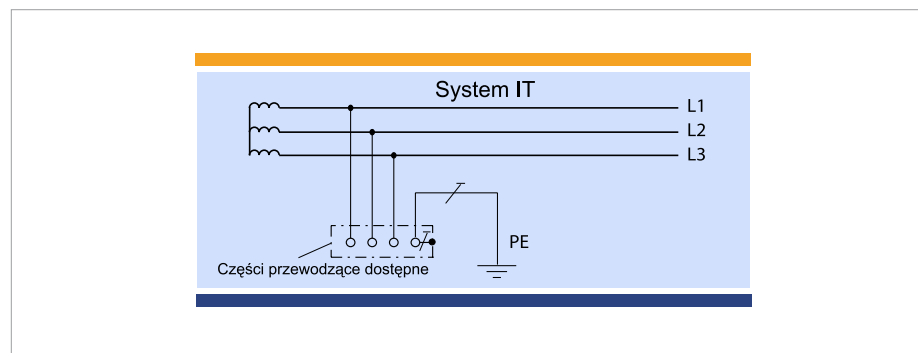
www.kursy.elektro.info.pl

Bezpieczeństwo pożarowe magazynów energii baterii litowo-jonowych

Dynamiczny wzrost energii generowanej z odnawialnych źródeł energii, takich jak fotowoltaika czy wiatraki, sprawia, iż niezbędne staje się stabilizowanie systemu energetycznego za pomocą magazynów energii. Obecny system energetyczny został zaprojektowany do pracy centralnej, w której energia płynie z elektrowni do odbiorców. Na przestrzeni ostatnich lat charakterystyka ta staje się coraz bardziej rozproszona, dlatego aby utrzymać odpowiednie parametry jakości energii, należy stosować magazyny zarówno w sieci dystrybucyjnej, jak i lokalnie, w zakładach przemysłowych czy domach. Rozwój oraz popularyzacja ogniw litowo-jonowych sprawiły, iż magazyny elektrochemiczne są najpopularniejszym rozwiązaniem. Ich szerokie zastosowanie w pojazdach elektrycznych doprowadziło do spadku cen i obecnie akumulatory litowo-jonowe są głównym nośnikiem energii na świecie, a ich popularność wciąż rośnie. Niestety nie jest to rozwiązanie, które nie posiada wad. Dlatego przy wykorzystaniu ich na dużą skalę w magazynach energii priorytetem powinno być zapewnienie bezpieczeństwa.

I Budowa magazynów energii

W zależności od mocy i zastosowania magazynów energii mają one różną strukturę, jednak budowa ogniw, jak i ich sposób zabezpieczania są podobne.



Rys. 1. Układ sieci IT

Z doświadczenia, jakie można było zebrać na przestrzeni ostatnich lat z wykorzystaniem baterii litowo-jonowych zarówno w magazynach energii, jak i w pojazdach elektrycznych, wynika, iż instalacje te powinny być projektowane jako sieci izolowane (układ IT). Zapewnia to większą niezawodność i bezpieczeństwo pożarowe.

Układ IT (rys. 1.) charakteryzuje się tym, iż żadna aktywna część sieci nie jest połączona z ziemią. Zaletą takiego układu jest występowanie jedynie bardzo małego prądu upływu podczas uszkodzenia izolacji lub pierwszego pełnego doziemienia, ponieważ prąd ten ograniczony jest pojemnością doziemną sieci. Dlatego też system, mimo wystąpienia doziemienia, może dalej pracować, pod warunkiem, iż jest wyposażony w urządzenie monitorujące stan izolacji.

Sieci te mają cztery bardzo ważne zalety:

- » większą pewność zasilania (pierwsze doziemienie, pierwszy błąd w tej sieci nie powoduje wyłączenia),
- » większe bezpieczeństwo porażeniowe (prąd porażenia ograniczony jest bardzo dużą impedancją pojemnościową sieci),
- » większe bezpieczeństwo pożarowe (moc trzona w miejscu doziemienia jest bardzo mała),
- » większa dopuszczalna rezystancja uziemienia.

Z uwagi na wszelkie zalety sieci izolowanych powinny być one wykorzystane do projektowania magazynów energii. Zaprojektowanie sieci w ten sposób może być także podyktowane faktem, iż obwód prądu stałego między akumulatorem a falownikiem jest zwykle zaprojektowany jako sieć nieuziemiona.

Na rysunku 2. możemy zobaczyć uproszczoną schematyczną strukturę przemysłowego baterijnego systemu magazynowania energii – składającego się z podstawowych komponentów **baterii ogniw, systemu zarządzania baterią (BMS), falownika i transformatora, a także urządzenia do kontroli izolacji.**

Z uwagi na możliwe zakłócenia oraz niebezpieczeństwo pożarowe bardzo istotne jest stosowanie odpowiednich urządzeń do kontroli izolacji, zaprojektowanych do pracy w takich sieciach. Urządzenia firmy Bender wykorzystują opatentowany algorytm AMP, który na bieżąco dostosowuje sygnał pomiarowy do wymagań danej instalacji, w zależności od poziomu zakłóceń (pojemności doziemnej, sygnałów zakłócających pomiar).

Urządzenia, które proponujemy do izolowanych systemów BESS: **ED5440, iso685**.



Rys. 3. Izometr iso685



Rys. 4. Ewaluator EDS440



Rys. 5. Urządzenia dla uziemionych systemów BESS



Rys. 6. Miernik Nemo D4-DC



Rys. 7. Licznik energii PRO380



Rys. 8. Licznik energii Conto D4

Magazyny energii w układzie TN-S

Jak zostało już wspomniane, standardem jest projektowanie magazynów w układzie IT, jednak

puszczenie do rozwinięcia się pełnego doziemienia.

Systemy stałego monitorowania prądów różnicowych doskonale sprawdzają się również w magazynach, gdzie akumulatory zaprojektowane są jako sieci izolowane, natomiast reszta obwodów jest już uziemiona.

Urządzenia, które proponujemy do uziemionych systemów BESS: **RCMS, RCMA423, RCMB301**.

I Pomiary energii w magazynach

W celu monitorowania parametrów elektrycznych oraz zysków i strat w magazynach energii stosuje się opomiarowanie, zarówno po stronie napięcia stałego na akumulatorach, jak i za falownikiem, po stronie napięcia przemiennego. Stan baterii sprawdzamy za pomocą miernika wielofunkcyjnego prądu stałego, który w sposób ciągły sprawdza napięcie, mierzy płynący prąd poprzez bocznik lub bezpośrednio, jeżeli wartość prądu nie przekracza 10 A oraz oblicza moc i energię pobraną i oddaną. Dodatkowo wyposażony jest w dwa niezależne, konfigurowalne wyjścia alarmowe oraz wyjście RS-485/Modbus do współpracy z układem kontroli stanu.

Urządzenie, które proponujemy: **Nemo D4-DC** (sieć kontrolowana do 1500 Vdc).

Do pomiarów przepływu energii elektrycznej w magazynach energii po stronie napięcia przemiennego za falownikiem służą liczniki energii. Oprócz wskazań energii monitorują dodatkowo parametry elektryczne jak napięcia, prądy i moce. Liczniki z serii Conto do pomiarów pośrednich lub bezpośrednich do 63 A mają certyfikat pomiarowy MID oraz mogą być wyposażone w wyjście komunikacyjne RS-485/Modbus. Podobne własności i zastosowanie ma seria liczników PRO380 z dodatkową zaletą dla licznika bezpośredniego, którego prąd maksymalny to 100A.

Urządzenia, które proponujemy: **Conto D4-Pt, Conto D4-Pd, PRO380 CT, PRO380 100A**.



Biuro Techniczno-Handlowe PRO-MAC
91-492 Łódź, ul. Gen. Józefa Bema 55
tel. 42 61 61 680/681
biuro@promac.com.pl
www.promac.com.pl

Rys. 2. Schemat baterijnego systemu magazynowania energii

Współpraca generatora fotowoltaicznego z magazynem energii

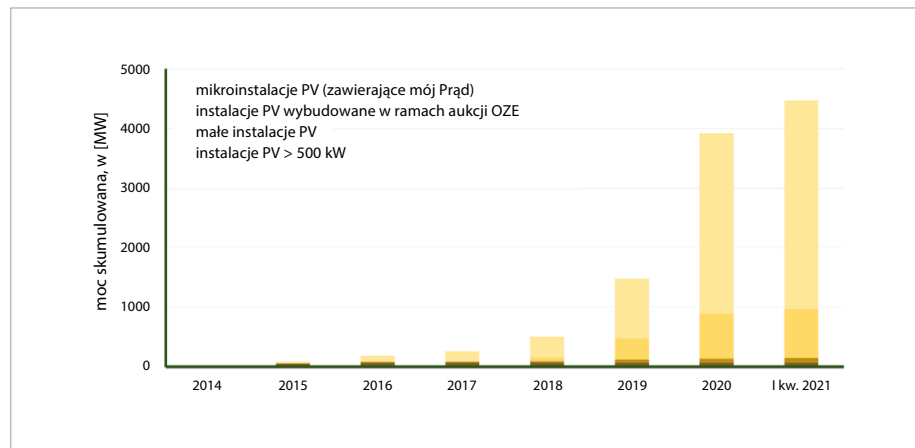
Zmieniająca się sytuacja geopolityczna, rosnące wymagania polityki klimatycznej Unii Europejskiej, w tym rosnące ceny certyfikatów energetycznych, zwiększają presję na przyspieszenie transformacji energetycznej. Jednym z jej kluczowych kierunków jest rozwój energetyki rozproszonej, w szczególności małych przydomowych elektrowni fotowoltaicznych, które zasadniczo zwiększają swoje możliwości i bezpieczeństwo energetyczne w połączeniu z magazynami energii.

Elektrownie fotowoltaiczne

Według stanu na koniec listopada 2021 r. w Polsce moc zainstalowana w elektrowniach fotowoltaicznych wyniosła 7122 MW [12]. W skali roku zauważalny jest wzrost ok. 1,5% zapotrzebowania na energię, głównie elektryczną, a w roku 2030 prognozuje się produkcję energii elektrycznej na poziomie 200 TWh z udziałem odnawialnych źródeł energii 32,5%. Są to bardzo dobre prognozy dla rozwoju rynku generatorów fotowoltaicznych w Polsce, jednak coraz bardziej oczywiste staje się to, że w celu zapewnienia nie tylko jakości, ale także bezpieczeństwa oraz ciągłości zasilania w systemie muszą zaistnieć określone elementy, które umożliwią magazynowanie wyprodukowanej energii elektrycznej, szczególnie tej wyprodukowanej przez generatory o mało przewidywalnej charakterystyce generacji, jak elektrownie fotowoltaiczne i wiatrowe.

Obecne instalacje fotowoltaiczne w zależności od ich współpracy z siecią elektroenergetyczną można podzielić na trzy podstawowe grupy: on-grid, off-grid oraz instalacje hybrydowe.

Klasyczna instalacja fotowoltaiczna on-grid daje możliwość włączenia generatorów bezpośrednio do sieci elektroenergetycznej, np. na poziomie niskiego napięcia, i tym samym odsprzedaży wyprodukowanej energii elektrycznej operatorowi systemu elektroenergetycznego. Instalacje typu on-grid należą do jed-



Rys. 1. Skumulowana moc zainstalowana w elektrowniach fotowoltaicznych w Polsce (na podstawie [7])

nej z najtańszych form instalacji fotowoltaicznej. Największą wadą tego typu instalacji jest brak możliwości korzystania z energii, jaka jest produkowana przez poszczególne panele, chociażby przy wystąpieniu przerw w dostawie energii z sieci elektroenergetycznej.

W przypadku instalacji fotowoltaicznej typu off-grid nie ma możliwości sprzedaży energii elektrycznej bezpośrednio do sieci. Produkowana energia może być wykorzystywana na bieżąco bądź też akumulowana w magazynach energii. Dzięki temu cechą charakterystyczną tego typu instalacji jest przede wszystkim duża autonomiczność energetyczna z możliwością pokrycia do 100% zapotrzebowania na energię elektryczną przyłączonych odbiorów. Wadą tego typu instalacji jest duży koszt budowy w porównaniu z instalacją on-grid, który wynika głównie z kosztów budowy magazynu energii.

Instalacje hybrydowe są bardziej złożone i mogą zawierać połączenia różnych źródeł energii odnawialnych i nieodnawialnych, magazynu energii oraz przyłączenia do sieci elektroenergetycznej. Spotykanym rozwiązaniem, szczególnie w obiektach oddalonych od sieci, jest zastosowanie np. generatora spalinowego

jako źródła back-upu dla paneli fotowoltaicznych z ewentualnym niewielkim akumulatorem magazynu energii elektrycznej.

Rynek generatorów fotowoltaicznych w Polsce

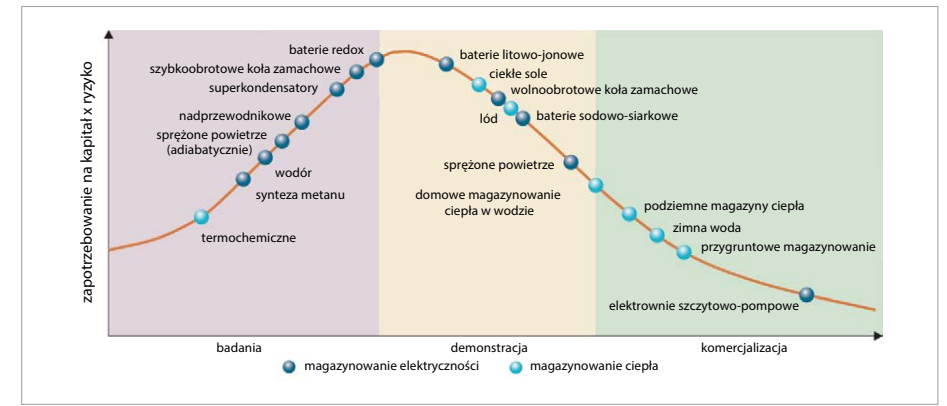
Rok 2020 zaliczono do najlepszych w całej historii rozwoju fotowoltaiki w Polsce. Na podstawie danych zebranych przez Polskie Sieci Elektroenergetyczne wartość mocy zainstalowanej w fotowoltaice na koniec 2020 r. osiągnęła wartość 3935 MW, co daje wyraźny wzrost o 2463 MW w stosunku do lat poprzednich. Polskę wyprzedziły jedynie Niemcy, Holandia oraz Hiszpania. Rok 2021 również zaczął się dość optymistycznie, w pierwszym kwartale odnotowano moc zainstalowaną 4466 MW [12]. Zdecydowanie największy wzrost odnotowano w mikroinstalacjach, ponieważ to właśnie w ich przypadku przybyło prawie 500 MW mocy. Na rysunku 1. zobrazowano skumulowaną moc zainstalowaną w Polsce dla kolejnych lat z podziałem na poszczególne typy instalacji.

Według Instytutu Energetyki Odnawialnej statystyka mocy zainstalowanej w źródłach fotowoltaicznych uwzględnia [7]:

- » mikroinstalacje, charakteryzujące się łączną mocą zainstalowaną, która nie przekracza 50 kW; zainstalowana moc na koniec 2020 to 3022 MW, na marzec 2021 to 3500 MW,
- » małe instalacje, będące instalacjami o mocy od 50 kW do 500 kW; zainstalowana moc na koniec 2020 to 65 MW, na marzec 2021 to 71 MW,
- » instalacje fotowoltaiczne o mocy przekraczającej 500 kW, które utworzono w ramach systemu świadectw pochodzenia bądź też poza aukcyjnym systemem wsparcia; łączna moc zainstalowana to 75 MW,
- » instalacje fotowoltaiczne, które wybudowano w ramach aukcji OZE; zainstalowana moc na koniec 2020 to 750 MW, na marzec 2021 to 820 MW, zazwyczaj są to farmy fotowoltaiczne oraz elektrownie słoneczne o mocach niespełna 1 MW.

W Polsce zdecydowanie największy udział w rynku mają mikroinstalacje PV, w 2020 r. instalacje te stanowiły aż 77% mocy zainstalowanej w fotowoltaice. Jest to wynik wielu czynników, jak chociażby znacznego wzrostu popularności tej technologii wśród prosumentów, dotacji, jakie są udzielane w ramach Regionalnych Programów Operacyjnych, a także rządowego programu dofinansowania „Mój prąd”, który był realizowany od września 2019 r. do grudnia 2020 r. Udział mocy zainstalowanej w fotowoltaice w stosunku do mocy zainstalowanej w OZE na koniec 2020 r. wyniósł 30% i był on już dwukrotnie wyższy niż w 2019 r. Instalacje PV wyprzedziły biomasę (11%), hydroelektrownię (8%) oraz biogaz (2%). Jednak na pierwszym miejscu w dalszym ciągu znajduje się energetyka wiatrowa na lądzie z udziałem mocy zainstalowanej na poziomie 49%. Statystyki pokazują, że od czterech lat fotowoltaika jest najszybciej rozwijającym się OZE w Polsce i osiąga największe roczne przyrosty [7]. Wśród instalacji posiadających koncesję na produkcję energii elektrycznej na koniec 2020 r. na fotowoltaikę przypadało 887 MW, na energetykę wiatrową 6347 MW mocy zainstalowanej [12].

Według danych Agencji Rynku Energii w październiku 2021 r. moc zainstalowana fotowoltaiki w Polsce osiągnęła wartość 6688 MW, co stanowiło prawie dwukrotny wzrost w skali roku (w październiku 2020 było 3936 MW). W samym październiku 2021 moc zainstalowana zwiększyła się o ok. 383 MW, na co złożyły się 39 562 nowe instalacje fotowoltaiczne, o średniej mocy 11 kW, co stanowiło przeszło 99% wszystkich instalacji OZE, które zbudowano w październiku 2021 r. Całkowita moc zainstalowana dla wszyst-



Rys. 2. Stopień zaawansowania wybranych technologii magazynowania energii (na podstawie [5])

kich rodzajów źródeł w październiku 2021 r. wyniosła 54,2 GW; tym OZE 15,7 GW (29%), z czego fotowoltaika 42% na drugim miejscu za energetyką wiatrową (44%). Najbardziej dynamiczny przyrost odnotowano w przypadku mikroinstalacji fotowoltaicznych (w październiku 2021 r. przybyło około 500 MW). Statystyki pokazują, że w 2020 roku mimo pandemii COVID-19 rynek PV w Polsce rozwijał się dynamicznie. W I półroczu 2020 r. powstało 112 420 nowych mikroinstalacji fotowoltaicznych o łącznej mocy 774,1 MW, o ok. 13% więcej w porównaniu z rokiem 2019 [10].

Dane zebrane zarówno wśród polskich producentów, jak i też firm instalatorskich oraz deweloperów pokazują, iż nastąpił wyraźny wzrost zainteresowania modułami Half Cut Cells, czyli wykonanymi w technologii, która wykorzystuje moduły z ogniwami ciętymi na pół. Udział sprzedaży modułów Half Cut Cell w I połowie 2020 r. osiągnął 75,5%, monokrystalicznych całych 18%, polikrystalicznych 6,2%. Ponadto w zestawieniu uwidoczniły się również moduły w technologii BI-Facial, stanowiącej 0,3% całkowitej sprzedaży w I połowie 2020 r. [3].

Magazynowanie energii

W 2009 r. Parlament Europejski uchwalił dyrektywę, w której nałożył obowiązek podjęcia kroków na każde z państw członkowskie UE w celu stworzenie obiektów magazynujących energię gwarantujących bezpieczeństwo wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych [4]. Jednakże z praktycznego punktu widzenia dopiero od 2015 r. Unia Europejska podjęła realne kroki zajmując się tym tematem i zwracając szczególną uwagę na to, iż kwestia magazynowania energii powinna być tematem priorytetowym z uwagi na wciąż rosnące zagrożenie niestabilnością systemu elektroenergetycznego. Skupiono się przede wszystkim na magazynowaniu energii metodami elektrochemicznymi. Podkreślono również, że aby możliwe było

sprostanie wciąż rosnącej ilości źródeł odnawialnych należy:

- » stworzyć w szczególności systemy magazynowania na zasadzie lokalnych obszarów bilansowania w szczególności na terenach wiejskich;
- » promować zwłaszcza w indywidualnych gospodarstwach domowych systemy fotowoltaiczne wraz z przydomowym akumulatorem, który ładowałby się podczas nieobecności domowników;
- » inwestować w akumulację, która to mogłaby szybko reagować na znaczne zmiany w wytwarzanej mocy z odnawialnych źródeł energii.

W Polsce przełom miał miejsce na początku 2018 r., wraz z wejściem w życie Ustawy o Rynku Mocy [8], gdyż jest to w zasadzie pierwsza ustawa, która tak wyraźnie wspomina o magazynach energii. Kolejnym krokiem w kwestii magazynowania energii było Rozporządzenia Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 21 października 2021 r. opublikowanie w Dzienniku Ustaw w dniu 5 listopada 2021 r. w sprawie rejestru magazynów energii elektrycznej. Rozporządzenie to wydano zgodnie z ostatnią nowelizacją ustawy Prawo energetyczne, która to wprowadziła wiele rozwiązań, mających na celu umożliwić rozwój krajowego rynku magazynów energii. Magazynowanie energii przyczynia się do zwiększenia efektywności energetycznej, nie tylko samego systemu dystrybucyjnego, ale też i jego bezpośrednich odbiorców będących konsumentami energii elektrycznej.

W większej skali magazynowanie energii ma na celu zbilansowanie sieci w pełnym cyklu dobowym, a także łagodzenie powstających w szczytach obciążeń sieci elektroenergetycznej i gromadzenie energii w przypadku jej nadprodukcji. Magazynowanie energii prowadzone na dużą skalę dałoby możliwość gromadzenia nadwyżki wówczas, kiedy produkcja energii w generatorach fotowoltaicznych przekracza popyt, po

czym uwaliliby ją do sieci, gdy produkcja bieżąca jest niewystarczająca do tego, aby możliwe było zaspokojenie bieżącego zużycia.

Magazyny energii w wersji zintegrowanej ze stacją rozdzielczą bądź też jako samodzielne obiekty powstają od kilku lat i będą stawały się z czasem coraz bardziej powszechne. Aktualnie istnieje wiele sposobów magazynowania energii elektrycznej w zależności od typu magazynowanej energii, najważniejsze z nich wraz z zaawansowaniem technologii i stopniem komercjalizacji zestawiono na **rysunku 2**. Więcej informacji o magazynowaniu energii można znaleźć w miesięczniku „elektro.info” w artykułach autora w numerach 6/2020 [1] i 7–8/2020 [2].

Zastosowanie magazynów energii elektrycznej w instalacjach fotowoltaicznych daje możliwość przechowywania ewentualnych nadwyżek produkowanej energii elektrycznej. Dzięki temu zgromadzona w ten sposób energia może być wykorzystywana w okresie bezprodukcyjnym. Jednakże pomimo zalet magazyny energii mają też i wady, do których zalicza się między innymi: wysoki koszt magazynu/magazynowania, straty w magazynowaniu energii, różną wy-

dajność takiego procesu w zależności od warunków pracy. Dwie ostatnie nie są tak istotne jeżeli magazynujemy energię ze źródeł odnawialnych, która w innym przypadku w ogóle nie byłaby wykorzystana.

Rynek magazynów energii w Polsce

W wielu państwach rośnie udział systemów z magazynowaniem energii elektrycznej w ogólnej liczbie instalacji fotowoltaicznych. Tak jest np. w Niemczech, gdzie do końca 2019 r. zainstalowanych zostało prawie 160 000 magazynów energii elektrycznej w systemach fotowoltaicznych podłączonych bezpośrednio do sieci niskiego napięcia, co stanowiło ok. 9% z 1,7 mln wszystkich instalacji). Należy jednak uwzględnić to, że w przeciwieństwie do paneli PV, które są tam instalowane już od ponad 20 lat, współpracujące z nimi magazyny energii zyskały popularność dopiero kilka lat temu. Widoczny jest jednak wzrost instalacji magazynów energii w instalacjach w roku 2016 było 34 000 magazynów energii, zaś w 2018 r. liczba ta wyniosła już 100 000, a pod koniec 2019 r. aż 160 000. Na podstawie danych zgromadzonych przez Pol-

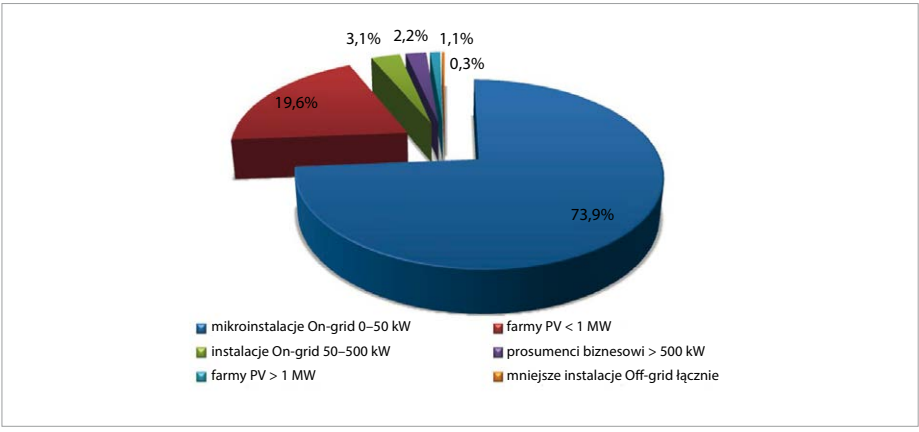
skie Izby Magazynowania Energii zainstalowano w Polsce magazyny energii o mocy ok. 1450 MW, z czego 1370 MW zainstalowanych jest w elektrowniach szczytowo-pompowych. W 2021 r. w Polsce było już około 50 MW mocy zainstalowanej w magazynach energii elektrycznej w technologii elektrochemicznej. Prognozy przewidują zainstalowanie kolejnych 300÷500 MW. Polska Grupa Energetyczna uruchomiła w Rzepe-dzi na Podkarpaciu pierwszy w Polsce magazyn energii elektrycznej z zastosowaniem modułów Powerpack Tesla o mocy 1,2 MW oraz pojemności 4,2 MWh, zaprojektowany głównie w celu wspierania niezawodności lokalnej sieci dystrybucyjnej. Docelowo do roku 2030 PGE planuje wybudować magazyny energii o łącznej mocy co najmniej 800 MW [6]. Spółka wytypowała już kilkanaście lokalizacji, z których największy jest projekt CHEST o mocy 205 MW oraz pojemności 820 MWh planowany jest w Żarnowcu [11].

5 listopada 2021 r. weszło w życie rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska, dzięki tym przepisom możliwe będzie szczegółowe monitorowanie rozwoju magazynów energii, które stanowią dopełnienie dla instalacji fotowoltaicznej. Do tej pory magazyny nie podlegały obowiązkowi wpisu do rejestru i traktowane były jako jednostki wytwórcze, co utrudniało ich monitorowanie.

Generator fotowoltaiczny i magazyn energii

Obecnie w Polsce układy współpracy generatora fotowoltaicznego z elektrochemicznym magazynem energii, który stanowi zespół akumulatorów o określonej pojemności, znajdują ograniczone zastosowanie. Stosuje się je głównie w przypadkach braku możliwości podłączenia do sieci elektroenergetycznej lub bardzo mocno ograniczonych możliwości przyłączenia do sieci wybudowanych systemów PV. Dotyczy to zwłaszcza odległych od infrastruktury domków letniskowych, obiektów turystycznych oraz sygnalizacji i oświetlenia.

Znacznie większą popularnością cieszą się instalacje łączące zalety systemów zarówno on-grid z off-grid, umożliwiając zarówno korzystanie z sieci elektroenergetycznej oraz nabywanie pewnej niezależności od dostawcy energii. W przypadku przerwy w dostawie energii z sieci elektroenergetycznej instalacja jest w stanie funkcjonować w pełni samodzielnie i dostarczać energię na własne potrzeby. Dodatkowo, stosowane w rozwiązaniach typowo hybrydowych magazyny energii pozwalają zmniejszyć jej szczytowy pobór bezpośrednio z sieci. Na ry-



Rys. 3. Generacja energii ze źródeł fotowoltaicznych w Polsce (dane na podstawie [7])

sunku 3, przedstawiono udział produkcji energii w generatorach fotowoltaicznych ze źródeł off-grid w zestawieniu ze źródłami przyłączonymi do sieci.

Ilościowo w Polsce instalacje off-grid stanowią zaledwie margines produkcji energii w instalacjach fotowoltaicznych. W 2020 r. instalacje te produkowały niespełna 6000 MWh, co stanowiło jedynie 0,3% łącznej energii wytworzonej (**tab. 1**).

Uznanie wśród użytkowników, początkowo na południu Europy, a obecnie i w Polsce znajdują również systemy grzewcze z wykorzystaniem energii elektrycznej produkowanej przez panele fotowoltaiczne. Systemy takie pozbawione są wad instalacji z kolektorami cieczowymi, jak przegrzewanie się instalacji i możliwe uszkodzenia, szczególnie w gorące dni, gdy jest zbyt mały lub zerowy pobór ciepła lub ciepłej wody. Sytuacja ta ma szczególnie miejsce podczas wakacyjnych wyjazdów. Elementem grzejnym w systemach z generatorem fotowoltaicznym mogą być np. grzejniki oporowe w tym ogrzewanie podłogowe lub promienniki podczerwieni. Jeżeli ogrzewanie miało być prowadzone w nocy, najlepszym rozwiązaniem będzie wyposażenie instalacji w magazyn energii (off-grid lub hybrydowo).

Rosnąca liczba odnawialnych źródeł energii słonecznej i wiatrowej w systemie elektroenergetycznym będzie powodowała gwałtowne zmiany generacji mocy, które będą negatywnie wpływać na stabilność systemu elektroenergetycznego. W celu uniknięcia tych problemów jedynym skutecznym rozwiązaniem jest instalacja magazynów energii. Wzrost zainteresowania generatorami fotowoltaicznymi wpływa na rynek magazynów energii sprawiając, że stają się one w dłuższym horyzoncie czasowym uzasadnionym rozwiązaniem dla stabilności generacji ze źródeł odnawialnych. Generacja ze źró-

deł fotowoltaicznych, przesunięta względem dziennego profilu zapotrzebowania na energię, ma istotny wpływ na stymulowanie rozwoju technologii magazynowania energii. W **tabeli 2**, zestawiono dane pokazujące perspektywę rozwoju magazynów energii w obrębie firm, które wchodzi w skład Przemysłowego Panelu PV.

Należy również zauważyć, że w reakcji na koszty opłaty mocowej, jak również znaczny wzrost cen energii, w kolejnych latach coraz bardziej powszechne stawać się będą instalacje autoproducentkie, czyli tzw. producent biznesowy i co ważne będą to w dużej mierze instalacje duże. Prognozuje się, że pod koniec 2023 roku segment ten ma jak najbardziej możliwość uzyskania nawet 10% udziału w całkowitej mocy, zaś w perspektywie do 2030 roku przewidywany jest ciągły wzrost [3].

Podsumowanie

Większość szczególnie przydomowych instalacji fotowoltaicznych wykorzystuje sieć elektroenergetyczną jako magazyn energii o nieograniczonej pojemności i czasie działania dostarczając i odbierając energię elektryczną w dowolnie wybranym, korzystnym dla siebie, ale niekoniecznie dla sieci momencie. Rosnąca liczba instalacji fotowoltaicznych w systemie prowadzić może do niepożądanych problemów w zasilaniu energią elektryczną, doprowadzając nawet do lokalnych przerw w dostawie energii elektrycznej. W dłuższej perspektywie czasowej zapobiec temu może powszechność stosowania magazynowania energii.

Niewątpliwie magazyny energii stosowane w przydomowych instalacjach PV pozwolą na pełne wykorzystanie produkowanej energii w przypadku złych parametrów sieci elektroenergetycznej lub przeciążenia powodowanego przez nadmiar produkowanej energii przez systemy PV przyłączone do sieci elektroenergetycznej.

Literatura

1. T. Bakoń, Technologie magazynowania i zastosowanie magazynów energii, „elektro.info” 6/2020, ss. 60–64.
2. T. Bakoń, Wybrane metody magazynowania energii i ich zastosowanie w systemie elektroenergetycznym, „elektro.info” 7–8/2020, ss. 74–77.
3. W. Banul, Wpływ generatorów fotowoltaicznych na rynek magazynów energii, Praca dyplomowa SGGW WIP 2022.
4. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych z dnia 23 kwietnia 2009 r.
5. European Commission, Energy Storage: Which Market Designs and Regulatory Incentives Are Needed?, [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/563469/IPOL_STU\(2015\)563469_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/563469/IPOL_STU(2015)563469_EN.pdf), 2015.
6. P. Rapacka, Magazyny energii wchodzą na ścieżkę dynamicznej ekspansji rynkowej, <https://globenergia.pl/magazyny-energii-wchodza-na-ścieżkę-dynamicznej-ekspansji-rynkowej>
7. Rynek fotowoltaiki w Polsce 2020, Raport Instytutu Energetyki Odnawialnej, <https://ieo.pl/pl/raporty>, 2020.
8. Ustawa o rynku mocy, Dz.U. z 2021 r. poz. 1854 z dnia 8 grudnia 2017 r.
9. K. Wiśniewski, D. Gręda, A. Skomorowska, T. Kowalak, K. Michałowska-Knap, Mapa drogowa rozwoju przemysłu fotowoltaicznego w Polsce do 2030 roku. Przemysłowy panel PV, Instytut Energetyki Odnawialnej, Warszawa 2020.
10. Polski rynek fotowoltaiczny w liczbach – stan na 30 czerwca 2020 roku, <https://www.emiter.net.pl/aktualnosci/polski-rynek-fotowoltaiczny-w-liczbach.html>.
11. Ruszyły inwestycje w polskie magazyny energii, <https://wysokienapiecie.pl/39276-ruszyly-inwestycje-w-polskie-magazyny-energii>.
12. <https://www.ure.gov.pl>.

ABSTRACT

Support of a photovoltaic generator by an energy storage
This article describes the current state and the possibilities of supporting of photovoltaic generators and installations by an energy storage. Potential benefits and limitations in the development of cooperation between these technologies were indicated and their market in Poland was described.
Keywords: photovoltaic, energy storage, solar power station.

Opracowano na podstawie materiałów firmy SOCOMEC POLSKA Sp. z o.o.

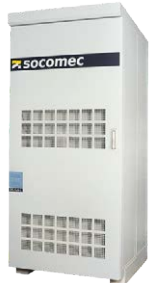
Socomec prezentuje nowe magazyny energii dla dużych mocy

do montażu na otwartym powietrzu

W ślad za sukcesem podstawowego wykonania magazynów SUNSYS HES L, wolnostojących magazynów energii dla mocy od 100 kVA do 600 kVA i pojemności od 186 kWh do 1674 kWh, Socomec jako specjalista w aparaturze łączeniowej, przetwarzaniu energii i monitorowaniu parametrów zasilania prezentuje kolejną wersję urządzeń SUNSYS HES XXL, będącą odpowiedzią na zapotrzebowanie dla systemów dużych mocy.

SUNSYS HES XXL jest przeznaczony do obsługi systemów magazynowania od 1 MVA mocy i 1 MWh pojemności do 6 MVA i 20 MWh w postaci pojedynczego systemu. Systemy można łączyć równolegle w celu dalszego zwiększania mocy. Rozwiązanie doskonale sprawdzi się w infrastrukturze lokalnej z funkcjonującymi instalacjami wytwarzania energii elektrycznej z OZE, jak i w celu stabilizacji sieci dystrybucji mocy.

W ramach rozwiązania SUNSYS HES XXL Socomec jest w stanie realizować systemy magazynowania energii wielkości kilkudziesięciu MW mocy, właściwych do pracy jako systemy przedlicznikowe (FTM) w lokalnych sieciach dystrybucji mocy.

			
C-Cab XXL – jednostka przemiennika	B-Cab XXL – jednostka baterii	M-Cab XXL – jednostka sterująca	DC-Cab XXL – jednostka przyłączeniowa DC
» Dwukierunkowy przemiennik mocy » 1,5 MVA mocy w pojedynczej szafie » Hybrydowe chłodzenie ciecz/powietrze » Praca On i Off-Grid » AC/DC rozdział i zabezpieczenia	» Technologia Li-ion (LFP) » 372 kWh w pojedynczej szafie » Chłodzenie cieczą » Zintegrowany system detekcji i gaszenia pożaru	» Sterowanie systemem ESS » Integracja z systemem BMS baterii » Moduł zdalnego zarządzania i komunikacji » Zasilanie potrzeb własnych » Automatyka PLC do realizacji funkcji sterujących dodatkowych i współpracy z zewnętrznym EMS » Ciągła rejestracja parametrów pracy baterii	» Przyłącza DC do jednostek baterii » Dla systemów HES XXL o liczbie jednostek baterii większej niż 8



wymagań związanych z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii, stabilizacją częstotliwości sieci, zapewnieniem rezerwy zasilania.

Skoncentrowany na bezpieczeństwie

System jest kompleksowo testowany i certyfikowany, włącznie z zapewnieniem bezpiecznych warunków eksploatacji zgodnych ze standardem UL9540. SUN-

SYS HES XXL, podobnie jak wersja L, bazuje na chłodzonych cieczą modułach bateryjnych Ene-rOne produkcji CATL, opartych na technologii LFP, zdolnych do wytrzymywania przeciążeń termicznych. Ponadto jednostki bateryjne posiadają wbudowane gazowe systemy detekcji i gaszenia pożaru dla zwiększenia poziomu bezpieczeństwa.

Usługi Expert services wspierające zarządzanie użytkowanymi magazynami

Oferta SUNSYS HES XXL jest połączona z kompleksowym pakietem usług serwisowych prowadzonych przez zespół ekspertów. W ramach tej oferty funkcjonuje przedsprzedażowe wsparcie umożliwiające precyzyjną analizę wymagań,

dobór właściwego rozwiązania i projekt techniczny. Zapewnione jest kompleksowe wsparcie techniczno-projektowe i realizacyjne prowadzone w porozumieniu z klientem, przeprowadzenie przez fazy testów i uruchomień, jak i zwykłą obsługę okresową i serwis urządzeń.

Oferowane przez Socomec kontrakty serwisowe i rozszerzenia gwarancji dla urządzeń dają możliwość podniesienia niezawodności i wydłużenia eksploatacji systemów. Codzienny nadzór i obsługa mogą być prowadzone w sposób zdalny i uproszczony ze wsparciem technologii akwizycji i analizy danych w chmurze, prowadzonych w trybie 24/7 za pomocą dedykowanych narzędzi i aplikacji cyfrowych – również dostępnych na urządzenia mobilne.

Uwaga! Falowniki obu systemów, tj. HES XXL i HES L, posiadają certyfikaty na zgodność z wymaganiami polskiego kodeksu sieciowego i są wpisane na listę PTPIREE.



SOCOMEK Polska Sp. z o.o.
02-823 Warszawa, ul. Salsy 2
tel. 22 825 73 60
info.scp.pl@socomec.com
www.socomec.pl



dr inż. Marta Żurek-Mortka – Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technologii Eksploatacji w Radomiu,
dr hab. inż. Jerzy Szymański, prof. Uczelni – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. K. Pułaskiego w Radomiu

Współpraca stacji ładowania pojazdów elektrycznych z magazynem energii i instalacją fotowoltaiczną

Dostępność infrastruktury do ładowania baterii pojazdów elektrycznych (EV) jest jednym z kluczowych czynników pozwalających rozwiązać obawy związane z zasięgiem, a zatem jest niezbędna do ułatwienia krótko- i długoterminowej absorpcji pojazdów elektrycznych oraz zrównoważonego rozwoju przemysłu motoryzacyjnego. Szacuje się, że do końca 2019 r. na całym świecie zainstalowano 870 000 publicznych i 4 miliony prywatnych ładowarek, obsługujących 8,1 miliona używanych pojazdów elektrycznych [1]. Na podstawie najnowszej edycji raportu Polskiego Stowarzyszenia Paliw Alternatywnych „Polish EV Outlook 2021” w Polsce do 2025 r. będzie funkcjonować ok. 43 tys. ogólnodostępnych punktów ładowania oraz od 90 do 115 tys. niepublicznych punktów [2].

STRESZCZENIE

W artykule zostały omówione rodzaje przekształtników energoelektronicznych i ich przeznaczenie w pojazdach elektrycznych z uwzględnieniem możliwości wykorzystania baterii pojazdu jako zasobnika energii dla przydomowej elektrowni fotowoltaicznej. Przedstawiono model i badania przekształtnika DC/DC do dostarczania energii z sieci zasilania 3x400 V/50 Hz do baterii litowo-jonowej pojazdu w różnych wartościach napięć roboczych.

Słowa kluczowe: pojazdy elektryczne, przekształtnik w pokładowej ładowarce, ładowanie baterii, słoneczne elektrownie domowe, zasobniki energii.

to dom lub mieszkanie), są teraz trudniejsze do uzasadnienia dla konsumentów na całym świecie. Rządy w Europie i Chinach oferują różne pakiety stymulacyjne i dostosowują politykę, aby nie dopuścić do załamania się sprzedaży. Z drugiej strony, dostrzegalna jest zwiększająca się dynamika sprzedaży, ponieważ konsumenci stają się bardziej świadomi korzyści płynących z czystego powietrza w miastach. Jednak sprzedaż nadal opiera się głównie na polityce rządów, a do powszechnego przyjęcia pojazdu elektrycznego konieczne jest zminimalizowanie kosztów jego produkcji i eksploatacji czy zwiększenie wydajności ogniw litowo-jonowych, nie zapominając o dostosowaniu infrastruktury sieci elektroenergetycznej zasilanych energią ze źródeł odnawialnych.

Zdecentralizowana struktura sieci elektroenergetycznej z odnawialnymi źródłami energii

Klasyczne systemy elektroenergetyczne XX wieku, w których energia elektryczna była wytwarzana w przeważającej mierze w centralnych elektrowniach i dostarczana do użytkowników za pomocą linii przesyłowych wysokiego napięcia oraz sieci dystrybucyjnych średniego i niskiego napięcia, jest niewystarczająca i wymaga modernizacji. Rosnące zapotrzebowanie na energię elektryczną jest jednym z współczesnych wyzwań dla rynku energii (rys. 1.). Rozwijający się sektor odnawialnych źródeł energii uwydatnia kolejne problemy systemu energetycznego, m.in. stochastyczny charakter produkcji. Źródła te są dostępne okresowo i silnie

zmienne w czasie, i uzależnione od warunków atmosferycznych. Kolejnym problemem jest podwyższanie napięcia sieci, z czym obecnie związany jest montaż przez prosumentów instalacji fotowoltaicznych o mocy do 100% wartości mocy przyłączeniowej. Taka sytuacja może spowodować przekroczenie wartości granicznych zadanych parametrów i wyłączenie falownika lub transformatora SN/nn przez zabezpieczenie lub wystąpienie uszkodzeń urządzeń przyłączonych do ww. sieci, przez co zakład energetyczny może zostać zobowiązany do naprawy szkód lub pokrycia kosztów ich likwidacji. Podobna sytuacja nastąpi, gdy konwencjonalne źródła wytwórcze przyjmą obniżoną wartość produkcji ze względu na przewidywaną produkcję energii z systemów fotowoltaicznych i elektrowni wiatrowych – wystąpienie jej niedoboru powoduje spadek napięcia w sieci i zanik zasilania. Aby zaradzić występowaniu fluktuacji prowadzących do destabilizacji całego systemu elektroenergetycznego stosuje się magazyny energii oraz inteligentne sieci (*smart grid*). Stosowanie tego rozwiązania w przyszłości jest pewne i niezbędne głównie w związku z rozwojem elektromobilności, ponieważ ładowanie pojazdów elektrycznych czy maszyn roboczych wiąże się z przekazywaniem dużej energii w krótkim czasie, co również wpływa niekorzystnie w dużym stopniu na system dystrybucji energii. Z kolei skoncentrowanie generacji rozproszonej w jeden, logicznie połączony system, zwiększy efektywność techniczną i ekonomiczną wytwarzania energii elektrycznej. Generacja rozproszona, położona w bezpośrednim sąsiedztwie odbiorców energii, może wykorzystywać i łączyć ze sobą lokalne zasoby paliw, w tym biopaliw i energii ze źródeł odnawialnych, oraz zasobniki energii elektrycznej (zbiorniki wodne, akumulatory), które sterowane są zdalnie za pomocą rozbudowanego systemu informatycznego.

Floty pojazdów elektrycznych, takie jak autobusy i ciężarówki, wymagają zróżnicowanych rozwiązań infrastruktury ładowania niż w przypadku floty elektrycznych samochodów osobowych – od przygotowania traktacji prądu stałego przystosowanej do poboru dużej mocy do punktów wymiany zestawów akumulatorów (ang. *battery swapping*). Choć ładowanie akumulatorów floty pojazdów elektrycznych stanowi około 3% całkowitej wielkości infrastruktury ładowania, stanowi to ponad 20% całkowitej wartości rynkowej ze względu na dodatkowe koszty związane z wymaganiami dotyczącymi dużej mocy [3].

Zapotrzebowanie na magazynowanie energii

Magazynowanie energii jest istotnym aspektem umożliwiającym trwającą elektryfikację sektorów o wysokiej emisji dwutlenku węgla (przemysł motoryzacyjny, elektrownie, elektrociepłownie oraz ciepłownie). Rozwój w zakresie magazynowania energii jest napędzany przez zwiększone wykorzystanie pojazdów elektrycznych i bilansowanie sieci OZE w celu dostarczania energii w okresach niskiej produkcji energii z elektrowni słonecznych i wiatrowych.

Energooszczędne technologie akumulatorów m.in. litowo-jonowych, stworzyły nowe możliwości wykorzystania ich w przenośnych urządzeniach elektronicznych, mobilności elektrycznej czy stacjonarnego przechowywania. Prognozuje się, że zapotrzebowanie na akumulatory litowo-jonowe wyniesie ponad 2500 GWh dla samych pojazdów elektrycznych [4]. Jednak upowszechnienie akumulatorów litowo-jonowych nie jest pozbawione kosztów – nadal stwarzają problemy zarówno technologiczne, jak i środowiskowe, które powoli są eliminowane poprzez zmiany w projektowaniu akumulatorów. Na przykład zastosowanie architektury napięcia 800 V w pojeździe elektrycznym zostało przyjęte przez wielu producentów OEM [4], ze względu na możliwość szybkiego ładowania i bardziej wydajnej pracy akumulatora. Jednak nadal niezbędna jest infrastruktura ładowania, aby w pełni to wykorzystać, ponieważ akumulator będzie musiał pobierać zwiększone moce szybkiego ładowania. Co za tym idzie, istotne będzie zapewnienie wzmocnionej izolacji elektrycznej zestawu akumulatorów.

Innowacje technologiczne w falownikach i silnikach, takie jak przejście na tranzystory MOSFET z węgla krzemu i architektury napięcia 800 V, mają do odegrania ważną rolę w kwestii parytetu cenowego i różnicowania produktów w miarę dojrzewania rynku, z możliwością zwiększenia zasięgu do 10% bez ingerencji w strukturę akumulatora, a także umożliwić ultraszybkie ładowanie, np. mocą 350 kW dc [1].

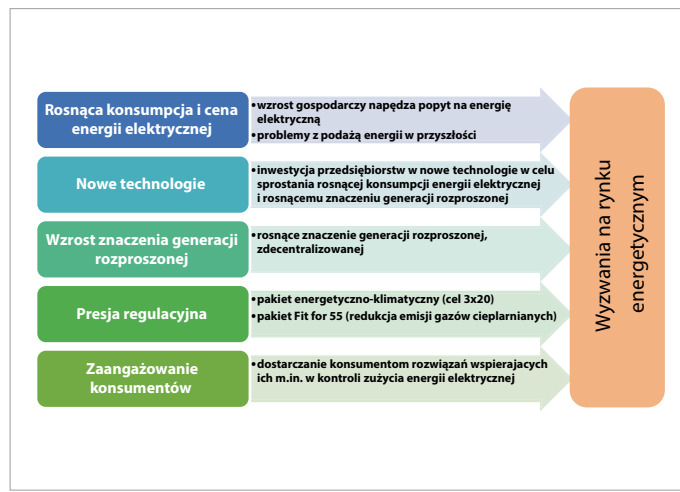
Badane są również projekty akumulatorów typu cell-to-pack (CTP) [3], [5]. W tym przypadku zwiększona wydajność pakietów ogniw może wspomóc ograniczenie redukcji gęstości energii wynikającej ze struktury katod baterii LFP (elektroda dodatnia jest litowo-żelazowo-fosforanowa (LiFePO₄), a elektroda ujemna grafitowa) [4]. Istnieje wyraźny trend w kierunku materiałów katodowych o wyższej zawartości niklu NMC i NCA, aby poprawić gęstość energii akumulatorów

litowo-jonowych (w rezultacie także zasięg pojazdów elektrycznych), ale jednak mogą nie być powszechnie stosowane ze względu na politykę zrównoważonego rozwoju dla surowców pierwotnych. Przedsiębiorstwa, takie jak BYD, CATL, Tesla i Stellantis ogłaszają zamiar stosowania katod LFP (bądź LMFP jak w przypadku Stellantis) w połączeniu z projektami akumulatorów CTP [5]. Dość ważną kwestią pozostaje modularność, ponieważ większość producentów zestawów baterii w Europie i Ameryce Północnej oferuje rozwiązania modułowe. Dodatkowa redundancja i możliwość naprawy akumulatorów nabierają większego znaczenia w sektorach komercyjnych, podczas gdy ich modułowa konstrukcja umożliwi również producentom zestawów baterii łatwiejszą obsługę. Poza tym, istotnymi kwestiami są konstrukcja ogniwa (celli) i współczynnik kształtu, elektrolity stałe, wybór materiałów anodowych, materiałów termoprzewodzących czy systemów zarządzania zestawami baterijnymi, które stanowią część ekosystemu projektowania akumulatorów z licznymi możliwościami poprawy wydajności, kosztów i bezpieczeństwa akumulatorów i pojazdów elektrycznych.

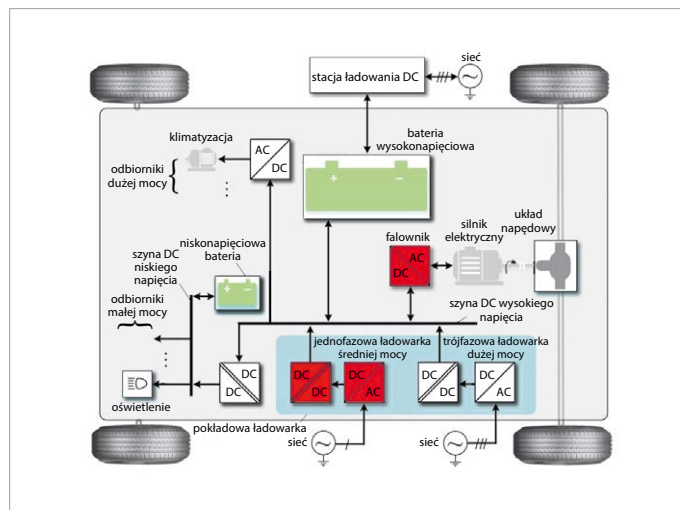
Topologie ładowarki pokładowej i stacjonarnej

W celu wyjaśnienia udziału energoelektroniki w systemie zasilania pojazdu elektrycznego energią elektryczną, omówiono przekształtniki energoelektroniczne stosowane w pojeździe elektrycznym. **Rysunek 2.** przedstawia schemat blokowy typowej architektury systemu zasilania elektrycznego w pojeździe elektrycznym. W tym przypadku wysokie napięcie szyny dc mieści się zwykle w zakresie 250–450 V dc w zależności od wykorzystywanego napięcia baterii wysokonapięciowej, a szyna dc niskiego napięcia ma wartość znamionową 12/48 V dc. Ładowarka pokładowa jest istotną częścią pojazdu oraz pełni dwie główne role: ładowanie baterii przez główną sieć energetyczną oraz zapewnienie korekty współczynnika mocy cos φ (PFC) blisko 0,99, przy niskim poziomie zakłóceń powodowanych harmonicznymi [6].

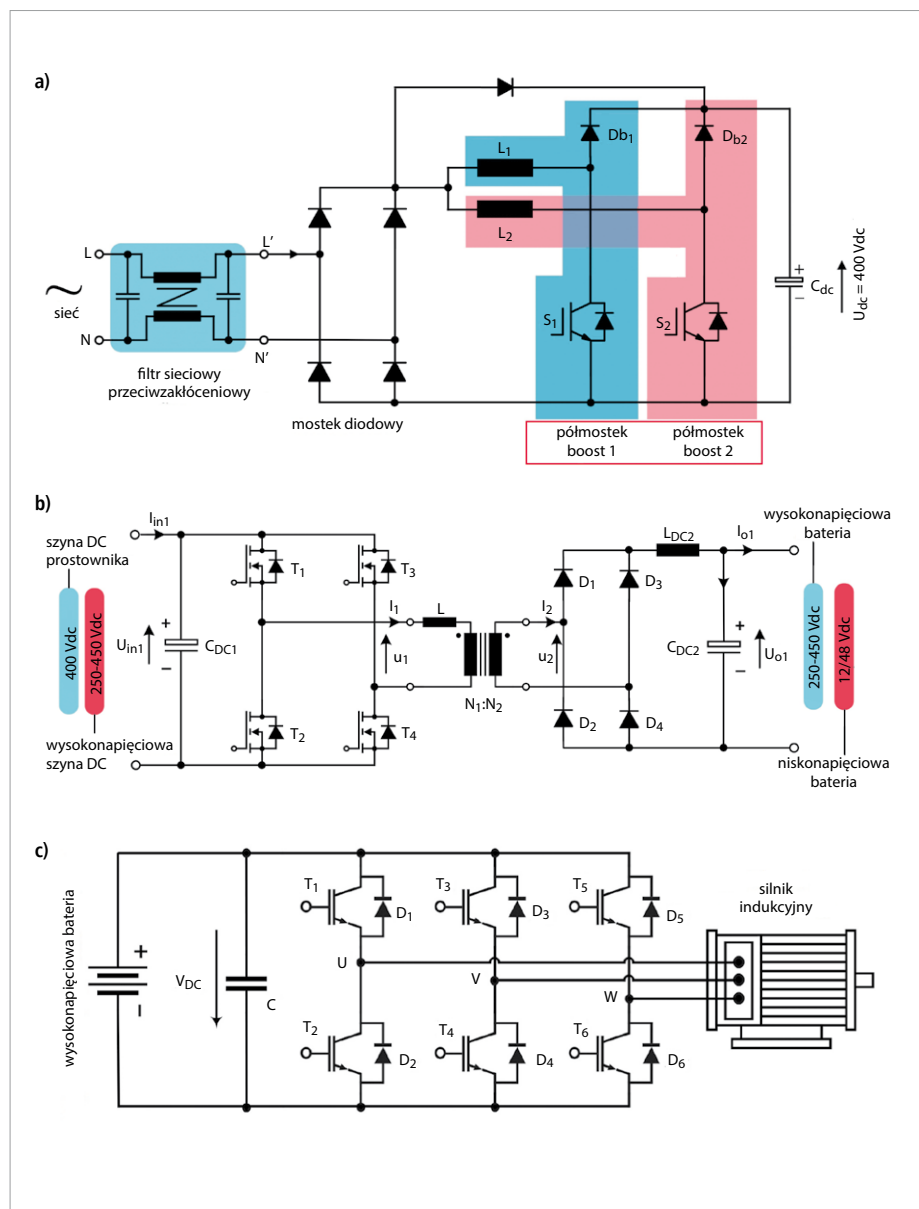
Moc ładowania baterii zależy od mocy dostępnej w sieci elektroenergetycznej, do której przyłączone jest stanowisko ładowania. Jednofazowa ładowarka pokładowa może mieć moc do 19,2 kW. Jednak bardziej odpowiednie jest zastosowanie trójfazowej ładowarki dla poziomów mocy powyżej 7,4 kW ze względu na liczbę komponentów i obciążenie prądowe sieci elektroenergetycznej. Większość pojazdów



Rys. 1. Wyzwania stojące przed rynkiem energetycznym
rys. M. Żurek-Mortka, J. Szymański



Rys. 2. Schemat instalacji elektrycznej w pojeździe elektrycznym [6]



Rys. 3. Schemat blokowy przekształtników ładowarki pokładowej i DC/DC: a) jednofazowa AC/DC w topologii PFC, b) izolowany przekształtnik DC/DC z jednokierunkową konfiguracją PSFB, c) półmostkowy falownik trójfazowy do napędu silnika prądu przmiennego (napęd główny pojazdu EV) rys. M. Żurek-Mortka, J. Szymański

elektrycznych na całym świecie wykorzystuje obecnie pokładową ładowarkę jednofazową w zakresie mocy od 6,6 do 7,4 kW [6].

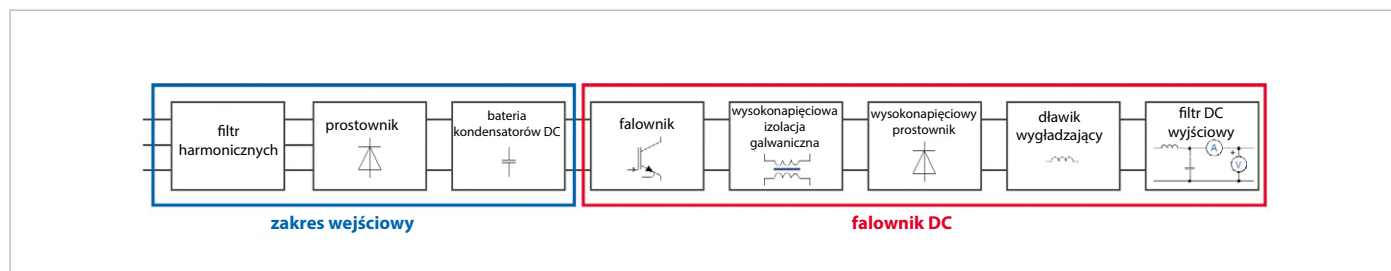
Rysunek 3a przedstawia najpopularniejszą jednofazową topologię ładowarki pokładowej (ang. *interleaved boost with power factor correction*). Chociaż ta topologia charakteryzuje się

większą wydajnością i mocą w porównaniu z pojedynczym półmostkiem boost, to wymaga większej liczby komponentów, co może prowadzić do obniżonej niezawodności. Ponieważ każdy stopień wzmacniający (półmostek boost) jest zaprojektowany do obsługi połowy mocy znamionowej, może on zapewnić redundancję

systemu, jeśli jeden stopień wzmacniający ulegnie awarii. Dzięki temu ładowarka może kontynuować ładowanie baterii „wysokonapięciowej” połową swojej mocy znamionowej. Obecnie trwają prace badawczo-rozwojowe nad bardziej zaawansowanymi topologiami, takimi jak totem-pole IBWPFC z urządzeniami o szerokim paśmie wzbronionym (WBG – ang. *wide band-gap*), w celu dalszej poprawy wydajności i gęstości mocy ładowarki pokładowej. Trend zmierza w kierunku ładowania dwukierunkowego, w którym pojazd elektryczny/hybrydowy może wspierać sieć energetyczną, dostarczając energię akumulatora z powrotem do sieci.

Rysunek 3b przedstawia topologię przekształtnika dc/dc z izolacją galwaniczną i jest ona często stosowana w pojazdach elektrycznych. Dla zapewnienia separacji galwanicznej jest tu wykorzystywany jednofazowy wysokoczęstotliwościowy transformator separacyjny. Przekształtnik dc/dc jest stosowany w dwóch etapach. Pierwszym z nich jest ładowanie akumulatora z prostownika. Na tym etapie przekształtnik dc/dc powinien dostarczać napięcie do szyny (mikrosieci) wysokiego napięcia dc (np. typowo 250–450 V dc). Drugi przekształtnik dc/dc, oparty na tej samej topologii, jest przystosowany do zasilania napięciem szyny niskonapięciowej dc, która może mieć napięcie 12 lub 48 V dc w zależności od rodzaju baterii niskonapięciowej pojazdu (**rys. 2.**). Ze względu na wymagania bezpieczeństwa przekształtnik dc/dc powinien izolować sieć energetyczną od wysokonapięciowej mikrosieci dc oraz z kolei tę mikrosieć dc od niskonapięciowej mikrosieci dc.

Przekształtnik pełnomostkowy dc/ac z transformatorem separacyjnym, może wykorzystywać sieć rezonansową dla zapewnienia bezstratnego przełączania tranzystorów MOSFET, np. przełączania w zerze napięcia ZVC (ang. *zero voltage switching*), opartej na szeregowym przetworniku rezonansowym SRC, (ang. *series resonant circuit*). Alternatywną metodą jest dostosowanie indukcyjności rozproszenia transformatora (może być wymagana dodatkowa indukcyjność), która jest znana jako przekształtnik



Rys. 4. Schemat stacji ładowania DC [7]

z pełnomostkowy z przesunięciem fazowym (PSFB – ang. *phase shift full bridge converter*) [6].

Na **rysunku 3c** przedstawiono falownik napięciowy do zasilania silnika pojazdu elektrycznego. Falownik, poprzez zastosowanie metody szerokości impulsów (MSI lub z ang. PWM – *Pulse Width Modulation*) do kształtowania trójfazowego napięcia wyjściowego, steruje prędkością obrotową silnika zapewniając odpowiednią częstotliwość napięcia i momentem napędowym silnika poprzez zadawanie odpowiedniej wartości skutecznej napięcia zasilania silnika. Moc bierna silnika indukcyjnego pojazdu krąży tutaj pomiędzy silnikiem i baterią kondensatorów umieszczonych na zasilaniu dc falownika. W przewodzeniu prądu biernego uczestniczą diody zwrotne dołączone przeciwnolegle z tranzystorami IGBT (ang. *insulated gate bipolar transistor*) falownika.

Falownik z transformatorem separacyjnym i prostownikiem wysokoczęstotliwościowym

Rysunek 4. przedstawia ogólny schemat stacji szybkiego ładowania, która zwykle pracuje w trybie ładowania 4 z obudową przyłączeniową „C” zgodnie z normą IEC 61851-1 (VDE0122-1). Oznacza to, że kabel i wtyczka po-

jazdu są zamocowane na stałe w stacji ładowczej. Stacja ładowania dc spełnia specyfikację CHAdeMO, a także spełnia wymagania bezpieczeństwa CE.

Podstawowym elementem stacji szybkiego ładowania jest ładowarka dc z nowoczesną energoelektroniką, w której można ustawić napięcie ładowania. Tranzystory IGBT przełączające się z częstotliwością 20 kHz działają prawie bezgłośnie, ponieważ ich częstotliwość robocza wykracza poza zakres, który większość ludzi jest w stanie usłyszeć. Wysokiej jakości filtry dcpo stronie wyjściowej ładowarki zapewniają tłumienie szczytkowych wartości składowych prądów w napięciu wyprostowanym. Izolacja elektryczna zapewnia bezpieczną izolację pomiędzy siecią zasilającą a napięciem ładowania dc. Dodatkowo obwód ładowania dc jest zwykle wyposażony w urządzenie monitorujące izolację. Z technicznego punktu widzenia dławik wygładzający i obwód filtra prądu stałego zapewniają redukcję napięć zakłócających, które obciążają akumulator pojazdu i mogą powodować przyspieszone jego starzenie się [7].

Przykładowy model przekształtnika dc/dc z separacją galwaniczną w celu izolacji sieci zasilania od stałonapięciowej mikrosieci napięcia wysokiego

lub niskiego pojazdu elektrycznego przedstawia **rysunek 5**.

Rysunek 5a przedstawia model obwodu mocy przekształtnika dc/dc z wykorzystaniem falownika i transformatora separującego wraz z grafem stanów sterowania jednobiegunowego falownika. Falownik pełnomostkowy jest tu zasilany z prostownika trójfazowego dołączonego do sieci napięcia przemiennego 3×400 V/50 Hz, dlatego jest on zasilany napięciem stałym E2 = 560 V. Napięcie zasilania falownika E2 po pośrednim przekształceniu na jednofazowe napięcie przemiennie o częstotliwości 2 kHz jest transformowane na stronę wtórną transformatora separacyjnego i następnie jest ono prostowane diodą D6 (**rys. 5b**). Napięcie na obciążeniu R3 musi mieć wartość zależną od przekładni transformatora i współczynnika gładkości modulacji M i wynosi VM5 = 400 VDC. Współczynnik modulacji w danym przypadku wynosi 1 (**rys. 5c**).

Współpraca stacji ładowania pojazdów elektrycznych z instalacją fotowoltaiczną i magazynem energii

W cyklu 24-godzinny system fotowoltaiczny (PV) generuje pewną ilość energii

REKLAMA



UPS, ZESPOŁY PRĄDOTWÓRCZE

pobierz bezpłatny poradnik i dowiedz się więcej



E_{PV} – rys. 6. Część tej energii trafia do sieci. Nadmiarowa energia uzyskana z systemu fotowoltaicznego jest wykorzystywana do ładowania magazynu energii E_{ES}^{CH} (ES – ang. *energy storage*), zamiast jej ograniczania, gdy moc wyjściowa systemu PV jest wysoka w ciągu dnia. Ta zmagazynowana energia jest następnie odprowadzana do sieci E_{ES}^{DISCH} , gdy moc wyjściowa systemu PV jest mała lub zerowa w nocy. Systemy PV i ES są umieszczane w tym samym miejscu, aby uniknąć strat energii w sieci podczas ładowania jednostki ES. Uogólniając, równanie bilansu całkowitej mocy wyjściowej głównych składowych można opisać jako model mocy. Wyrażenie to przedstawia moc OZE w okresie, np. 1 roku.

$$\int_0^T p_{PV}(t)dt = \sum_{i=1}^n \int_0^T p_i(t)dt + \int_0^T p_{ES}(t)dt \quad (1)$$

gdzie:

$T = 1$ rok,

i – liczba punktów ładowania akumulatorów pojazdów EV,

$p_{PV}(t)$ – moc elektrowni fotowoltaicznej,

$p_{li}(t)$ – moc stacji ładowania EV,
 $p_{ES}(t)$ – moc magazynu energii.

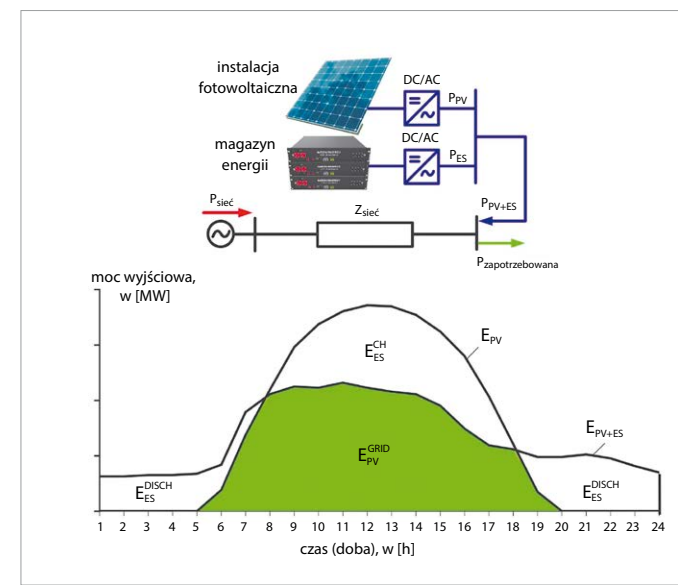
Rysunek 7. przedstawia kwartalną produkcję energii przez dachową elektrownię fotowoltaiczną o mocy 6 kW_p w słoneczne dni, gdzie maksymalne nasłonecznienie latem wynosi około 1 kW/m^2 przy 16 godzinach na dobę i zimą $0,1 \text{ kW/m}^2$ przy 8 godzinach słonecznych na dobę. Uwzględnione jest magazynowanie energii i dostarczanie jej do odbiorów podłączonych do mikrosieci prądu stałego lub do sieci prądu przemiennego. Roczna produkcja energii w elektrowni fotowoltaicznej wynosi około 6 MWh (w polskich realiach koszt takiej instalacji wynosi ok. $1000 \text{ USD}/1 \text{ kW}_p$). Dzięki tej małej elektrowni fotowoltaicznej, we wskazanym okresie (od 2018 roku) udało się zredukować ponad 22 ton dwutlenku węgla, co znajduje odzwierciedlenie również w obsadzeniu ok. 260 drzew. Zakładając, że np. małe przedsiębiorstwo posiada 1 samochód elektryczny, który zużywa maks. $20 \text{ kWh}/100 \text{ km}$ (np. Ford E-Transit) i ma roczny przebieg maks. $30\,000 \text{ km}$, dana elektrownia słoneczna jest

w stanie zaspokoić zapotrzebowanie na energię do ładowania tego pojazdu. Podobne założenia można przyjąć i skalować w zależności od floty pojazdów elektrycznych w przedsiębiorstwie, profilu zużycia energii elektrycznej czy rodzaju działalności przedsiębiorstwa (usługi, produkcja itp.).

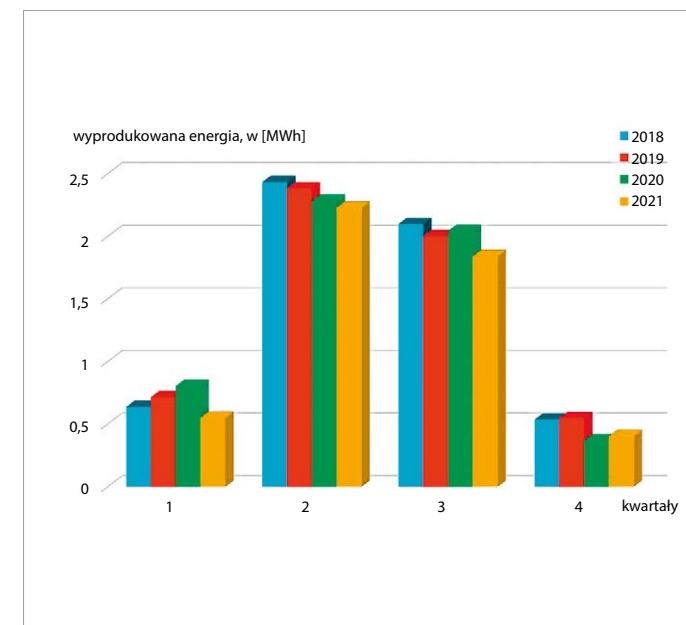
Minimalna energia E_{minPVr} powinna być dostarczana przez OZE w ciągu roku do ładowania akumulatorów pojazdów elektrycznych i nie powinna być mniejsza niż energia wymagana dla stacji ładowania E_{lr} , co przedstawia wyrażenie (2):

$$E_{minPVr} \geq E_{lr} \quad (2)$$

Pojazdy elektryczne są integralną częścią takiej mikrosieci, w której mogą pełnić funkcję zarówno odbiorników, jak i źródeł energii. Praca systemu jest kontrolowana przez system zarządzania, który realizuje funkcje monitorowania, diagnostyki i sterowania pracą mikrosieci. Funkcją docelową może być minimalizacja kosztów, a dzięki możliwości magazynowania możliwa jest długoterminowa optymalizacja. Dzięki pro-



Rys. 6. Zasilanie hybrydowe stacji ładowania z wykorzystaniem elektrowni słonecznej PV i magazynu energii ES: schemat połączeń oraz zapotrzebowanie dobowe na energię odnawialną z magazynu energii i instalacji fotowoltaicznej
rys. M. Żurek-Mortka, J. Szymański



Rys. 7. Kwartalna produkcja energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznej o mocy 6 kW_p (dane rzeczywiste) rys. M. Żurek-Mortka, J. Szymański

gnozowaniu operator mikrosieci może zarządzać przepływem energii elektrycznej, maksymalizując zyski.

I Podsumowanie

Elektroniczne układy sterowania mocą stanowią kluczową technologię w pojazdach elektrycznych, a w energoelektronice pierwszym warunkiem ewolucji jest rozwój komponentów. Artykuł przedstawia przegląd wybranych topologii przekształtników energoelektronicznych stosowanych w pojazdach elektrycznych oraz opis kluczowych komponentów systemu zasilania stacji EV, tj. elektrowni słonecznej i magazynu energii, współpracujących ze stacją ładowania baterii EV. Oczekuje się, że liczba pojazdów elektrycznych na drogach będzie nadal rosła w ciągu najbliższych dziesięcioleci z powodu różnych czynników, głównie ze względu na szybki postęp w technologii EV i akumulatorów. Przedłużający się proces ładowania akumulatorów, który jest jednym z głównych problemów wpływających na zwiększoną penetrację pojazdów EV i sprawia, że jednostki szybkiego ładowania są bardziej atrakcyjną i wydajną opcją dla stacji ładowania. Mikrosieci zawierające odnawialne źródła energii są wykorzystywane w odległych obszarach na całym świecie. Jednak przerywana energia może powodować duże wahania częstotliwości w mikrosieci. Aby temu zapobiec, prowadzone są nadal badania, m.in. nad strategiami sterowania mikrosiecią prądu stałego obejmującą stację szybkiego ładowania pojazdów elektrycznych i jednostki generacji rozproszonej w celu zbadania wpływu na

sieć oraz ich potencjalnego wkładu w pracę całego systemu w przypadku uwzględnienia technologii pojazd-do-sieci (V2G). Duży wybór urządzeń do ładowania baterii EV pod względem ich realizacji technicznej nie pozwala na prognozowanie zakłóceń w sieci, więc nie istnieje dotychczas ogólne rozwiązanie problemu polegające np. na pasywnym/aktywnym filtrowaniu generowanych składowych harmonicznych. Odpowiednio zaprojektowany i zrealizowany musi być cały łańcuch związany z montażem stacji ładowania: od analizy potrzeb i projektu instalacji elektrycznej, przez jej zbudowanie, po zakup odpowiedniej ładowarki, jej instalację i integrację z aplikacją do rozliczeń i monitoringu technicznego oraz z mikrosiecią z OZE i magazynem energii. Rozwiązanie zasilania stacji ładowania EV źródłami OZE i wspomagającym jej zasilanie magazynem energii może być szansą na szybki rozwój infrastruktury do ładowania, szczególnie w miejscach, gdzie tradycyjne wykonanie będzie trudne i nie będzie uzasadnione ekonomiczne.

I Literatura

1. Charging Infrastructure for Electric Vehicles and Fleets 2021-2031, IDTechEx Research Report, <https://www.idtechex.com/en/research-report/charging-infrastructure-for-electric-vehicles-and-fleets-2021-2031/775>.
2. <https://pspa.com.pl/2021/informacja/blisko-50-tys-ogolnodostepnych-punktow-ladowania-w-polsce-do-2025-r/>.
3. Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles 2021-2031, IDTechEx Research Report,

<https://www.idtechex.com/en/research-report/lithium-ion-batteries-for-electric-vehicles-2021-2031/814>.

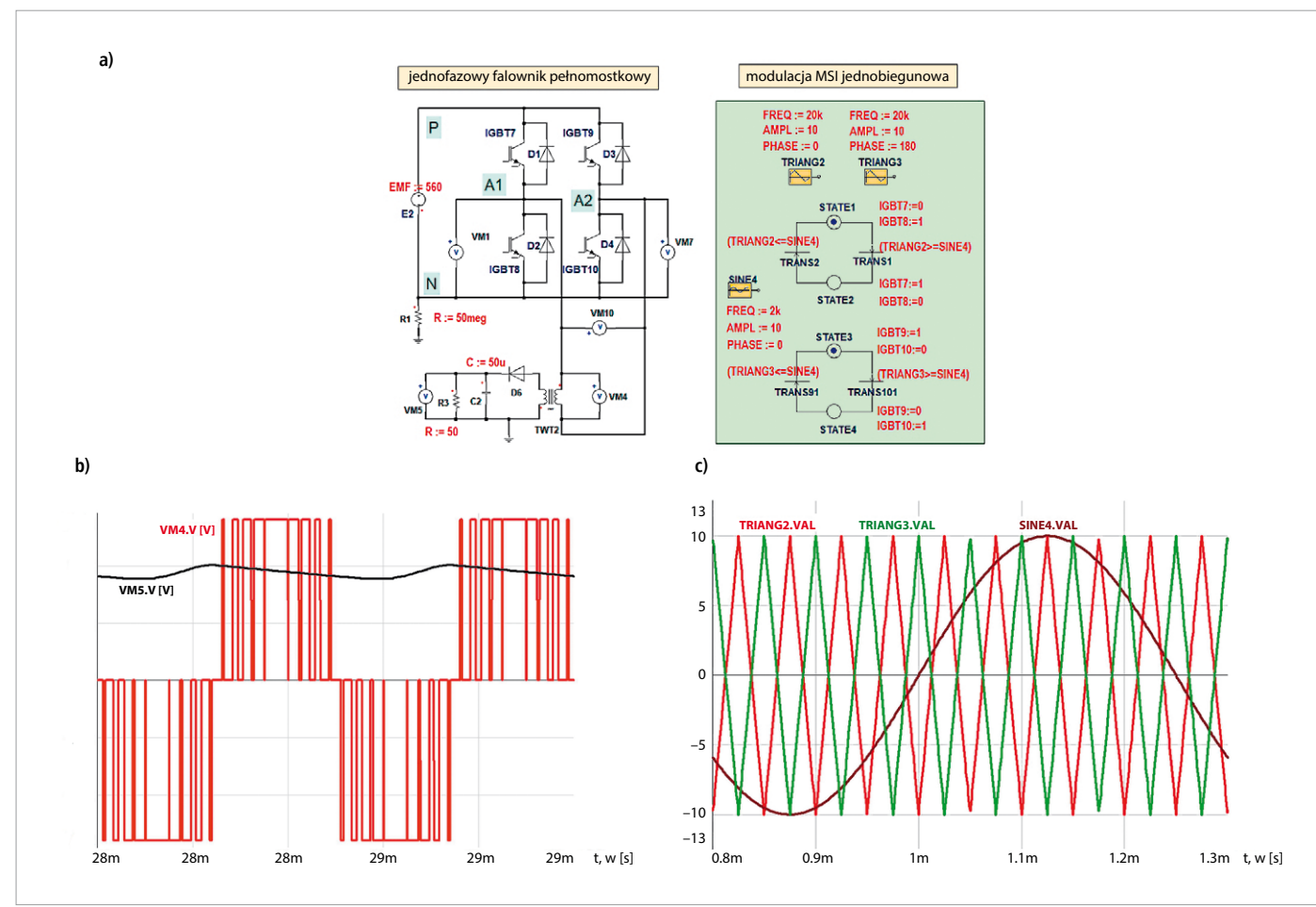
4. Materials for Electric Vehicle Battery Cells and Packs 2021-2031, IDTechEx Research Report, <https://www.idtechex.com/en/research-report/materials-for-electric-vehicle-battery-cells-and-packs-2021-2031/796>.
5. <https://www.idtechex.com/en/research-article/many-trends-to-track-for-li-ion-batteries-in-electric-vehicles/24503>.
6. F. Blaabjerg, H. Wang, I. Vernica, B. Liu, P. Davari, Reliability of Power Electronic Systems for EV/HEV Applications, Proceedings of the IEEE (Volume: 109, Issue: 6, June 2021), DOI: 10.1109/JPROC.2020.3031041
7. Technical Series Edition 9, Electrical infrastructure for e-car charging stations. Siemens, www.siemens.com/tip-cs.

ABSTRACT

Cooperation of electric vehicle charging stations with an energy storage and a photovoltaic installation

The types of power electronic converters and their purpose in electric vehicles have been discussed taking into account the possibility of using the vehicle's battery as energy storage for a home PV power plant. The paper presents a model and tests of a DC/DC converter for supplying energy from a 3x400 V/50 Hz power grid to a vehicle's Li-ion battery at various operating voltages of this battery.

Keywords: electric vehicles, on-board converter, battery charging, solar domestic power plants, energy storage.



Rys. 5. Model pokładowego przekształtnika DC/DC (rys. 2.) pojazdu elektrycznego: a) falownik pełnomostkowy z transformatorem i prostownikiem wysokoczęstotliwościowym oraz graf stanów sterowania jednobiegunowego MSI falownika, b) napięcie zasilania strony pierwotnej separującego transformatora ferrytowego o częstotliwości 2 kHz (VM4) oraz napięcie wyprostowane 400 V (VM5), c) napięcia sterujące falownikiem MSI z rysunku 5a i uwzględnione w grafie stanów z rysunku 5b
rys. M. Żurek-Mortka, J. Szymański

Nowa rodzina zasilaczy PowerWalker UPS VFI EVS 5 kVA z magazynami energii

Seria PowerWalker VFI EVS to nowa generacja zasilaczy UPS, oferująca długi czas podtrzymania dzięki zastosowaniu baterii LiFePO₄ o 40% mniejszej masie i wymiarach w odniesieniu do klasycznych baterii kwasowo-ołowiowych. Zastosowana topologia podwójnej konwersji (VFI-SS-311) gwarantuje najwyższy poziom bezpieczeństwa, a wyspecjalizowane układy utrzymują współczynnik mocy PF na poziomie >0.99. Oczywiście zależy on od podłączonych urządzeń odbiorczych. Wszelkie informacje o stanie UPS widoczne są na wbudowanym wyświetlaczu LCD, który dodatkowo pozwala na intuicyjną konfigurację urządzenia.

PowerWalker jest marką należącą do BlueWalker GmbH, firmy założonej w 2004 w Neuss. Jako doświadczony i profesjonalny dostawca zasilaczy UPS, regulatorów napięcia i inwerterów marki PowerWalker jest dostępny w całej Europie. Portfolio produktów to ponad 300 modeli, od urządzeń domowych, poprzez biurowe i serwerowe, aż do rozwiązań dedykowanych dla przemysłu.

Bogata oferta akcesoriów i modułów baterii pozwala na zastosowanie produktów w wielu rozwiązaniach. Nasze produkty przechodzą dokładny, czterostopniowy proces kontroli jakości w fazie produkcji podzespołów, montażu, testów gotowego produktu i przed wprowadzeniem na rynek. Z dumą oferujemy produkty wysokiej jakości z najlepszym współczynnikiem cena/jakość.

Główne cechy UPS VFI EVS 5kVA

PowerWalker VFI 5000 EVS to seria zasilaczy UPS on-line z technologią podwójnej konwersji, zaprojektowana w celu ochrony sprzętu o znaczeniu krytycznym. Taka topologia umożliwia pracę z siecią elektroenergetyczną o napięciu od 176 do 280V przy obciążeniu 100%, zapewniając na wyjściu UPS-a sinusoidę 230V ±1% o częstotliwości 50 ±0,1 Hz. Pozwala to na nieprzerwaną pracę urządzeń pamięci masowych, systemów IT w bankach i systemów CCTV. PowerWalker VFI EVS może pracować równolegle do 9 jednostek o mocy 5 kVA każda, które będą podłączone do wspólnych modułów bateryjnych. Przy zastosowaniu co najmniej trzech jednostek możemy zbudować trójfazowy zasilacz UPS.

Mimo masy tylko 14,2 kg ma bardzo wydajną ładowarkę (do 60 A), która może obsługiwać nie tylko tradycyjne akumulatory kwasowo-ołowiowe, ale jest również kompatybilna z pakietami akumulatorów litowych. Jest to szczególnie przydatne w przypadku aplikacji wymagających tworzenia kopii zapasowych dużych zbiorów danych.



Szafa z dwoma modułami baterijnymi LiFePO₄ i PDU – LiFe 48-100

Dostępny jest na rynku w trzech opcjach:

- » EVL: pakiet zasilacz UPS + moduł baterijny z akumulatorami litowo-jonowymi BP; w tym jeden moduł akumulatora LiFe (wymaga karty BMS),
- » EVA: pakiet zasilacz UPS + moduł baterijny z akumulatorami ołowiowymi BP,
- » EVS: zasilacz UPS bez akumulatora.

Dla zasilaczy serii PowerWalker VFI 5000 EVS oferujemy specjalny system magazynowania

energii (ESS). System akumulatorów PowerWalker LiFe to modułowy (do 10 modułów) i skalowalny zestaw akumulatorów LiFePO₄, kompatybilny ze wszystkimi naszymi falownikami 48 V. System magazynowania energii (ESS) ma stosunkowo małą masę i kompaktowe wymiary – około 40% mniej niż standardowe akumulatory kwasowo-ołowiowe. Zmniejsza to problemy z obciążalnością stropów w istniejących budynkach, które łatwo zaadaptować na potrzeby umieszczenia w nich tzw. serwerów do przetwarzania brzegowego (ang. *edge computing*) wraz z zasilaczem UPS o odpowiednio długim podtrzymaniu baterijnym.

Z myślą o magazynach energii

Nasze moduły bateryjne z akumulatorami LiFePO₄ wyposażone są w ogniwa, których cykl życia to co najmniej 10 lat. W tym czasie może

nastąpić nawet 8000 cykli ładowania. Warunkiem jest rozładowywanie akumulatorów do 60% pojemności prądem 1C i ładowaniu prądem 0,2C. Natomiast w przypadku głębokiego rozładowania, do 90% pojemności prądem 1C i ładowaniu prądem 0,2C, gwarantujemy co najmniej 2000 cykli ładowania. Z tego powodu ładowarka wbudowana w zasilacz posiada system optymalizacji procesu ładowania i rozładowywania baterii akumulatorów (OBM – *Optimized Battery Management*). Dodatkowo technologia LiFePO₄ z wbudowanym w moduły bateryjne systemem zarządzania bateriami (BMS – *Battery Management System*) zapewnia bezpieczeństwo i niezawodność, gdyż w trakcie ładowania nie jest wydzielany wodór, który wraz z powietrzem mógłby wytworzyć atmosferę wybuchową. Ogniwa LiFePO₄ są praktycznie niepalne, dopóki nie zostanie przedziurawiona mechanicznie obudowa.

Według naszych doświadczeń czas podtrzymania wzrasta praktycznie liniowo dla danego obciążenia przy zwiększaniu liczby modułów bateryjnych co obrazuje tabela 1.

Dla klientów indywidualnych i firm oferujemy również możliwość szybkiego ładowania pojazdów elektrycznych maksymalnym

Moduł baterijny	Liczba modułów	Moc podłączonych urządzeń, w [W]									
		250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2500	3000
LiFe 48-100	1	1080	540	360	270	216	180	157,5	135	108	90
LiFe 48-100	2	2160	1080	720	540	432	360	315	270	216	180
LiFe 48-100	3	3240	1620	1080	810	648	540	472,5	405	324	270
LiFe 48-100	4	4320	2160	1440	1080	864	720	630	540	432	360

Tab. 1. Czasy podtrzymania w minutach w zależności od liczby modułów bateryjnych LiFe 48-100

prądem 150 A. Natomiast w zakresie prądów wyjściowych od 150 do 300 A wymagane jest zastosowanie PDU dla układu akumulatorów LiFePO₄. Zalecamy jednak ładowanie pojazdów elektrycznych mniejszymi prądami, co znacznie zwiększy żywotność akumulatorów w magazynie i wpłynie pozytywnie na środowisko.

Korzyści dla użytkownika

Jednostki UPS mogą współdzielić podłączone moduły Battery Pack. Produkt posiada zaawansowaną ładowarkę z technologią OBM, która znacznie wydłuża żywotność podłączonych baterii. Moc wyjściowa UPS wynosi 5 kW, ale UPS może być obsługiwany równolegle z maksymalnie 9 jednostkami, potencjalnie zwiększając jego moc do 45 kW! Jednostki zasilaczy awa-

ryjnych są jednofazowe, ale można je podłączyć w konfiguracji trójfazowej, gdy działają co najmniej 3 jednostki.

Najważniejszą cechą wyróżniającą ten model UPS jest ładowarka 60 A, która pozwala na pracę z zewnętrznymi stelażami baterijnymi, w tym z bateriami LiFePO₄! UPS VFI EVS wraz z naszym bankiem energii PowerWalker LiFe Battery System 48-100 jest doskonałym rozwiązaniem do zastosowań biznesowych. Może zasilać bankomaty, urządzenia pamięci masowych, systemy IT w bankach i systemy CCTV. Ważną zaletą tego zaawansowanego rozwiązania jest długi czas podtrzymania. Do komunikacji mogą być stosowane wbudowane porty: RS-232, USB oraz gniazdo na kartę komunikacyjną. Zasilacz ma funkcję zimnego startu bez podłączenia do sieci zasilającej, automatyczny bezpiecznik, tryb ECO,

REKLAMA

elektro
info

Profesjonalne szkolenia dla elektryków online!

Ewakuacja ludzi z płonącego budynku i jej wspomaganie.
Oświetlenie awaryjne i ewakuacyjne

Dostępne od ręki o każdej porze i bez względu na to, gdzie jesteś!

www.kursy.elektro.info.pl



Panel przedni oraz tylny zasilacza PowerWalker VFI 5000 EVS

EPO – Emergency Power Off oraz listwę przyłączeniową.

Karta PowerWalker BMS jest dodatkiem do systemu baterii LiFePO₄. Zapewnia komunikację pomiędzy systemem baterii LiFe a podłączonym zasilaczem UPS, umożliwiając skonfigurowanie: napięcia ładowania, prądu ładowania, napięcia odciążenia akumulatora oraz maksymalnego prądu rozładowania – zgodnie z parametrami akumulatora litowego.

Zalety akumulatorów LiFePO₄:

- » szybkie ładowanie, uzyskanie 90% poziomu naładowania baterii w około 1–2 godziny (z 1 modulem Life Battery System 48-100),
- » wbudowany system zarządzania baterią (BMS) – optymalizuje wykorzystanie baterii,
- » głębokość rozładowania do 90% (DoD),

» oszczędność do 40% cennej przestrzeni przy zaledwie 40% masy zwykłego akumulatora kwasowo-ołowiowego,

» bezpieczne użytkowanie akumulatorów LiFePO₄ dzięki zastosowaniu systemu OBM.

Nasze doświadczenie

Nasza geneza sięga roku 1997, kiedy Impakt był małą firmą prywatną. W naszej dwudziestoletniej już historii pokonaliśmy wiele etapów rozwoju, począwszy od roku 2002, kiedy to Impakt zmienił formę prawną przekształcając się w Impakt Sp. z o.o. aż do obecnej formy i uzyskania statusu Spółki Akcyjnej w 2016 roku.

Profil naszej działalności ulegał przeobrażeniom wraz ze zmianami obecnymi na rynku. Początkowo była to dystrybucja programów użyt-

kowych, edukacyjnych i gier komputerowych. Wraz z rozwojem firmy i rozszerzaniem się sieci dystrybucji, wprowadziliśmy nowy asortyment w postaci akcesoriów komputerowych i nośników danych. Jednocześnie stale wydłużała się lista dostawców, którzy podpisali z nami umowy dystrybucyjne.

Stałe reagowanie na zmiany rynkowe pomogło nam rozszerzać zarówno profil działalności, jak również zasięg i liczbę kontrahentów. Wraz z wejściem Polski do Unii Europejskiej zaczęliśmy importować produkty znanych światowych producentów oraz uzyskaliśmy status dystrybutora kilku dużych korporacji międzynarodowych.

Kolejnym ważnym krokiem w rozwoju firmy stało się wprowadzenie oraz ciągłe rozwijanie internetowego systemu obsługi klienta eTrade. Dziś naszymi klientami są nie tylko setki firm komputerowych i elektronicznych w całej Polsce, ale także czołowi krajowi dystrybutorzy sprzętu komputerowego. Ponadto Impakt swoimi usługami obejmuje klientów i odbiorców na terenie niemal całej Europy i wciąż zdobywa nowe rynki.

Obecnie głównym profilem naszej aktywności jest działalność dystrybucyjna na szeroko rozumianym rynku IT w segmencie urządzeń peryferyjnych, akcesoriów i podzespołów komputerowych, a także akcesoriów dla graczy, rozwiązań sieciowych i elektroniki użytkowej oraz zasilaczy UPS. Zaopatrujemy zarówno kanał tradycyjny reprezentowany przez setki małych sklepów specjalistycznych czy też resellerów, jak również sklepy internetowe, sieci supermarketów, sieci sklepów specjalistycznych oraz największe hurtownie. Ciągły rozwój i poszerzanie oferty o kolejnych producentów sprawia, że nasz profil ulega systematycznemu rozwojowi.

Zapraszamy do kontaktu z nami, podczas którego zaproponujemy rozwiązania dostosowane do Państwa potrzeb.



Impakt S.A.
62-050 Mosina
ul. Stanisława Lema 16
tel. 61 10 10 230, 61 898 32 23
faks 61 10 10 230 w. 215
www.impakt.com.pl

Systemy gwarantowanego zasilania

MAGAZYN ENERGII INWESTYCJA, KTÓRA NIESIE KORZYŚCI!

Magazyny energii ASTAT BESS by Elsta to rozwiązania przeznaczone dla konsumentów i producentów energii elektrycznej, mające na celu stabilizację dziennych wahań obciążenia sieci oraz redukcję kosztów związanych z zużyciem energii.



ASTAT

CO NAS WYRÓŻNIA?



Indywidualne podejście
każda inwestycja jest unikalna



Polska produkcja
znajomość krajowych przepisów, norm i mechanizmów wsparcia, szybka reakcja serwisowa



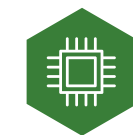
Innowacje i rozwój
współpraca z ekspertami i ośrodkami badawczymi



Najwyższa jakość
staramy się przekraczać oczekiwania klientów



Bezpieczeństwo
niezawodność instalacji i troska o użytkowników



Nowoczesne technologie
wykorzystujemy autorskie rozwiązania Elsta



Zrównoważony rozwój
dbamy o środowisko dla przyszłych pokoleń



Wieloletnie doświadczenie
ponad 30 lat na rynku, setki zrealizowanych projektów i dostaw



Zobacz produkt

oferty.eijee@astat.pl

www.astat.pl

mgr inż. Dominik Trojnicz, dr hab. inż. Marcin Habrych, prof. uczelni, dr inż. Justyna Herlender – Politechnika Wrocławska

Koncepcja hybrydowego inwertera PV współpracującego z magazynem energii dla mikroinstalacji o mocy do 50 kW

Obecne problemy sektora energetycznego w Polsce, ciągły wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną obiektów przemysłowych, jak również instalacji domowych, systematyczny wzrost cen energii elektrycznej czy restrykcje narzucane przez Unię Europejską (UE) w zakresie ograniczenia emisji CO₂ sprawiają, że konieczne jest podjęcie kroków mających na celu modernizację całego systemu elektroenergetycznego. Około 70% energii elektrycznej produkowanej w Polsce to energia wytwarzana z węgla kamiennego i brunatnego. Zmiany w polskim miksie energetycznym wymagają konieczności częściowego zastąpienia elektrowni węglowych przez odnawialne źródła energii (OZE), które obecnie odpowiadają za produkcję około 20% energii elektrycznej w Polsce [1]. Budowa nowych jednostek wytwórczych energii elektrycznej, jak i wymiana przestarzałych linii przesyłowych, wymagają ogromnych nakładów finansowych. Częściowym rozwiązaniem tych problemów jest ciągły wzrost mocy instalacji fotowoltaicznych (PV).

Rynek fotowoltaiczny w Polsce rozwija się bardzo dynamicznie, o czym świadczą wysokie na tle UE przyrosty mocy PV w latach 2020 i 2021, co dało Polsce odpowiednio 4. i 2. miejsce pod tym względem wśród krajów wspólnoty [2]. Pokazuje to, że przy obecnych warunkach w Polsce można skutecznie inwestować w dalszy rozwój PV. Ponadto Polska, tak jak obecny lider UE pod względem wytwarzanej energii elektrycznej przy użyciu fotowoltaiki, czyli Niemcy [3], jest położona w strefie umiarkowa-

nej i znajduje się na podobnej szerokości geograficznej, co wskazuje na korzystne warunki środowiskowe dla rozwoju rynku PV również w Polsce. Należy wskazać na istotną rolę mikroinstalacji (instalacji o łącznej mocy elektrycznej zainstalowanej nie większej niż 50 kW), które stanowią prawie 80% spośród wszystkich rodzajów instalacji PV w Polsce [2]. Ich gwałtowny rozwój był możliwy między innymi dzięki korzystnym regulacjom prawnym [2]. Regulacje te jednak uległy zmianie i od 1.04.2022 r. czas zwrotu inwestycji w układy PV wyraźnie się wydłużył.

Odbiorca energii elektrycznej posiadający instalację fotowoltaiczną oraz własny magazyn energii byłby w stanie odciążyć sieć poprzez wytwarzanie energii w miejscu jej zużycia, co powoduje np. wyeliminowanie strat związanych z przesyłaniem energii na duże odległości. Taki odbiorca, będący jednocześnie producentem energii, jest w stanie także wysyłać nadwyżkę energii do systemu oraz bilansować moc czynną i bierną w systemie elektroenergetycznym.

Analiza dostępnych rozwiązań układów PV

Instalacje fotowoltaiczne mogą pracować w kilku trybach, które różnią się integracją systemu fotowoltaicznego z siecią elektroenergetyczną. Obecnie większość instalacji fotowoltaicznych w Polsce pracuje w trybie on-grid, charakteryzującym się bezpośrednim połączeniem do sieci elektroenergetycznej. Instalacje on-grid nie mogą pracować w przypadku od-

łączenia od sieci lub zakłóceń występujących w sieci publicznej, co jest dużym ograniczeniem. W przypadku zainstalowania wielu źródeł generacji rozproszonej na małym obszarze może dojść do sytuacji wzrostu napięcia w sieci, spowodowanego zbyt dużą ilością mocy generowanej, co powoduje kaskadowe wyłączenia inwerterów.

Kolejnym rozwiązaniem są instalacje pracujące w trybie off-grid, czyli instalacje izolowane od sieci elektroenergetycznej, co zapewnia całkowitą niezależność od dostawcy energii elektrycznej. Instalacje tego typu są najczęściej instalacjami małej mocy. Instalacje fotowoltaiczne off-grid są bardzo często instalowane wraz z magazynami energii – ze względu na silną zależność generowanej energii od nasłonecznienia. Magazyny energii pozwalają na z akumulowanie wytwarzanej energii w celu późniejszego jej wykorzystania, a także umożliwia pracę sieci wewnętrznej w odpowiednich parametrach jakościowych napięcia (częstotliwość czy wartość skuteczna).

Coraz bardziej popularnym rozwiązaniem stają się instalacje fotowoltaiczne pracujące w trybie hybrydowym. Inwertery hybrydowe, podobnie jak instalacje off-grid, często łączone są z magazynami energii. Zastosowanie inwerterów hybrydowych łączy zalety inwerterów off-grid, polegające na niezależności od dostawcy energii elektrycznej, z zaletami instalacji on-grid, dając możliwość oddawania nadwyżki wyprodukowanej energii do sieci, jak również jej pobierania z sieci w razie niedostatku energii pozyskiwanej z własnej instalacji słonecznej.

Instalacje fotowoltaiczne nie są jednak pozbawione wad. Największym problemem jest niestabilność generowanej energii, która jest silnie zależna od nasłonecznienia, co znacznie ogranicza możliwości ich stosowania w celu całkowitego zastąpienia elektrowni bazujących na paliwach kopalnych. Nasłonecznienie na obszarze Polski jest niejednorodne w skali roku, co jest przede wszystkim związane ze zmienną długością dnia – w zależności od pory roku. Poza szerokością geograficzną, która określa długość dnia i nocy, jako istotne czynniki należy wymienić: rzeźbę terenu, roślinność i zabudowania, które są szczególnie istotne przy instalacjach fotowoltaicznych budowanych na dachach budynków, jak również liczba pochmurnych dni w roku czy zanieczyszczenie powietrza [4]. Na dwie pory roku, tj. wiosnę i lato, przypada aż 80% całkowitej rocznej sumy nasłonecznienia, kiedy Słońce może być aktywne nawet do 16 godzin [5]. W sezonie jesienno-zimowym aktywność spada w skrajnych miesiącach do poziomu 8 godzin, a kąt padania promieni słonecznych na panele fotowoltaiczne jest niekorzystny. W Polsce najwyższy wskaźnik nasłonecznienia występuje w południowej części kraju: ok. 1150 kWh/m², natomiast najniższy jest w północno-wschodniej części [5] – wartości w tym regionie mogą wynosić mniej niż 1000 kWh/m² [5].

Pośrednim rozwiązaniem problemu związanego z niepokrywaniem się charakterystyk generowanej energii z instalacji fotowoltaicznych z charakterystyką dziennego zapotrzebowania na energię elektryczną jest stosowanie magazynów energii. Banki energii pozwalają na zgromadzenie energii wytworzonej w szczycie produkcji i wykorzystanie jej w czasie, gdy energia wytwarzana przez instalację fotowoltaiczną jest

niewystarczająca do pokrycia aktualnego zapotrzebowania. Kolejną wadą instalacji fotowoltaicznych jest ich niska sprawność, wynosząca obecnie około 17% (w zależności od technologii wykonania paneli fotowoltaicznych [2]) oraz problem z utylizacją paneli fotowoltaicznych po zakończeniu ich eksploatacji.

I Założenia projektowe systemu

Podczas projektowania hybrydowego inwertera PV przyjęto następujące założenia:

- » możliwość pracy instalacji po podłączeniu do sieci (on-grid) oraz przy odłączeniu od sieci (off-grid),
- » współpraca z instalacją paneli fotowoltaicznych,
- » współpraca z magazynem energii,
- » możliwość dołączenia dodatkowego modułu ładowania baterii samochodu elektrycznego, która może również służyć jako zastępczy magazyn energii,
- » zaciski odbiorcze 400 V do podłączenia odbiorników z podziałem na odbiorniki priorytetowe, jak i niepriorytetowe,
- » możliwość pracy w wybranych warunkach zakłóceń w sieci,
- » zdolność do pracy w zakresie automatyki mocy czynnej i biernej,
- » dobór optymalnych algorytmów sterowania do warunków atmosferycznych panujących w Polsce.

I Koncepcja inwertera

Na rysunku 1. przedstawiono topologię połączenia inwertera. Hybrydowy inverter PV złożony jest z czterech przekształtników elektroenergetycznych.

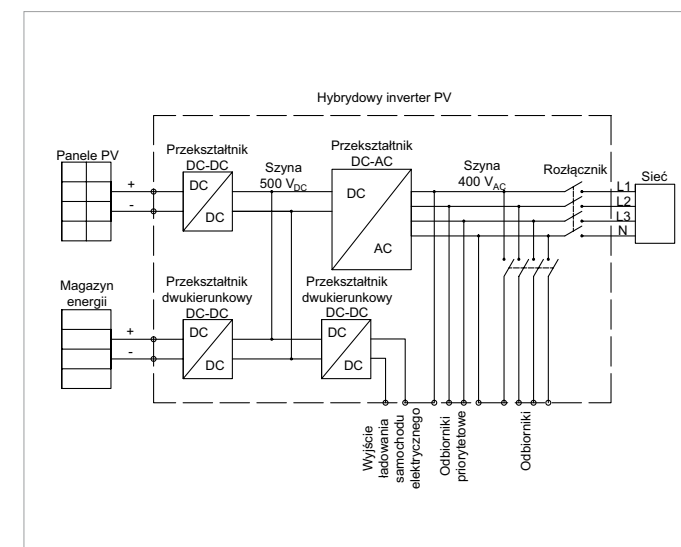
Pierwszy z przekształtników (1) (rys. 1.) połączony jest z instalacją paneli PV i szyną 500 VDC.

Przekształtnik ten, sterowany algorytmem MPPT (*Maximum Power Point Tracking*), odpowiedzialny jest za dostosowanie napięcia wyjściowego paneli do napięcia 500 VDC. Kolejnym przekształtnikiem (3) jest urządzenie podłączone na wyjściu magazynu energii. W celu zmniejszenia strat napięcie znamionowe zastosowanego magazynu energii powinno być jak najbliższe napięciu 500 VDC. Zastosowanie przekształtnika dwukierunkowego daje możliwość przesyłania energii w dwóch kierunkach, co pozwoli na ładowanie magazynu w chwilach, gdy energia generowana z paneli PV jest większa od energii pobieranej przez odbiorniki oraz rozładowywanie baterii, gdy brakuje energii do zasilania odbiorników. Osobny moduł z przekształtnikiem dwukierunkowym (4) przeznaczony jest do ładowania samochodu elektrycznego. Moduł ten wspiera technologię Vehicle-to-grid (V2G), pozwalającą na wykorzystanie baterii samochodu elektrycznego do zasilania urządzeń odbiorczych. Zastosowanie modułu ładowarki samochodowej wykorzystującej standard ładowania DC, zasilanego bezpośrednio z szyny DC, pozwoli na pominięcie konwersji napięcia sieciowego 400 VAC na napięcie stałe – jak ma to miejsce w stacjach ładowania samochodów elektrycznych zasilanych z napięcia sieciowego. Rozwiązanie to powoduje zmniejszenie strat energii i wydzielanego ciepła. Głównym elementem całego urządzenia jest falownik (2) zamieniający napięcie 500 VDC na napięcie sieciowe trójfazowe 400 VAC. Szyna odbiorcza 400 VDC przystosowana jest do podłączenia odbiorników priorytetowych (np. systemu alarmowego, serwerów itp.), które wymagają największej pewności zasilania, oraz odbiorników mniej priorytetowych, które zostaną wyłą-

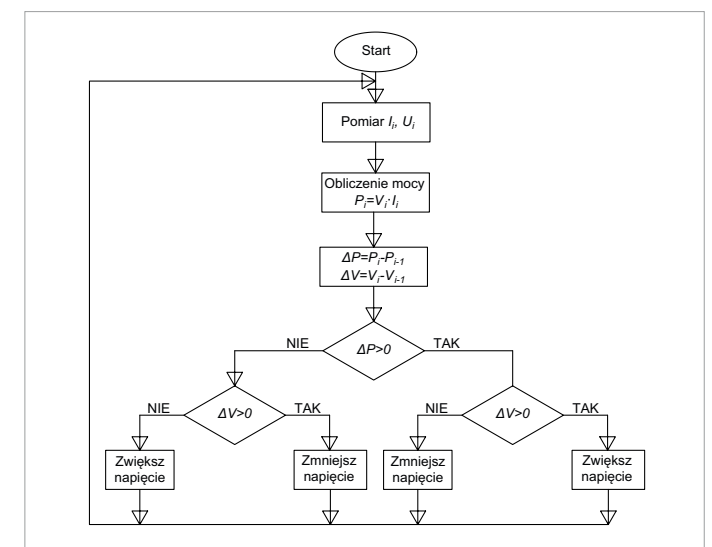
STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono koncepcję hybrydowego inwertera PV, współpracującego z magazynem energii, przeznaczonego do pracy w mikroinstalacji o mocy do 50 kW. Przeanalizowano wady i zalety dostępnych na rynku rozwiązań oraz charakterystykę nasłonecznienia w Polsce. Przedstawiono założenia przyjęte podczas projektowania urządzenia wraz z topologią połączeń inwertera. Zaprezentowano sposób sterowania poszczególnymi przekształtnikami, wchodzącymi w skład całego urządzenia oraz zaproponowano rozwiązania mające na celu osiągnięcie optymalnego wykorzystania pozyskanej energii słonecznej. Koncepcja układu zakłada wykorzystanie dwóch metod sterowania falownikiem. Do urządzenia dodano także dodatkowy przekształtnik dwukierunkowy, pozwalający na ładowanie baterii samochodu elektrycznego oraz wykorzystanie baterii samochodu do zasilania innych odbiorników. Zaproponowane urządzenie łączy w sobie cechy inwerterów pracujących w trybie off-grid i on-grid, co powoduje, że może być ono ciekawą alternatywą dla obecnie stosowanych inwerterów on-grid.

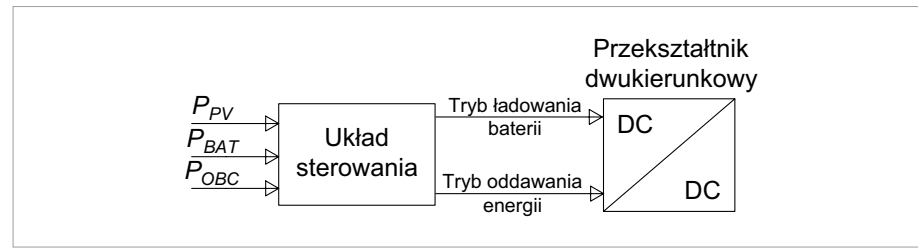
Słowa kluczowe: hybrydowy inverter PV, magazyny energii, instalacje fotowoltaiczne.



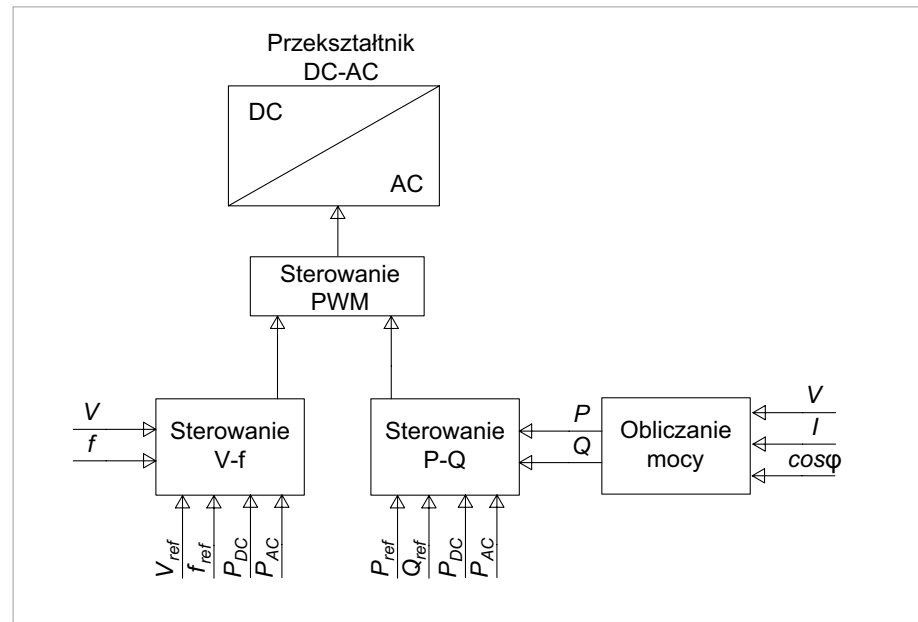
Rys. 1. Schemat hybrydowego inwertera PV rys. D. Trojnicz, M. Habrych, J. Herlender



Rys. 2. Schemat blokowy algorytmu P&O rys. D. Trojnicz, M. Habrych, J. Herlender



Rys. 3. Schemat sterowania przekształtnikiem dwukierunkowym rys. D. Trojnicz, M. Habrych, J. Herlender



Rys. 4. Schemat sterowania falownikiem rys. D. Trojnicz, M. Habrych, J. Herlender

czony w przypadku małej ilości dostępnej energii. Ostatnim elementem układu jest rozłącznik izolujący urządzenie od sieci zasilającej.

W przypadku nadwyżki energii generowanej może być ona przesłana do sieci, natomiast w sytuacji wystąpienia zakłóceń w sieci (zanik napięcia, zbyt wysoka wartość napięcia) następuje rozłączenie od sieci, a urządzenie przechodzi w tryb pracy off-grid. Po ustąpieniu zakłóceń i po odpowiedniej zwłoce czasowej, pozwalającej na ustabilizowanie się stanu sieci (zadziałaniu automatyki SPZ), inwerter może powrócić do pracy z siecią praktycznie bez przerwy w zasilaniu.

1 Sposób sterowania inwerterem

Sterowanie przekształtnikiem DC-DC paneli PV (1) będzie zrealizowane za pomocą metody MPPT (*Maximum Power Point Tracking*), czyli śledzenia punktu mocy maksymalnej. Spośród metod sterowania MPPT wybrano metodę zaburzenia i obserwacji P&O (*Perturb & Observe*), charakteryzującą się prostotą działania i przynoszącą wymierne efekty w postaci zwiększenia uzysku energii z generatora PV. Algorytm P&O jest algorytmem iteracyjnym, który do działania wymaga jedynie dwóch sygnałów

wejściowych: prądu i napięcia paneli fotowoltaicznych. Na podstawie tych dwóch zmiennych obliczana jest aktualna moc. Działanie tej metody polega na wykryciu punktu pracy na charakterystyce prądowo-napięciowej ($I - V$) panelu fotowoltaicznego i porównaniu go z wartością otrzymaną z poprzedniej iteracji. Regulator wprowadza do układu zaburzenie polegające na niewielkim przyroście napięcia, a następnie porównuje wartość mocy obliczonej w danej chwili z wartościami obliczonymi w poprzednim cyklu działania. W przypadku wystąpienia wzrostu mocy następuje dalsze zwiększanie napięcia. Natomiast dojście algorytmu do punktu, w którym dalsze zwiększanie napięcia nie powoduje wzrostu mocy, skutkuje tym, że regulator zaczyna działać w odwrotną stronę, tj. następuje zmniejszenie napięcia [6]. W ten sposób regulator P&O znajduje punkt, w którym moc osiąga wartość maksymalną. Schemat blokowy algorytmu P&O przedstawiono na **rysunku 2**.

Przekształtniki dwukierunkowe (3 i 4 – **rys. 1.**), odpowiedzialne za ładowanie i rozładowywanie magazynu energii oraz baterii samochodu elektrycznego, umożliwiając przepływ mocy w obu kierunkach, co zaprezentowano na **rysunku 3**.

Sterowanie przekształtnikami dwukierunkowymi magazynu energii i ładowarki samochodu elektrycznego będzie oparte na bilansie mocy pomiędzy produkcją a konsumpcją [7]:

$$P_{PV} + P_{BAT} = P_{OBC} + \Delta P \quad (1)$$

gdzie:

P_{PV} – moc paneli fotowoltaicznych,

P_{BAT} – moc baterii, P_{OBC} – moc obciążenia,

ΔP – moc strat.

Przekształtniki dwukierunkowe będą umożliwiały indywidualne nastawienie parametrów, które pozwolą m.in. na zablokowanie rozładowywania baterii, ustawienie minimalnego poziomu rozładowania baterii w trybie on-grid i off-grid, wybór baterii ładowanej priorytetowo oraz nastawienie godziny ładowania baterii (dla samochodów elektrycznych).

Sterowanie falownikiem DC-AC (2), który jest sercem całego urządzenia, będzie odbywało się poprzez algorytm utrzymania napięcia i częstotliwości ($V-f$) oraz algorytm zarządzania mocą czynną i bierną ($P-Q$). Algorytm $V-f$ oparty jest na pomiarze prądów i napięć po stronie szyny 500 VDC oraz dopasowaniu sterowania poprzez Modulację Szerokości Impulsu – PWM (*Pulse-Width Modulation*), która polega na zmianie szerokości impulsów w zależności od zadanej wartości napięcia i częstotliwości wyjściowej (V_{ref} , f_{ref}). Na wyjściu urządzenia można podłączyć odbiorniki trójfazowe. Dodatkowym algorytmem sterowania będzie sterowanie mocą czynną i bierną ($P-Q$). Sterowanie to pozwoli na kompensację mocy biernej w przy-

padku nadwyżki energii produkowanej, której nie można oddać do sieci (np. w przypadku wzrostu napięcia w sieci przekraczającego dopuszczalne normy). Implementacja algorytmu $P-Q$ pozwoli na zoptymalizowanie zużycia energii [7]. Sterowanie $P-Q$ może być szczególnie opłacalne w przypadku odbiorców przemysłowych, którzy obecnie są prawnie zobligowani do opłat za energię bierną pobieraną z sieci. Energia bierna wprowadzona do systemu elektroenergetycznego może pomóc w regulacji napięcia w systemie oraz zmniejszyć straty spowodowane przesyłaniem energii biernej na duże odległości, co może być korzystne z punktu widzenia operatora sieci dystrybucyjnej. Należy mieć jednak na uwadze, że produkcja mocy biernej odbywa się kosztem wytwarzanej mocy czynnej. Schemat sterowania falownikiem przedstawiono na **rysunku 4**.

1 Podsumowanie

Energia elektryczna pozyskiwana z energii słonecznej ma bardzo wiele zalet w porównaniu z energią pozyskiwaną z paliw kopalnych. Energia słoneczna jest przyjazna środowisku, bezkosztowa i praktycznie niewyczerpana, co powoduje, że będzie ona dostępna dla wielu przyszłych pokoleń. Budowanie nowych jed-

nostek wytwórczych opartych na odnawialnych źródłach energii pozwoli na częściowe, a może w przyszłości całkowite, uniezależnienie się od wyczerpujących się zasobów paliw kopalnych. Oczywiście odnawialne źródła energii przez niestabilność generowanej energii nie są w stanie obecnie wyprzeć całkowicie elektrowni węglowych w Polsce, ponieważ brakuje jeszcze technologii opłacalnego magazynowania dużych ilości energii, co stanowi obecnie globalne wyzwanie dla sektora energetycznego.

Zaprezentowane w artykule urządzenie jest ciekawą alternatywą dla najbardziej popularnych inwerterów pracujących w trybie on-grid. Poza możliwością uniezależnienia się od dystrybutora energii elektrycznej daje też możliwość współpracy z nim poprzez oddawanie nadwyżek energii do sieci, jak i bilansowanie mocy biernej oraz regulację napięcia w sieci, co może być korzystne nie tylko z punktu widzenia użytkownika, ale także operatora sieci dystrybucyjnej. Urządzenie łączy w sobie zalety urządzeń on-grid i off-grid. Zastosowanie magazynu energii elektrycznej pozwala na wykorzystanie zgromadzonych zasobów w sytuacjach, gdy aktualnie generowana energia nie wystarcza na pokrycie bieżącego zapotrzebowania. Natomiast zastosowa-

nie przekształtnika pełniącego rolę ładowarki do samochodu elektrycznego pozwala na zminimalizowanie strat energii i wykorzystanie baterii samochodu do zasilania wybranych odbiorników. Urządzenie daje możliwość zarządzania całą siecią mikroinstalacji, pozwalając na optymalne wykorzystanie energii. Natomiast podział odbiorników na priorytetowe i mniej priorytetowe umożliwi zasilanie najważniejszych urządzeń w sytuacjach kryzysowych.

Podsumowując, ciągły wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną, rozwój sektora fotowoltaicznego, rozwój technologii magazynowania energii, rozwój elektromobilności i coraz większe zainteresowanie zieloną energią mogą w przyszłości spowodować, że instalacje hybrydowe zastąpią instalacje on-grid.



* * *

Artykuł prezentowany w formie referatu podczas XXVI Sympozjum Naukowo-Technicznego „SEMAG 2022” w miejscowości Mysłakowice k. Jeleniej Góry w dniach 25–27 maja 2022 roku.

REKLAMA

elektro
info

Profesjonalne szkolenia
dla elektryków online!

Ewakuacja ludzi z płonącego budynku i jej wspomaganie.
Oświetlenie awaryjne i ewakuacyjne

Dostępne od ręki o każdej porze i bez względu
na to, gdzie jesteś!

www.kursy.elektro.info.pl

ASTAT Sp. z o.o.

60-451 Poznań, ul. Dąbrowskiego 441
tel. 61 848 88 71, faks 61 848 82 76
info@astat.pl
www.astat.pl

BENNING Power Electronics Sp. z o.o.

05-503 Głusków, Korczunkowa 30
tel. 22 757 84 53
biuro@benning.biz
www.benning.pl

Drut-Plast Cables Sp. z o.o.

61-719 Poznań, Gen. T. Kutrzeby 16G/137
tel. +48 888 240 515
oferty@drutplast.com.pl
www.drutplast.com.pl

Elmech-ASE S.A.

83-000 Pruszcz Gdański, ul. Podmiejska 5c
tel. 510 00 44 77
kontakt@energate.pl
www.energate.pl

Impakt S.A.

62-050 Mosina, ul. Stanisława Lema 16
tel. 61 10 10 230, 61 898 32 23
faks 61 10 10 230 w. 215
www.impakt.com.pl

JEAN MUELLER POLSKA Sp. z o.o.

02-293 Warszawa, ul. Krótka 4
tel. 22 751 79 01, faks 22 751 79 03
info@jeanmueller.pl
www.jeanmueller.pl

PHOENIX CONTACT Sp. z o.o.

51-317 Wrocław, ul. Bierutowska 57-59
tel. 71 39 80 410
pxcpl@phoenixcontact.pl
www.phoenixcontact.pl

Biuro Techniczno-Handlowe PRO-MAC

91-492 Łódź, ul. Gen. Józefa Bema 55
tel. 42 61 61 680/681
biuro@promac.com.pl
www.promac.com.pl

SOCOMEK Polska Sp. z o.o.

02-823 Warszawa, ul. Salsy 2
tel. 22 825 73 60
info.scp.pl@socomec.com
www.socomec.pl

Redakcja elektro.info

04-112 Warszawa, ul. Karczewska 18
tel. 22 810 65 61, faks 22 810 27 42
redakcja@elektro.info.pl
www.elektro.info.pl