

Z LABORATORIUM DO RZECZYWISTOŚCI

Sezonowe magazynowanie energii cieplnej w bateriach termochemicznych

Maciej Bujalski, Bartosz Starosielec

Mostostal Warszawa SA

Wstępne wyniki pomiarów instalacji pilotażowej powstałej w ramach projektu MERITS świadczą o możliwości zastosowania kompaktowego, sezonowego magazynowania energii pochodzącej z promieniowania słonecznego z wykorzystaniem metody termochemicznej. Szczególnym osiągnięciem jest przeniesienie po raz pierwszy technologii ze skali laboratoryjnej do rzeczywistej.

Największy udział w zużyciu energii końcowej zarówno w Polsce, jak i Europie przypada na budynki mieszkalne i usługowe, stanowiąc łącznie około 40% zapotrzebowania. Jednocześnie większość energii zużywana jest na cele ogrzewania pomieszczeń i przygotowania ciepłej wody użytkowej [1]. Pokrycie tego zapotrzebowania z OZE ma decydujące znaczenie w realizacji założeń polityki klimatyczno-energetycznej UE.

Największy potencjał techniczny wykorzystania OZE do produkcji energii cieplnej jest przypisywany energetyce słonecznej [1]. Zasadniczymi barierami

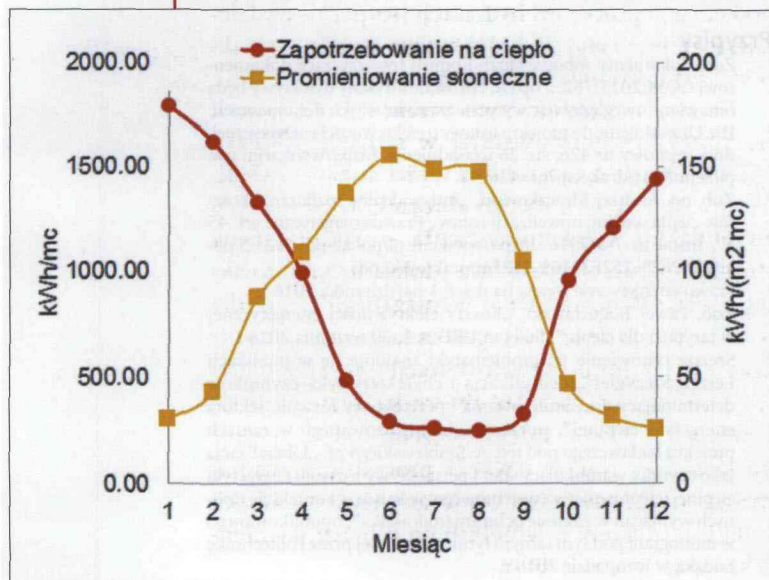
rozwoju tej gałęzi energetyki jest rozbieżność między możliwościami produkcyjnymi a zapotrzebowaniem na przestrzeni całego roku (zobrazowane na rys. 1). Wyzwanie stanowią również trudne do prognozowania, dynamiczne wahania wydajności instalacji solarnych. Wobec powyższego, magazynowanie energii cieplnej na przestrzeni dzień-noc oraz pór roku stanowi kluczowy warunek efektywnej i niezawodnej pracy systemów solarnych.

Krótkoterminowe (dzień-noc) magazynowanie energii cieplnej, polegające na wykorzystaniu wodnych buforów ciepła, jest technologią dojrzałą i stosunkowo łatwą w zastosowaniu. Długoterminowe magazynowanie (pozwalające bilansować różnice między zapotrzebowaniem a wytwarzaniem energii na przestrzeni pór roku – rys. 1) wymaga opracowania technologii, która będzie charakteryzować się niskimi stratami energii oraz dużą gęstością energetyczną. Technologią odpowiadającą temu wyzwaniu jest termochemiczne magazynowanie energii, opracowane w ramach projektu MERITS [2].

Podstawowe parametry magazynów energii cieplnej

Na możliwość wykorzystania konkretnego rozwiązania magazynowania energii wpływa wiele czynników. Podstawowe znaczenie ma sposób późniejszego wykorzystania energii. W przypadku budynków mieszkalnych i usługowych, dominują wodne systemy ciepłne, w których temperatura oraz strumień są

RYS. 1
Przykładowy profil zapotrzebowania na energię cieplną w budynku mieszkalnym i natężenie promieniowania słonecznego w ciągu roku



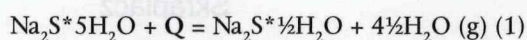
zwykle stosunkowo precyzyjnie regulowane. Układ magazynujący musi więc być w stanie zapewnić na wyjściu takie parametry, które pozwolą na optymalną pracę zasilanych instalacji. W nowoczesnym budownictwie wyposażonym w niskoparametrową instalację grzewczą, ze względu na przygotowanie ciepłej wody użytkowej, temperatura na wyjściu z magazynu nie powinna być niższa niż 50°C w przypadku zabudowy jednorodzinnej i 65°C w przypadku pozostałych obiektów. Przepływ czynnika roboczego również musi być dostosowany, tak aby strumień energii był w stanie zbilansować potrzeby budynku w określonym czasie.

Kluczowa jest także sprawność energetyczna magazynu ciepła, czyli stosunek ilości energii odzyskanej z magazynu do ilości energii uprzednio skierowanej do zakumulowania. Im większa jest sprawność układu, tym efektywniejsze wykorzystanie mocy

nika przekłada się zazwyczaj na niższe nakłady niezbędne do budowy systemu, mniejszą ilość zużytych materiałów oraz mniejszą przestrzeń niezbędną do przeznaczenia na magazyn.

Termochemiczne magazynowanie energii cieplnej

Energia cieplna może być magazynowana za pomocą metod polegających na wykorzystaniu zjawiska ciepła właściwego czynnika roboczego, zjawiska zmiany jego fazy lub termochemicznych. Te ostatnie polegają na wykorzystaniu ciepła odwracalnych reakcji chemicznych [2]. Przykładem jest reakcja, w wyniku której siarczek sodu w formie półwodnego hydratu przekształca się do pentahydratu, tworząc uwodnioną sól.



Forma magazynowania energii:	Objętość (10 GJ):	Gęstość energetyczna:
Ropa naftowa	0,27 m ³	36,0 GJ/m ³
Benzyna	0,31 m ³	32,0 GJ/m ³
Bioetanol	0,46 m ³	22,0 GJ/m ³
Węgiel kamienny	0,48 m ³	20,5 GJ/m ³
Drewno	1,9 m ³	5,4 GJ/m ³
Hydrat siarczku sodu, Na₂S·xH₂O	3,3 m³	3,0 GJ/m³
Bateria Ni-MH	8,3 m ³	1,2 GJ/m ³
Wodór, H ₂ (100 bar)	8,3 m ³	1,2 GJ/m ³
Trójwodny octan sodu, C ₂ H ₃ NaO ₅ (PCM)	20 m ³	0,40 GJ/m ³
Akumulator kwasowo-olowiowy	28 m ³	0,36 GJ/m ³
Woda (przy Δt = 60°C)	40 m ³	0,25 GJ/m ³
Wanadowa bateria przepływowa	111 m ³	0,09 GJ/m ³
Metan, CH ₄	288 m ³	0,035 GJ/m ³
Wody gruntowe (przy Δt = 6°C)	404 m ³	0,025 GJ/m ³
Wodór, H ₂ (1 bar)	842 m ³	0,012 GJ/m ³

TAB. 1
Gęstość energetyczna paliw i technologii magazynowania energii

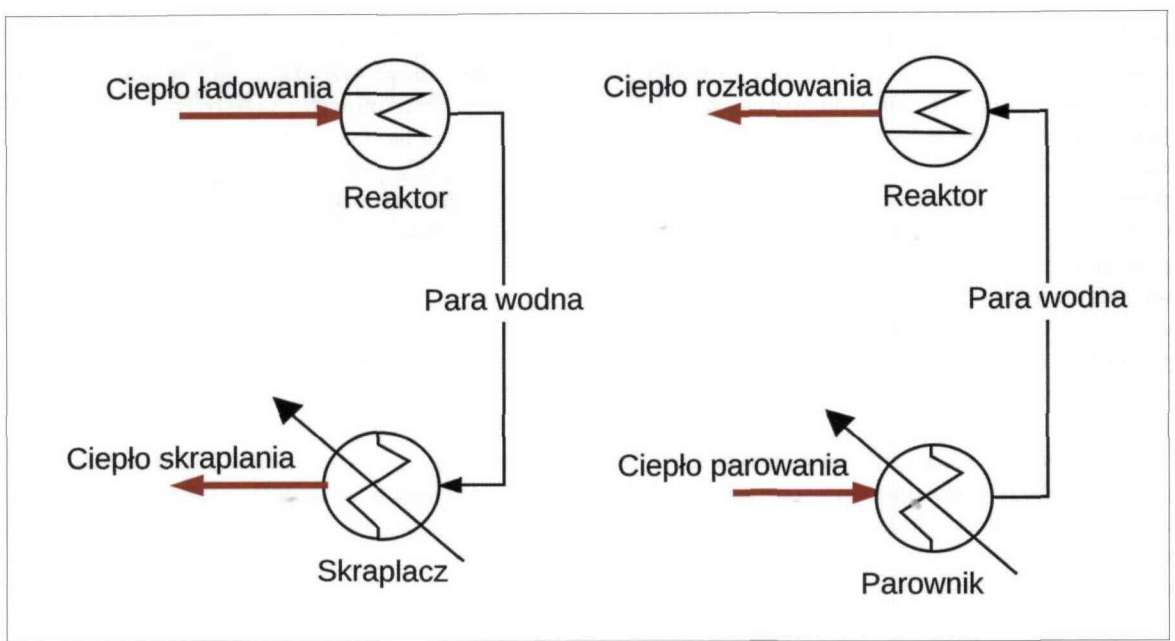
wytwórczych. Wpływ na sprawność magazynowania energii mają straty procesowe ładowania i rozładowywania oraz straty statyczne. W zależności od zastosowanej technologii, stosunek strat procesowych do statycznych będzie się zmieniał. Jednocześnie im większe są straty statyczne, tym mniej opłacalne jest długookresowe magazynowanie energii. Ponieważ układ sezonowego magazynowania ciepła powinien pracować przez przynajmniej 30 lat, ważne jest by zapewnić stałą, możliwie wysoką sprawność urządzeń w przynajmniej 30-40 cyklach pracy.

Kolejnym istotnym parametrem magazynu ciepła jest gęstość energetyczna. Zazwyczaj wyrażana jest w giga dżulach na metr sześcienny i mówi o tym, jak dużą ilość energii da się zakumulować w jednostce objętości. Porównanie gęstości energetycznej powszechnie stosowanych paliw i rozwiązań magazynowania energii zestawiono w tabeli 1.

Gęstość energetyczna jest bardzo ważna z ekonomicznego punktu widzenia budowy i eksploatacji magazynów ciepła. Wysoka wartość tego współczyn-

Podgrzewanie uwodnionego hydratu soli do temperatury około 80°C prowadzi do dehydratacji (desorpcji) soli. W sytuacji odwrotnej, gdy sól jest poddawana procesowi hydratacji (sorpcji) – wydzielane jest ciepło reakcji, które można wykorzystać do podgrzania czynnika roboczego.

Na rys. 3 przedstawiono przekrój i rzut baterii termochemicznej powstałej w ramach projektu MERITS, która działa według wyżej podanej zasady. Bateria składa się z dwóch zbiorników, w których znajdują się wymienniki ciepła – reaktor (górną stronę) i parownik/skraplacz (dolną stronę). Reaktor zapewnia dostarczenie wymaganego ciepła dla procesu dehydratacji soli (proces ładowania baterii) oraz jego odbiór podczas hydratacji (proces rozładowywania baterii). Między zbiornikami znajduje się wewnętrzny zawór, który je szczelnie odseparowuje od siebie. W trakcie trwania procesu ładowania/rozładowania zawór jest otwierany. Hydrat siarczku sodu jest ułożony w lamelach na żebrach wymiennika będącego reaktorem.



W celu skroplenia pary wodnej bądź jej wytworzenia konieczne jest dostarczenie lub odebranie odpowiedniej energii w trakcie cyklu pracy baterii (rys. 3). Możliwe jest zastosowanie do tego celu niskoparametrowego źródła ciepła, jak gruntowy wymiennik ciepła [3].

Instalacja prototypowa MERITS

Pierwsza na świecie prototypowa instalacja do termochemicznego magazynowania ciepła pochodzącego ze słońca, która współpracuje z instalacją

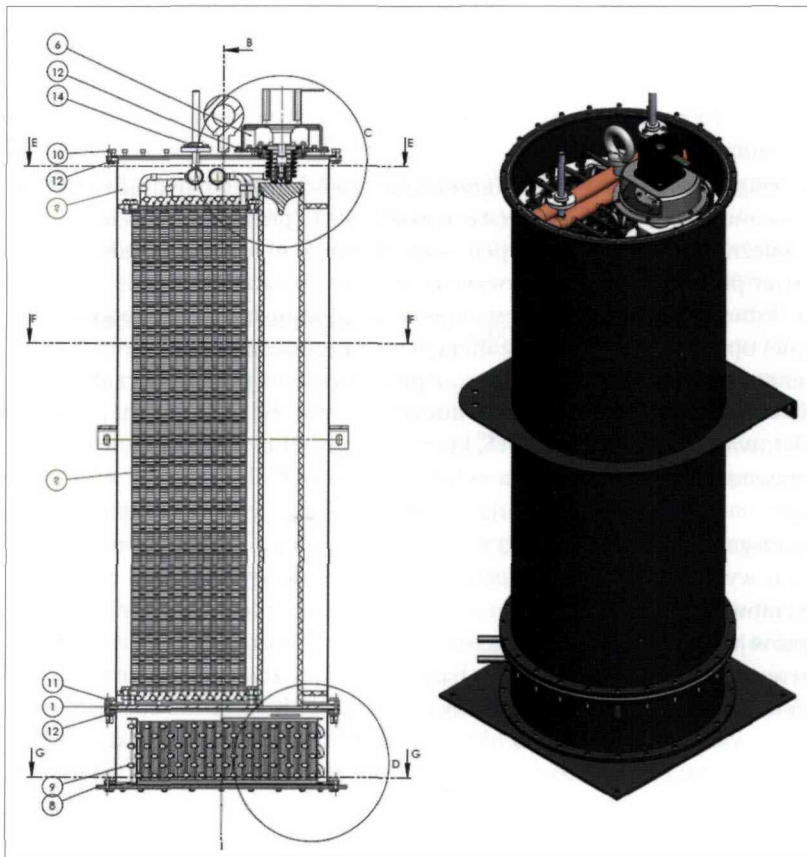
grzewczą, chłodniczą oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej, powstała na początku 2015 roku w Warszawie. System demonstracyjny został zaimplementowany w specjalnie przystosowanym kontenerze morskim. Podzielony został on na trzy sekcje: dozorową, procesową i symulacyjną. Poza tym, na dachu kontenera zainstalowano zestaw czterech kolektorów słonecznych o całkowitej powierzchni absorbera wynoszącej 12,4 m².

Część dozorowa kontenera jest najmniejsza i znajduje się w połowie długości kontenera, rozdzielając

sekcje procesową i symulacyjną. Środkowy segment kontenera jako jedyny nie posiada termoizolacji przegród, będąc przy tym silnie wentylowaną przestrzenią. Wewnątrz znajdują się dwie rozdzielnice elektryczne: główna zasilająca i sterująco-pomiarowa, dry-cooler służący do odprowadzania nadmiarowego ciepła niskoparametrowego z systemu chłodzenia absorpcyjnego oraz wanna laboratoryjna, która pełni funkcję dolnego źródła ciepła/chłodu (tym samym symulując gruntowy wymiennik ciepła) dla baterii termochemicznych. Część ta odpowiada za nadzór nad wszystkimi systemami oraz pozwala na łatwe diagnozowanie występujących problemów bez przerywania eksperymentów.

Sekcja procesowa znajduje się od strony wrót. Przegrody

RYS. 3
Przekrój i widok baterii
termochemicznej
chemicznej pracującej
zgodnie z opisaną
reakcją chemiczną (1)



tej części kontenera są zaizolowane termicznie pianką poliuretanową o grubości około 12 cm. Wewnątrz znajdują się takie systemy, jak:

- instalacja przygotowania ciepła na cele grzewcze z regulacją pogodową,
- bezzasobnikowa instalacja przygotowania ciepłej wody użytkowej,
- oparty na chłodziarce adsorpcyjnej napędzanej energią cieplną układ przygotowania wody lodowej,
- konwencjonalny system krótkookresowego magazynowania energii cieplnej,
- niekonwencjonalny system długookresowego (sezonowego) magazynowania energii cieplnej w bateriach termochemicznych,
- układ napędzający wodną instalację kolektorów słonecznych z pośredniczącym naczyniem odwadniającym.

Trzeci segment symuluje zachowanie małego, jednorodzinne domu niskoenergetycznego. Przegrody tej części kontenera są zaizolowane pianką poliuretanową o grubości 15 cm, a od strony południowej zlokalizowano dwa okna o wysokim współczynniku izolacyjności cieplnej. W podłodze zainstalowano system ogrzewania podłogowego, natomiast pod sufitem zawieszono belki chłodzące. W środku umieszczono również urządzenia, które pozwalają symulować zyski ciepła od ludzi oraz rozbiór ciepłej wody użytkowej.

System długookresowego magazynowania energii cieplnej składa się łącznie z dwóch zestawów baterii termochemicznych o łącznej pojemności około 350 MJ. Każdy zestaw zawiera cztery jednostki (fot. 2), które są podłączone do układu za pośrednictwem wodnego buforu ciepła. Bufor ten stanowi centralny punkt instalacji, do którego ciepło dostarczane jest z kolektorów słonecznych, a odbierane przez pozostałe układy. W przypadku nadwyżek ciepła z instalacji solarnej, energia w pierwszej kolejności magazynowana jest w buforze, a następnie kierowana do termochemicz-

”

System długookresowego magazynowania energii cieplnej składa się z dwóch zestawów baterii termochemicznych o łącznej pojemności około 350 MJ

nej akumulacji. Analogicznie w przypadku deficytu energii w magazynie krótkookresowym następuje rozładowanie baterii.

Wyniki pomiarów

Na rys. 4 przedstawiono wyniki pomiaru mocy cieplnej podczas cyklu ładowania i rozładowania dla jednej baterii termochemicznej. Podczas ładowania dostarczane jest ciepło po stronie reaktora, wynoszące

FOT. 1

Zdjęcie kontenera z instalacją demonstracyjną projektu MERITS (fot. Mostostal Warszawa SA)



FOT. 2

Zdjęcie zestawu czterech baterii termochemicznych opracowanych w ramach projektu MERITS (fot. Mostostal Warszawa SA)



ponad 2000 W w początkowej fazie procesu. Moc cieplna stabilizuje się na poziomie około 400 W po około 16 godzinach, co oznacza, że nie następuje już przekazywanie energii do substancji magazynującej. Temperatura wody ze zbiornika ciepła zasilająca górny wymiennik wynosi około 80-85°C w trakcie trwania procesu. W tym czasie do baterii przekazano około 43,5 MJ energii cieplnej. Podczas cyklu rozładowania, moc oddawana z baterii poprzez reaktor do zasobnika ciepła wynosi blisko 500 W w czasie 8 godzin, co odpowiada energii wynoszącej 14,7 MJ. Temperatura wody na wylocie z reaktora baterii w instalacji demonstracyjnej wynosi około 50-60°C, co pozwala na jej wykorzystanie na cele ogrzewania podłogowego i przygotowania ciepłej wody użytkowej.

Wstępne wyniki pomiarów instalacji pilotażowej powstałej w ramach projektu MERITS świadczą o możliwości zastosowania kompaktowego,

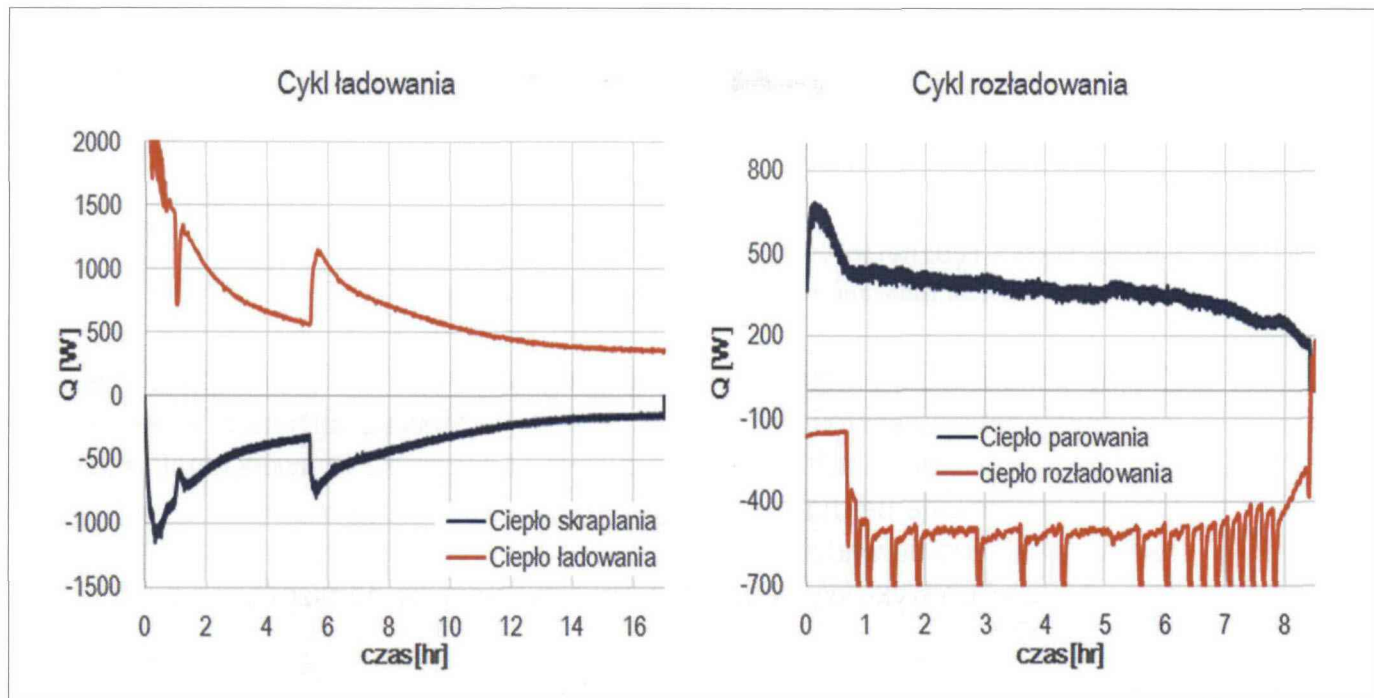
sezonowego magazynowania energii pochodzącej z promieniowania słonecznego z wykorzystaniem metody termochemicznej. Szczególnym osiągnięciem jest przeniesienie po raz pierwszy technologii ze skali laboratoryjnej do rzeczywistej. Jej największą zaletą jest możliwość sezonowego magazynowania energii słonecznej i wykorzystanie jej w okresie zapotrzebowania, kiedy możliwości jej produkcji są bardzo ograniczone. Ponadto, gęstość energetyczna opracowanego rozwiązania przewyższa możliwości konwencjonalnych zasobników wodnych, jednak wciąż istnieje znaczny potencjał poprawy.

Dalsze prace nad technologią będą kontynuowane w ramach kolejnego projektu badawczo-rozwojowego o nazwie CREATE, którego kluczowym partnerem jest Mostostal Warszawa SA.

Klauzula

Program FP/2007-2013

Numer grantu No ENER/FP7/295983 (MERITS)



Referencje

- [1] Bujalski M., Starosielec B., *Magazynowanie energii na przykładzie zespołu budynków wielorodzinnych wyposażonych w OZE*, Energetyka Ciepła i Zawodowa, nr 4, 48-54, 2016.
 [2] www.merits.eu

- [3] Luisa F. Cabeza (Editor), *Advances in Thermal Energy Storage Systems: Methods and Applications*, Woodhead Publishing 2014.
 [4] Yu N., Wang L.W, Wang R.Z., *Sorption thermal storage for solar energy*, Progress in Energy and Combustion Science 39, 489-514, 2013.

RYS. 4

Ciepło podczas ładowania i rozładowania baterii termochemicznej w funkcji czasu