

Michał KOZIOŁ*, Łukasz NAGI*

TECHNOLOGIE MAGAZYNOWANIA ENERGII STOSOWANE W INSTALACJACH ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII

W artykule dokonano przeglądu obecnie dostępnych technologii budowy systemów magazynowania energii elektrycznej, wytworzonej w odnawialnych źródłach energii takich jak elektrownie fotowoltaiczne i elektrownie wiatrowe. Omówiono najważniejsze parametry urządzeń magazynujących, oraz przeanalizowano ich charakterystykę pracy. Przedstawiono podstawowe zasady doboru urządzeń magazynujących dla odnawialnych źródeł energii.

SŁOWA KLUCZOWE: magazynowanie energii, odnawialne źródła energii, elektrownie fotowoltaiczne, elektrownie wiatrowe.

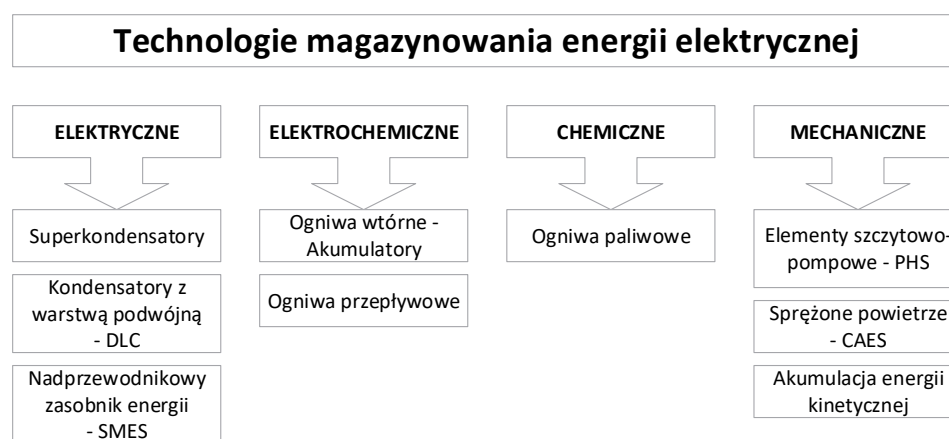
1. WPROWADZENIE

Magazynowanie energii elektrycznej jest obecnie bardzo ważnym i ciągle rozwijanym zagadnieniem w niemal każdym segmencie przemysłu. Projektowane i budowane są systemy i układy magazynujące energię elektryczną w oparciu o różnego rodzaju technologie (rys. 1), która dobierana jest w zależności od przeznaczenia, możliwości i warunków w jakich te systemy będą musiały pracować. Oprócz zróżnicowanej konstrukcji poszczególnych technologii magazynujących energię elektryczną, różne będą także parametry funkcjonalne, takie jak: możliwa do uzyskania moc elektryczna, sprawność konwersji energii, pojemność oraz czas eksploatacji wyrażany najczęściej w liczby cykli ładowania-rozładowania lub w latach.

Magazynowanie energii elektrycznej jest także ważnym elementem w budowie instalacji odnawialnych źródeł energii elektrycznej, takich jak elektrownie fotowoltaiczne czy elektrownie wiatrowe. Instalacje tego typu narażone są na losowe wahania wielkości wytwarzanej energii elektrycznej, które wynikają m.in. z wpływu zmiennych warunków atmosferycznych, pory dnia oraz zróżnicowanego zapotrzebowania na energię elektryczną. Ma to znaczny wpływ na efektywne wykorzystanie wytworzonej energii elektrycznej. Sposobem na ogra-

* Politechnika Opolska

niczenie tego typu sytuacji jest zastosowanie systemu magazynowania energii elektrycznej jako elementu buforującego, który umożliwi przejęcie nadmiaru wyprodukowanej energii oraz w przypadku spadku lub zaniku wytwarzania energii przez źródło, podtrzymanie i stabilizację zasilania.



Rys. 1. Podstawowe technologie magazynowania energii elektrycznej [1]

Do budowy systemów magazynowania energii elektrycznej wytworzonej w instalacjach odnawialnych źródeł energii (OZE) najczęściej stosuje się dedykowane, głównie bezobsługowe akumulatory kwasowo-ołowiowe. Akumulatory, w tego typu zastosowaniu, powinny charakteryzować się takimi właściwościami, jak:

- przystosowane do pracy cyklicznej,
- nie wydzielanie trujących gazów przy normalnej pracy,
- odporność na częste, głębokie rozładowania,
- trwała i szczelna konstrukcja zewnętrzna,
- wysoka sprawność.

2. RODZAJE KONSTRUKCJI AKUMULATORÓW KWASOWO-OŁOWIOWYCH

Akumulatory kwasowo-ołowiowe budowane są w oparciu o trzy podstawowe technologie wykonania:

Akumulatory klasyczne, obsługowe w których zastosowany jest płynny elektrolit. Najczęściej jest to roztwór kwasu siarkowego (H_2SO_4), natomiast elektrody zbudowane są z ołowiu i tlenku ołowiu. Akumulatory te wymagają przeprowadzania okresowych kontroli gęstości oraz poziomu elektrolitu, którego ubytek

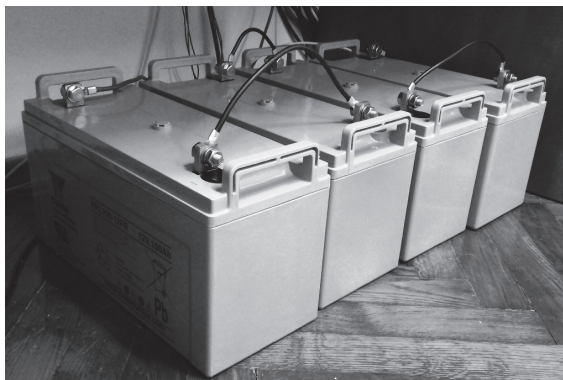
następuje podczas eksploatacji akumulatora. W pełni naładowanym akumulatorze gęstość elektrolitu (kwasu siarkowego) jest maksymalna, z kolei podczas rozładowania w wyniku zachodzących reakcji chemicznych, stężenie maleje i przy całkowicie rozładowanym akumulatorze elektrolit przyjmuje postać wody destylowanej [3-4, 6].

W systemach magazynowania energii stosowanie akumulatorów obsługowych jest już mało spotykane. Stosowane są natomiast akumulatory wykonane w technologii klasycznej, lecz w wersji bezobsługowej (rys. 2). Wymagają one pomieszczeń o odpowiednich warunkach magazynowania.



Rys. 2. Przykładowy układ magazynowania energii elektrycznej o pojemności 910Ah (12V) do zastosowania w instalacjach fotowoltaicznych [2]

Bezobsługowe akumulatory typu AGM (ang. Absorbed Glass Mat) posiadają elektrolit zgromadzony pomiędzy elektrodami w nasączonych matach z włókna szklanego, natomiast elektrody wykonane są głównie z ołowiu (Pb) i ditlenku ołowiu (PbO_2). Tego typu konstrukcja umożliwia wewnętrzne formowanie się większej ilości energii w sytuacji, gdy wystąpi znaczny pobór mocy. Akumulatory typu AGM charakteryzują się stosunkowo niższą rezystancją wewnętrzną, niż pozostałe konstrukcje akumulatorów bezobsługowych, co również wpływa na wyższą wydajność energii podczas rozładowania przy dużych prądach. Akumulatory te standardowo wyposażone są w jednokierunkowe zawory bezpieczeństwa (VRLA – ang. Valve Regulated Lead Acid), które umożliwiają odprowadzenie ewentualnego nadmiaru gazów mogących powstać w skutek przeładowania [3, 4]. Przykładowy układ magazynowania energii elektrycznej, zbudowany z akumulatorów typu AGM, zastosowany w elektrowni wiatrowej przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Akumulatory typu AGM połączone szeregowo (48V/100Ah) w układzie do magazynowania energii elektrycznej z elektrowni wiatrowej, zainstalowanej na budynku Instytutu Elektroenergetyki i Energii Odnawialnej Politechniki Opolskiej [opracowanie własne]

Akumulatory żelowe (ang. Gel) bezobsługowe akumulatory w których elektrolit jest w postaci żelu. Taką postać elektrolitu uzyskuje się poprzez dodanie do niego np. tlenku krzemu (SiO_2). Dzięki takiej budowie akumulatory tego typu odporne są na wstrząsy i wibracje, oraz mogą pracować w podwyższonej temperaturze. Charakterystyczną cechą akumulatorów żelowych jest także odporność na głębokie rozładowania oraz mogące występować przeładowania i zwarcia. Z uwagi na technologię wykonania dobrze sprawdzają się w powtarzalnej pracy cyklicznej (rys. 4).

Pewnym mankamentem tych akumulatorów jest jednak znacznie większa rezystancja wewnętrzna niż np. akumulatorów typu AGM. Akumulatory te nie nadają się do pracy przy dużych prądach rozładowania oraz w niskich temperaturach [3-4, 6].



Rys. 4. Przykładowe oznaczenia akumulatora żelowego (12V/110Ah) [5]

Często stosuje się określenie - akumulator żelowy również dla akumulatorów typu AGM, co nie do końca jest właściwe. Akumulatory te oprócz cechy bezobsługowej różnią się parametrami pracy, co z kolei ma duży wpływ na właściwy dobór typu technologii wykonania akumulatora do przewidywanych warunków jego pracy. Ważnym aspektem dla obu typów akumulatorów jest także ustalenie właściwych parametrów ładowania i rozładowania.

3. PODSTAWOWE PARAMETRY AKUMULATORÓW

Podstawowe parametry użytkowe akumulatorów to: napięcie znamionowe, pojemność znamionowa, dopuszczalne napięcie rozładowania, zakres temperatury pracy. Przy czym najczęściej wskazane przez producenta parametry znamionowe przewidziane są dla temperatury pracy wynoszącej 20°C lub 25°C. Poniżej przedstawiono krótką charakterystykę poszczególnych parametrów użytkowych [4, 3]:

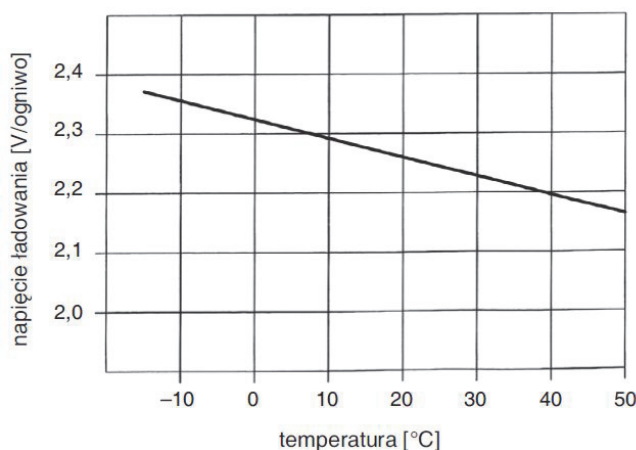
- pojemność znamionowa [C] (wyrażana w Ah), której wartość podaje producent, przewidziana jest najczęściej dla 20h cyklu rozładowania akumulatora. Na tej podstawie, z zależności (1) można wyznaczyć prąd znamionowy I_{ZN} , który można będzie pobierać z akumulatora, nie przekraczając dopuszczalnego napięcia rozładowania po upływie 20h. Dla dużych systemów magazynowania energii elektrycznej, które składają się z większej liczby akumulatorów, producenci przedstawiają inne czasy cyklu rozładowania, odnoszące się do pojemności całego systemu.

$$I_{ZN} [A] = \frac{C [Ah]}{X [h]} \quad (1)$$

gdzie: I_{ZN} – prąd znamionowy, C – pojemność znamionowa akumulatora, X – cykl rozładowania akumulatora lub całego systemu, wyrażony w godzinach.

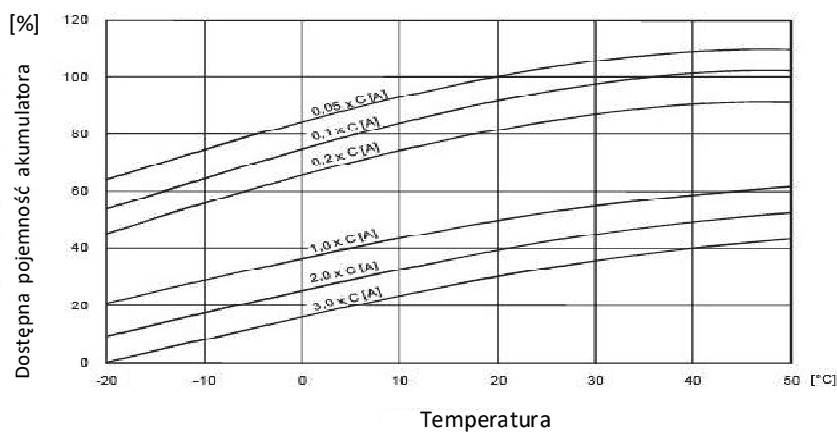
- dopuszczalne napięcie rozładowania – określona przez producenta wartość napięcia rozładowania akumulatora przy której nie wystąpi trwały spadek jego wydajności. Wartość dopuszczalnego napięcia rozładowania podawana przez producenta ustalana jest dla określonej temperatury pracy akumulatora, wynoszącej najczęściej 20°C lub 25°C.
- temperatura pracy – jest jednym z ważniejszych parametrów akumulatora, gdyż ma istotny wpływ na parametry jego pracy oraz bezpieczeństwo. Dla niższych temperatur, do pełnego naładowania akumulatora, napięcie ładowania powinno być wyższe natomiast przy wyższych temperaturach napięcie ładowania należy obniżyć celem uniknięcia przebicia termicznego. Dotyczy to zarówno akumulatorów typu AGM jak i żelowych. Niebezpieczeństwo przebicia termicznego występuje głównie w trakcie pracy cyklicznej akumu-

latora, gdzie najczęściej występują duże prądy ładowania. Zalecenia dotyczące kompensacji wpływu temperatury pracy akumulatora każdy producent określa indywidualnie dla swoich produktów. Przykładową zależność napięcia ładowania akumulatora w odniesieniu do jednego ogniwa od temperatury pracy przedstawia rys. 5.



Rys. 5. Przykładowa charakterystyka zależności napięcia ładowania akumulatora od temperatury pracy [6]

Temperatura pracy ma również duży wpływ na pojemność akumulatora. Im temperatura pracy niższa, tym dostępna pojemność akumulatora jest mniejsza dla tego samego prądu rozładowania (rys. 6).

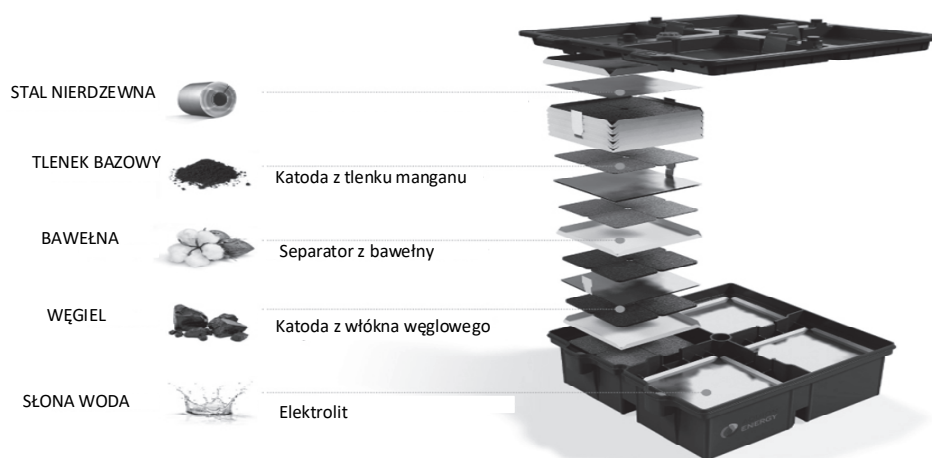


Rys. 6. Przykładowa charakterystyka wpływu temperatury i prądu rozładowania na dostępną pojemność akumulatora [6]

4. NOWE TECHNOLOGIE MAGAZYNOWANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ

W niniejszym rozdziale zaprezentowano kilka nowych rozwiązań, umożliwiających magazynowanie energii elektrycznej, które swymi parametrami i możliwościami przewyższają powszechnie dostępne rozwiązania. Są to m.in.:

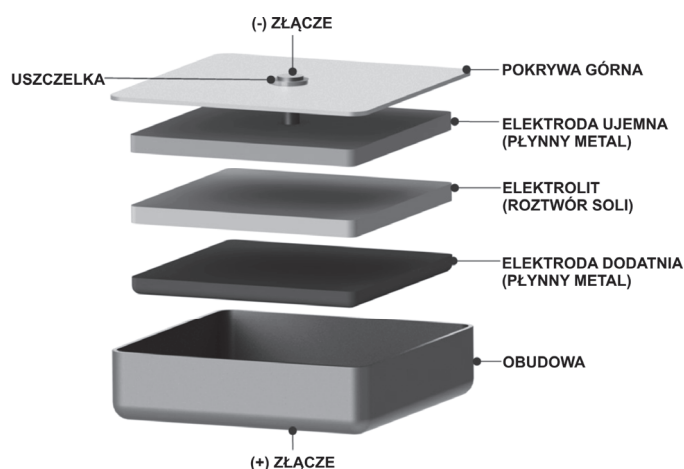
Akumulatory wykonane w technologii AHI (ang. Aqueous Hybrid Ion) zbudowane z takich materiałów jak: stal nierdzewna, wykorzystana jako łącznik galwaniczny; katoda z tlenku magnezu; separatory z bawełny syntetycznej; anoda z fosforanu tytanowo-węglowego, oraz słona woda jako elektrolit. Schemat ogólny budowy akumulatora zilustrowano na rys. 7. Akumulatory te przystosowane są do cyklicznego całkowitego rozładowania do 100% pojemności (3000 cykli przy 100% poziomie rozładowania; 6000 cykli przy 50% poziomie rozładowania). Podwyższona temperatura pracy nie wpływa negatywnie na żywotność akumulatorów. Zlecona temperatura pracy akumulatorów – AHI zawiera się w przedziale od -5°C do $+40^{\circ}\text{C}$ [7].



Rys. 7. Przykładowa charakterystyka wpływu temperatury i prądu rozładowania na dostępną pojemność akumulatora [7]

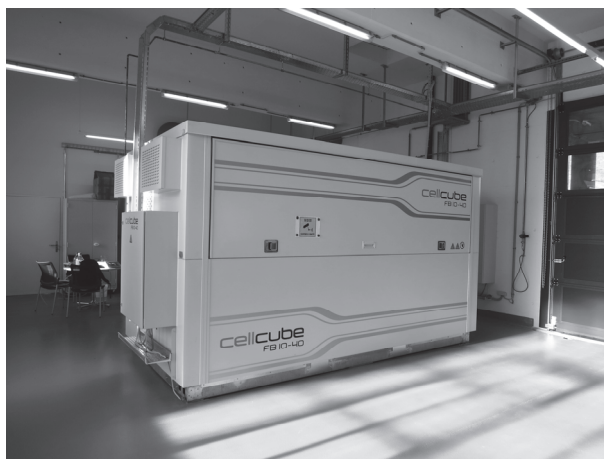
Jedną z innowacyjnych technologii budowy akumulatorów, która jest w dalszym ciągu rozwijana są niewątpliwie **akumulatory z elektrodami opartymi na płynnych metalach**. Specyficzna budowa tego typu akumulatorów charakteryzuje się rozwiązaniem w którym wszystkie aktywne elementy są w stanie ciekłym. Elektrody zbudowane są z magnezu (Mg) i antymonu (Sb) a oddzielający

je elektrolit jest roztworem soli. Akumulatory wykonane w tej technologii umożliwiają budowę systemów magazynowania energii, które uzyskują pojemność od 200 kWh do kilkuset MWh [8, 9]. Schemat ogólny budowy ogniwa akumulatora z elektrodami z płynnego metalu zaprezentowano na rys. 8. Tego typu akumulatory charakteryzują się bardzo małym wskaźnikiem spadku dostępnej pojemności w odniesieniu do cyklu pracy, który wynosi ok. 0,00021%(C)/cykl .



Rys. 8. Budowa ogniwa akumulatora z elektrodami opartymi na płynnych metalach [10]

Akumulatory przepływowe wanadowe VRB (ang. Vanadium Redox Battery) zbudowane są z dwóch komór, wypełnionych roztworem wanadu i kwasu siarkowego, które pełnią funkcję elektrody dodatniej i ujemnej. Elektrody te oddzielone są membraną, która umożliwia przenikanie protonom (jonom wodoru). Tego typu akumulatory charakteryzują się dużą pojemnością, praktycznie nieograniczoną liczbą cykli ładowania oraz długą żywotnością. Są bardzo odporne na głębokie, całkowite rozładowania i praktycznie nie wymagają obsługi. Temperatura pracy akumulatorów zawiera się w przedziale od 0°C do +50°C. Rozładowany akumulator można naładować lub po prostu wymienić elektrolit na roztwór o odpowiednim utlenieniu. Na rys. 9 zaprezentowano przykładowy system magazynowania energii elektrycznej wytworzonej z OZE o mocy 200 kW pojemności 400 kWh, który zainstalowany został na jednej z uczelni wyższych w Szwajcarii [1, 11].



Rys. 9. Przykładowy magazyn energii elektrycznej wytworzonej z OZE o mocy 200 kW i pojemności 400 kWh zainstalowany w Szwajcarii, system zbudowany z akumulatorów typu VRB [11]

5. PODSUMOWANIE

Odpowiedni dobór akumulatorów do budowy układów i systemów magazynowania energii elektrycznej jest ważnym aspektem z punktu widzenia właściwej pracy i poprawnej eksploatacji instalacji OZE, zwłaszcza instalacji fotowoltaicznych oraz wiatrowych. W dalszym ciągu prowadzi się prace badawcze nad udoskonaleniem dostępnych technologii oraz poszukuje nowych, wydajnych rozwiązań.

Postępujący rozwój rozproszonych instalacji OZE będzie stawiał coraz większe wymagania systemom magazynowania energii elektrycznej, które nie tylko będą miały za zadanie poprawę wykorzystania wyprodukowanej energii na potrzeby własne końcowego odbiorcy ale również będą ważnym ogniwem dla całego komercyjnego systemu dystrybucji i przesyłu energii elektrycznej. Dlatego ważnym aspektem wydaje się stałe monitorowanie dostępnych technologii, ich możliwości oraz kierunku rozwoju.

LITERATURA

- [1] Bartosik M., Kamrat W., Kaźmierkowski M., W. Lewandowski W., Pawlik M., Peryt T., Skoczkowski T., Strupczewski A., Szelağ A., Magazynowanie energii elektrycznej i gospodarka wodorowa, Prz. Elektrotechniczny, vol. 92, no. 12, pp. 332–340, 2016.
- [2] victon energy, OPzS Solar Batteries, Strona www, <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-OPzS-batteries-EN.pdf>. [dostęp: 31.01.2018].

- [3] Górecki P., Akumulatory kwasowo-ołowiowe, *Elektron. Prakt.*, vol. 2, pp. 58–65, 2015.
- [4] Bednarek K., Bugała A., Właściwości użytkowe akumulatorów kwasowo-ołowiowych, *Pozn. Univ. Technol. Acad. Journals Electr. Eng.*, vol. 92, pp. 47–60, 2017.
- [5] victon energy, Batteries, Strona www, www.victronenergy.pl/batteries/gel-and-agm-batteries, [dostęp: 31.01.2018].
- [6] Wiatr J., Akumulatory w układach zasilania urządzeń przeciwpożarowych, *elektro.info*, vol. 12, pp. 42–44, 2014.
- [7] Aquion Energy, AHI Technology, Strona www, <http://aquionenergy.com/technology/deep-cycle-battery/>, [dostęp: 31.01.2018].
- [8] Perez R., Lead-Acid Battery State of Charge vs. Voltage, *Home Power*, vol. 36, no. September, pp. 66–70, 1993.
- [9] Bradwell D. J., Kim H., Sirk A. H. C., Sadoway D. R., Magnesium-antimony liquid metal battery for stationary energy storage, *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 134, no. 4, pp. 1895–1897, 2012.
- [10] Ambri Inc., Ambri Technology, Ambri brochure, Strona www, www.ambri.com, [dostęp: 31.01.2018].
- [11] Sun and Wind Energy, Redox flow charging station – Martigny, Strona www, <http://www.sunwindenergy.com/photovoltaics-review/redox-flow-charging-station-to-installed-martigny>, [dostęp: 31.01.2018].

ENERGY STORAGE TECHNOLOGIES USED IN INSTALLATIONS OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

The article reviews the currently available technologies for the construction of electricity storage systems, produced in renewable energy sources such as photovoltaic power plants and wind farms. The most important parameters of storage devices were discussed, and their work characteristics were analyzed. Basic principles for the selection of storage devices for renewable energy sources are presented.

(Received: 13.02.2018, revised: 03.03.2018)