

prof. dr hab. inż. Jacek Malko, dr inż. Henryk Wojciechowski, Instytut Energoelektryki, Politechnika Wroclawska

Magazynowanie energii - nowe technologie

Raport ekspercki Tidy'ego Bayara dla czasopisma branżowego grupy medialnej Penn-Well, omawiany w magazynie Power Energy International (PEI, December 2014) [1], sygnalizuje znaczące postępy w dziedzinie elastycznego zarządzania mocą i energią z wykorzystywaniem nowych koncepcji i narzędzi, stanowiąc relację, uaktualniającą raporty wcześniejsze [2-7]. Systematykę technologii magazynowania podano na rysunkach (1 ÷ 7) i w tabeli 1.

Sektor magazynowania energii działał już wiele dla rozwoju tych technologii z ukierunkowaniem na przyszłość, ze szczególną uwagą zwróconą na perspektywy dominacji, innowacyjności i roli rozwijanych nowych rozwiązań na rynkach narodowych. Problemy te zostały podjęte przez seminarium „Przyszłość magazynowania gazu i energii elektrycznej w Zjednoczonym Królestwie (UK)”, zorganizowanym przez firmę konsultingową Future Energy Storage.

■ Magazynowanie gazu w cyklu szybkim

Takie nowatorskie podejście przedstawił K. Budinger, inżynier projektu „Halite”. Spółka ta zamierza zbudować wielki podziemny magazyn, wykorzystując kawernę w złożu soli, ale plany te zostały wstrzymane przez byłego ministra UK ds. energii, G. Barkera. Spór sądowy w tej sprawie zakończył się sukcesem dewelopera, który obecnie dokonuje korekt wykonawczego planu działania.

”

Motto: Gdy inwestorzy i przedsiębiorstwa energetyczne stawiają pierwsze kroki w kierunku wdrażania wielkoskalowego magazynowania energii, wyłania się złożona perspektywa technologii i rozwiązań rynkowych.

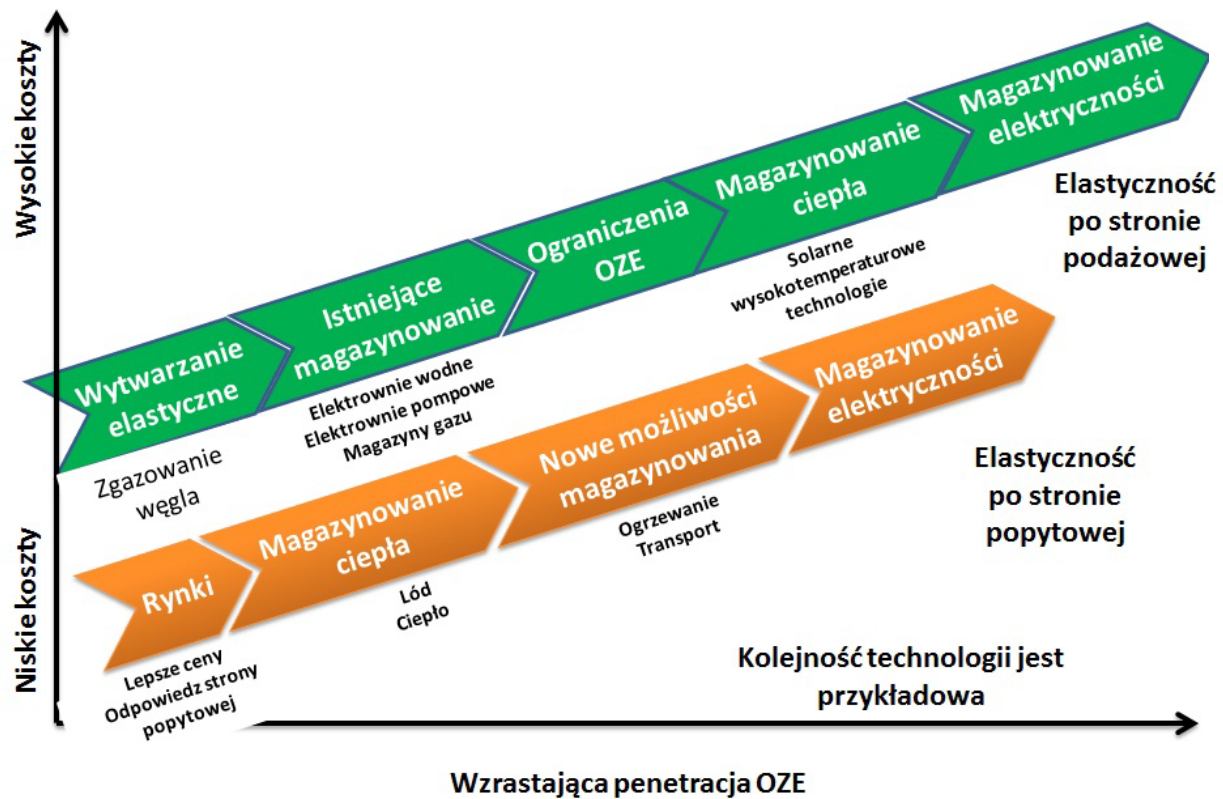
T. Bayar: Energy storage - still a risky proposition, Power Eng. Int. Dec, 2014

Przemysł magazynowania energii przeżywa bezprecedensowy wzrost innowacyjności technologicznej, a jego wartość rynkowa do 2018 r. może osiągnąć w skali globalnej 10,8 mld USD, a w USA w ciągu kilku najbliższych lat oczekuje się czterokrotnego zwiększenia tego rynku.

Raport konsultantów z firmy Red Mountain (Insights 2014) [8] analizuje postęp technologii magazynowania energii ze szczególnym uwzględnieniem możliwości zminimalizowania niezbędnych inwestycji w moce zainstalowane, wymagane dla pokrycia

zapotrzebowania, zwłaszcza w godzinach szczytowych zapotrzebowania w systemie. Magazynowanie energii umożliwia również wprowadzenie samowystarczalnych wyspowych mikro sieci, zdolnych do zasilania pojedynczych domów, rozproszonych osiedli lub przedsiębiorstw przemysłowych, centrów handlowych i logistycznych. Można oczekiwać, iż w ciągu najbliższego dziesięciolecia różne technologie inteligentne będą wymagać inwestycji rzędu 400 mld USD, a sieci „smart” zapewniają do 2020 r. możliwości komunikacyjne dla elektroenergetyki, podob-





Rys. 1. Koszty technologii elastycznych (Źródło: Storage Energy Analysis)

Typ korzyści	Czas	Kategorie			
		Odbiorca końcowy	Dystrybucja i przesył	SE	Niezależny operator systemu
Koszty magazynowania energii w \$/kWh	Godziny	Zarządzanie energią	Investycje w sieciach	Integracja OZE	ERO
	Minuty	Niezawodność		Wyrównywanie obciążeń OZE	Moc zainstalowana
Koszty rozładowania mocy w \$/kW	Sekundy	Jakość energii	SRME	Wsparcie systemu	Usługi Systemowe
		< 10 kW	< 100 kW	< 10 MW	< 100 MW

Rys. 2. Korzyści operacyjne magazynowania energii (Źródło: Storage Energy Analysis)
SE - system elektroenergetyczny
SRME - systemy rozproszonego magazynowania energii



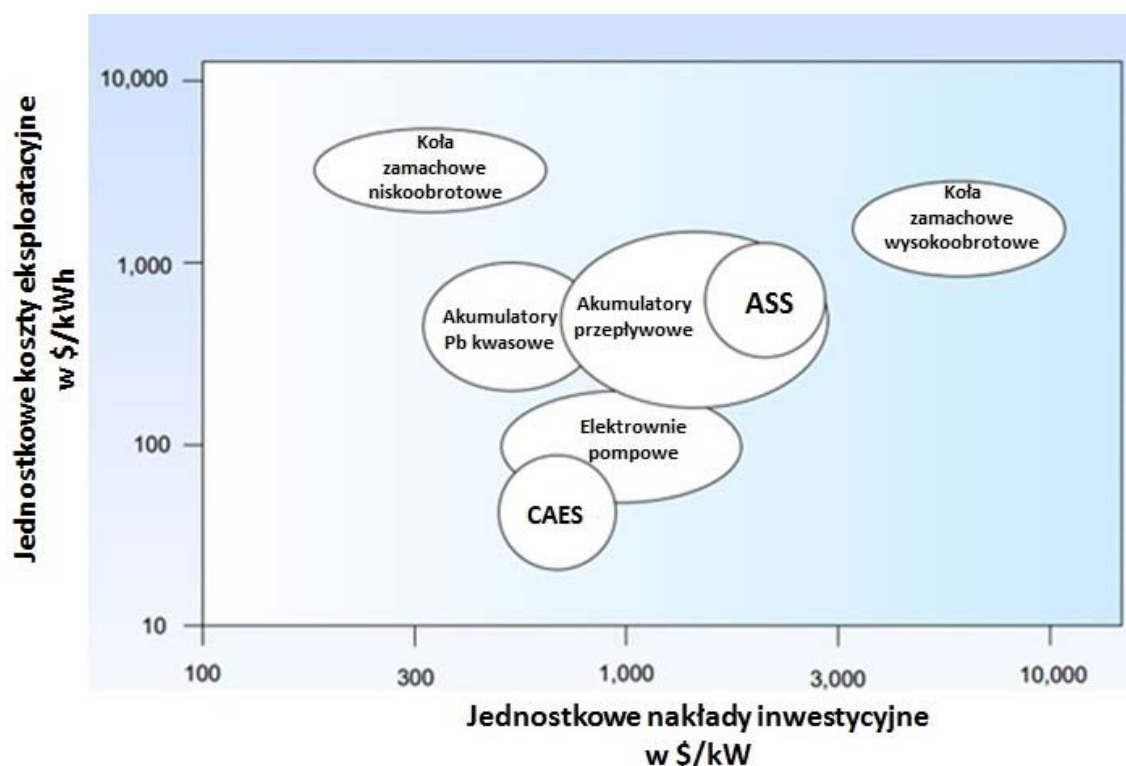
ne do dziś już użytkowanego internetu komunikacji biznesowej i personalnej. Na rynku technologii zasobnikowych będą konkurować takie rozwiązania jak akumulatory, magazynowanie z wykorzystaniem sprężonego powietrza, koła zamachowe, wodór, nadprzewodzące układy magnetyczne, magazynowanie ciepła, superkondensatory i pojazdy elektryczne, współpracujące z siecią. Oczekiwany koszt gruntownego zmodernizowania infrastruktury magazynowania energii w skali globalnej w ciągu następnego dwudziestolecia wynosi 14 bilionów USD, przy czym ponad 30% tych inwestycji spełniać będzie warunki zasadności ekonomicznej. Zdolności magazynowania gazu w cyklu sezonowym (lato-zima), są znacząco zróżnicowane w krajach UE i wynoszą od 14 dni w roku dla UK, 87 dni dla Francji, 69 dni dla Niemiec i 50 dni dla Włoch. Istotną rolę w skali europejskiej odgrywa możliwość zarządzania tymi zasobami i wiąże się z tym możliwość magazynowania w cyklu krótkookresowym (Fast - Cycle Storage, FCS). Pojemnik gazu cechuje się wówczas zdolnością szybkiego napełniania i odbioru gazu np. w kawernie solnej. W praktyce rozważanego projektu „Halite” oznacza ładowanie i rozładowywanie w cyklach 10-dniowych, powtarzalnych 12 razy w roku (z pozostawieniem czasu na konserwację i chłodzenie obiektu). Odbierany gaz wymaga osuszenia z wody, będącej naturalnym elementem złoża gazu i wyłukiwanej z kawerny solnej. Przewidywanie rosnącej zależności UK od paliw importowanych oraz rosnące zapotrzebowanie na moce elastyczne w systemie (wynikające z rozpowszechnienia źródeł o pracy nieciągłej - „intermittent”) powoduje konieczność zapewnienia w systemie możliwości szybkiego dostarczania gazu do strategicznych obszarów kraju. Ważniejsze są zatem dostawy krótkoterminowe niż pojem-

ności magazynowania sezonowego. Nadal nie ma jednak decyzji o losach projektu FCS „Halite”, mimo iż coraz bardziej prawdopodobne wydaje się, że nowo budowane w następnym pięcioleciu zdolności magazynowe będą ulokowane w obiektach o krótkim cyklu ładowanie/rozładowanie. Magazyn gazu „Halite” uzyska zapewne aprobatę nowego ministra energii UK, bowiem usunięte zostały związane z nim zastrzeżenia odnośnie oddziaływania na środowisko.

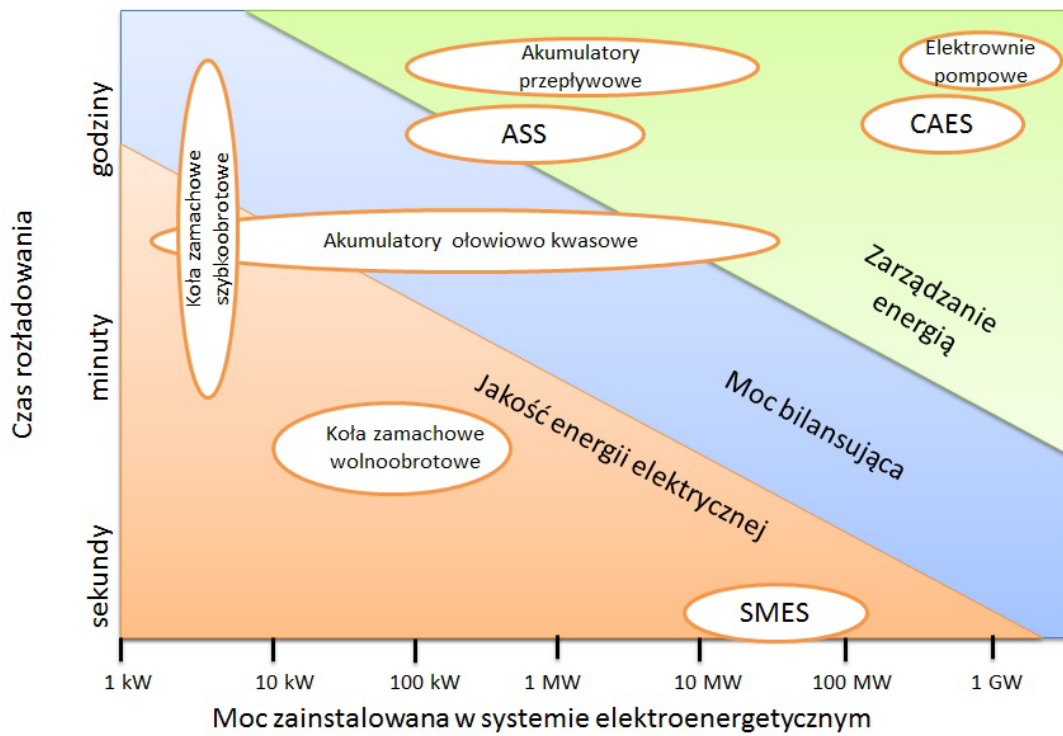
ności magazynowania sezonowego. Nadal nie ma jednak decyzji o losach projektu FCS „Halite”, mimo iż coraz bardziej prawdopodobne wydaje się, że nowo budowane w następnym pięcioleciu zdolności magazynowe będą ulokowane w obiektach o krótkim cyklu ładowanie/rozładowanie. Magazyn gazu „Halite” uzyska zapewne aprobatę nowego ministra energii UK, bowiem usunięte zostały związane z nim zastrzeżenia odnośnie oddziaływania na środowisko.

■ Akumulatorowe projekty pilotowe SSE

Rozważając technologie magazynowania energii elektrycznej brytyjskie przedsiębiorstwo SSE poszukuje przyszłościowych rozwiązań przez ocenę przydatności licznych zastosowań magazynowych w zróżnicowanych lokalizacjach i technologiach w zakresie mo-



Rys. 3. Nakłady inwestycyjne i koszty operacyjne magazynowania energii (Źródło: Pearl Street Inc.)
ASS - akumulatory siarczkowo sodowe
CAES - magazynowanie z wykorzystaniem sprężonego powietrza

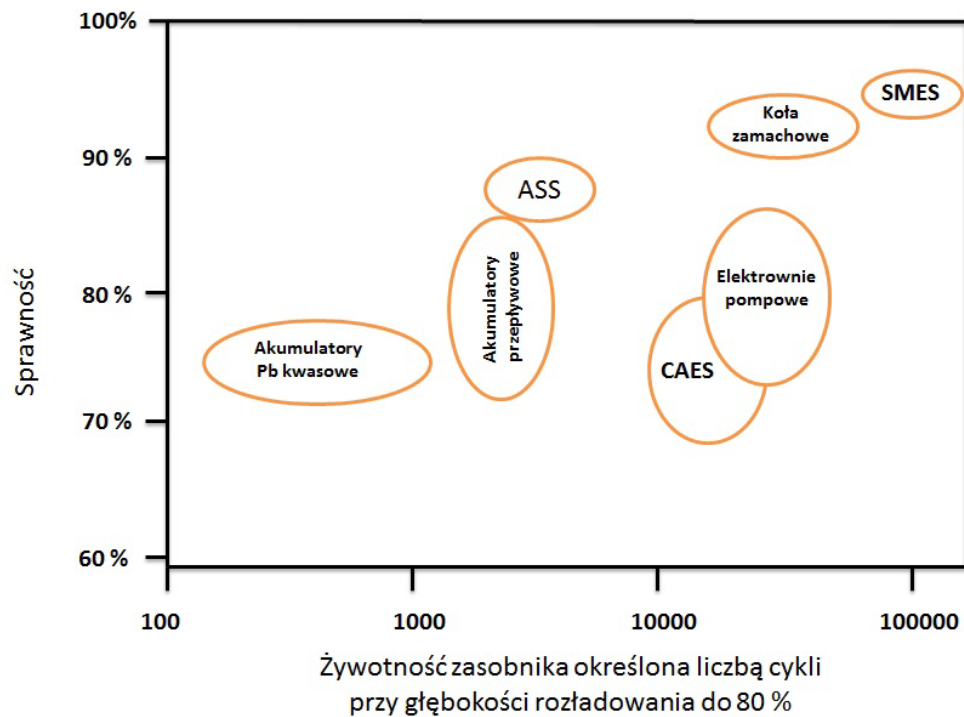


Rys. 5. Czas rozładowania vs. moc zainstalowana (Źródło: Pearl Street Inc.)

SMES - nadprzewodnikowy zasobnik energii

CAES - magazynowanie z wykorzystaniem sprężonego powietrza

ASS - akumulatory siarczkowo sodowe



Rys. 6. Sprawność magazynowania w funkcji liczby cykli rozładowania (Źródło: Pearl Street Inc.)

SMES - nadprzewodnikowy zasobnik energii

CAES - magazynowanie z wykorzystaniem sprężonego powietrza

ASS - akumulatory siarczkowo sodowe

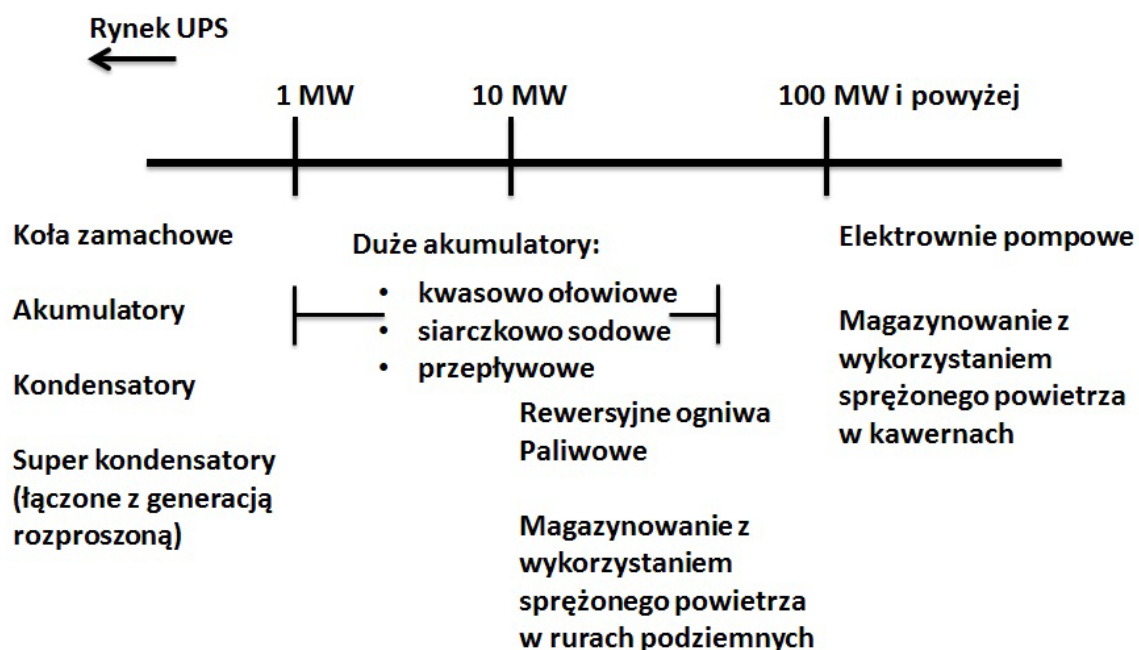


cy od pojedynczych kW po instalacje wielomegawatowe. Przedstawiciel firmy (A. Steele) zaprezentował analizę rozpatrywanych zastosowań, dla których technologie potraktowano jako czynnik neutralny, a ranking rozwiązań wyznaczały koszty. W pierwszej kolejności w 2008 r. zbadano w Narin (Szkocja) baterię przepływową cynkowo-bromową o mocy 100 kW i pojemności 150 kWh, wykorzystywaną jako źródło rezerwowe. Kolejnym krokiem było zastosowanie baterii siarkowo-sodowej 1 MW/6 MWh, zainstalowanej w 2010 r. na Szetlandach. Bateria była zintegrowana z agregatem prądotwórczym z silnikiem wysokoprężnym, jako rezerwą operacyjną o krótkim czasie dostępu oraz instalacją z akumulatorami kwasowo-ołowiowymi. Bateria siarkowo-sodowa została odłączona po uzyskaniu informacji, że podobna konfiguracja w Japonii była przyczyną pożaru. SSE zdecydowała, że bateria S-Na będzie, zlokalizowana w pobliżu zabudowy mieszkaniowej, co wymaga dużej niezawodności eksploatacyjnej, a więc i niskiego ryzyka w stosowaniu. W 2011 r.

SSE rozpoczęło instalowanie projektu bateryjnego o niskim napięciu w Sloug (Anglia). Baterię litowo-jonową 25 kW/25 kWh zintegrowano w modelu ekologicznych domów i wykorzystano do wygładzania skoków zapotrzebowania mocy. W fazie badawczo-rozwojowej znajduje się następnych 25 zespołów w tej samej lokalizacji, zaś inna bateria litowo-jonowa 2 MW/500 MWh została zainstalowana w Parku Zasobników na Orkadach i jest to kluczowy element dla dalszej rozbudowy do postaci modelu komercyjnego magazynowania energii. Dalszym zamiarem SSE jest kontynuacja projektów magazynowania w akumulatorach i akceptacja propozycji wykorzystywania do zarządzania stroną popytową („Demand Response”) testowego układu bateryjnego tak długo, dopóki koszt tego rozwiązania jest niższy niż budowa przesyłowej linii napowietrznej. Na pytanie o wybór przez przedsiębiorstwo najlepszego wariantu technologii bateryjnych w wersji wielkoskalowej odpowiedzią jest, że o wyborze technologii decyduje koszt i lokalizacja.

■ Rola magazynowania energii w rozwiązaniach rynkowych

Firma doradcza Poyry dokonała niedawno oceny rynku magazynowania energii UK. Analizą objęto różnorodne formy magazynowania o zróżnicowanej pojemności, dochodząc do wniosku o celowości raczej stworzenia nowej kategorii rynkowej niż definiowania przez współpracę z typowymi źródłami energii elektrycznej. Istotnym spostrzeżeniem jest również celowość rozważenia wielkoskalowego potencjału magazynowania jako narzędzia zarządzania energią w skali poszczególnych systemów narodowych, podczas gdy zasobniki energii o małej pojemności są przydatne dla sterowania systemami lokalnymi. Specyfika określonych sposobów magazynowania nakazuje poszukiwanie zasobników wielkoskalowych w stosowaniu np. do zasobów odnawialnych o znaczącym potencjale, podczas gdy potrzeby o mniejszej skali można pokrywać np. technologiami fotowoltaicznymi lub wykorzystując moż-



Rys. 4. Technologie magazynowania energii (Źródło: Pearl Street Inc.)

liwość współpracy z flotą samochodów elektrycznych. Koszt magazynowania jest obecnie wysoki w porównaniu z innymi technologiami elastycznymi (jak np. jednostki gazowe), ale oczekuje się znaczącego postępu w tej dziedzinie. Wraz ze wzrostem efektywności kosztowej postępować będzie upowszechnienie technik magazynowania energii. Przykładowo w UK magazynowanie może być użyteczne w wielu scenariuszach przyszłości energetycznej, łącznie z ograniczeniem mocy elektrowni węglowych zainstalowanych w systemie, optymalizacją planu rozbudowy infrastruktury sieciowej, oferowaniem usług systemowych oraz - po stronie podażowej - wymaganiami stosowania instrumentów zabezpieczających. Dla magazynowania o efektywnym stosowaniu decydować będzie akceptacja przez mechanizmy rynku w nowej klasie składników majątkowych. W tej klasie możliwe są różnorodne modele biznesowe magazynowania, łącznie z wariantami struktury właścicielskiej i/lub zarządzania przez dostawców/wytwórców/podmiotów niezależnych/agregatorów, jak też operatorów/deweloperów podstawowych składników majątkowych. Modele te mają za zadanie umożliwienie magazynowania energii, przez co system staje się bardziej przyjazny interesariuszom, poszukującym dodatkowych strumieni dochodów. Jednak wykorzystanie istniejących potencjalnych możliwości jest uwarunkowane polityką rządu (tu-UK) i jest związane z szerszym systemem gospodarki, który obecnie nie sprzyja idei elastyczności przez magazynowanie. Podsumowując rozważania stwierdzić można, że magazynowanie energii jest już trwałym elementem gry na rynku UK, ale ten sektor nadal otacza aura niepewności zarówno w zakresie ryzyka technologicznego, jak i ryzyka politycznego. Wraz z postępującym stosowaniem magazynowania w rosnącej liczbie realizowanych projektów pojawiać się będzie zapewne jedna lub kilka technologii dominujących, gdy operatorzy dobierać będą najlepsze rozwiązania

dla swoich potrzeb, podczas gdy administracja rządowa decydować będzie o sposobie funkcjonowania otoczenia legislacyjnego - systemu wspieranego przez mechanizmy rynku.

■ Literatura

- [1] T. Bayar: Energy Storage-Still a risky proposition. Power Engineering Int. (PEI). Dec 2014.
- [2] European Commission: Energy Storage - A key technology for decentralized Power..., Eur. Communities, Brussels 2001.
- [3] US Department of Energy: Grid Energy Storage, Dec. 2013.
- [4] Cristopia - Thermal Energy Storage Inc., 2010.
- [5] Electric Power Research Institute: MISO Energy Storage Study Phase 1. Report Palo Alto. Cal 2011
- [6] Department Environment and Heritage, Australian Greenhouse Office: Advanced Electricity Storage Technologies Programme. Commonwealth of Australia, 2005.
- [7] Renewable Technologies Working Group: Electricity Storage, White Paper Draft www.GoodCompanyAssociates.com, Austin Tex., Sept. 2008.
- [8] Red Mountains Insights LLC: Utility Energy Storage Market Forecast to 2020. Red Mountain 2015.

■ Wybrane przykłady projektów magazynowania energii w USA

Źródło: Energy Storage Council, Pearl Street Inc.

W eksploatacji ciągłej:

1. Instalacja z kołem zamachowym o mocy 1 MW, współpracująca z siecią trakcji kolejowej
2. Elektrownia pompowa 850 MW Oglethorpe Power, Rocky Mountain
3. Obiekt 110 MW z technologią sprężonego powietrza (CAES) - Alabama Electric Cooperative
4. Zespół akumulatorowy 20 MW, Puerto Rico Electric Power Authority
5. Zespół akumulatorowy 3,5 MW ze sterowaniem tyrystorowym

W eksploatacji okresowej:

6. Obiekt CAES Norton o zdolności magazynowej do 2700 MW
7. Licencja przyznana CAES Markham, 540 MW
8. Elektrownia CAES Eagle Grove (100-200) MW, współpracująca z lokalnymi farmami wiatrowymi

Obiekty w budowie:

9. Bateria przepływową Vanadium Redox 250 kW Pacificorp
10. Bateria przepływową ZnBr 250 kW Detroit Edison Co
11. Wielomegawatowy zespół akumulatorowy Golden Valley Electric

Obiekty demonstracyjne:

12. Zespół ogniw paliwowych 12 MW w Tennessee Valley
13. Zespół akumulatorowy NaS, 500 kW Pacificorp

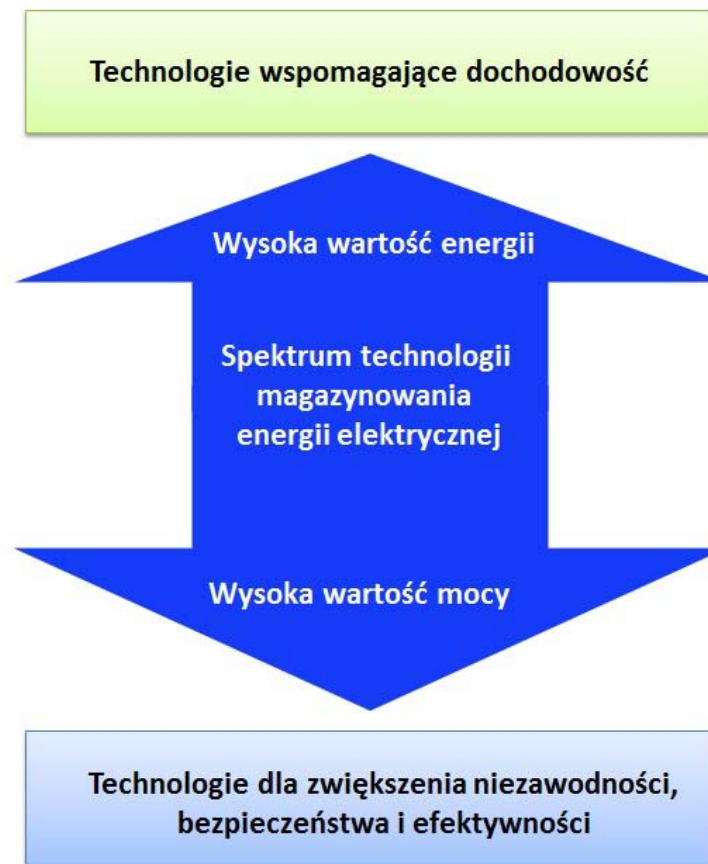
Projektowane:

14. Zespół komercyjno-demonstracyjny, Central Illinois
15. Korytarz przesyłu generacji rozproszonej z demonstracją technologii mikrosieci i technologii magazynowania energii
16. Wielomegawatowy zespół akumulatorowy

Wycofane z eksploatacji:

17. Akumulator ołowiono-kwasowy 10 MW Chino, Kalifornia





Rys. 7. Klasyfikacja technologii magazynowania (Źródło: www.electricitystorage.org)

Tab. 1. Źródła energii pierwotnej ich konwersja i magazynowanie energii (Źródło: EC/EUR 19978)

Źródła energii		Rodzaj energii		Magazynowanie energii
Paliwa kopalne	Konwersja	Energia elektryczna	Magazynowanie, odzyskiwanie	Baterie
Paliwa jądrowe		Ciepło		Koła zamachowe
Odnawialne źródła energii		Chłód		Odwracalne ogniwa paliwowe
		Transport		Pola elektro-magnetyczne
		Energia kinetyczna		Sprężone powietrze
		Sprężone powietrze		Zbiorniki ciepła
				Elektrownie pompowe