

Karol BEDNAREK*
Artur BUGAŁA*

WŁASNOŚCI UŻYTKOWE AKUMULATORÓW Kwasowo-ołowiowych

W pracy zajęto się parametrami użytkowymi zasobników energii elektrycznej, jakimi są akumulatory elektrochemiczne. Skupiono się na akumulatorach kwasowo-ołowiowych. Opisano najbardziej charakterystyczne eksploatacyjne parametry akumulatorów oraz ich zależności od różnych czynników. Zamieszczono uwagi eksploatacyjne związane z użytkowaniem oraz obsługą analizowanych zasobników. Przedstawiono różne metody ładowania akumulatorów adekwatne do sposobów ich użytkowania i przechowywania. Zamieszczono także charakterystyki funkcjonalne akumulatorów kwasowo-ołowiowych. Artykuł ma charakter techniczno-dydaktyczny.

SŁOWA KLUCZOWE: akumulatory kwasowo-ołowiowe, zasobniki energii, własności użytkowe akumulatorów

1. WPROWADZENIE

Współczesne społeczeństwa bardzo silnie uzależniły się egzystencjalnie i gospodarczo od dostaw energii elektrycznej zarówno w zakresie zasilania urządzeń z sieci elektroenergetycznej, jak również wykorzystania magazynów energii i źródeł stałonapięciowych. Powszechnie stosowanymi statycznymi zasobnikami energii są akumulatory (baterie) elektrochemiczne [1–5].

Zastosowania akumulatorów (bądź innych zasobników energii) związane są głównie z zagadnieniami statycznych źródeł energii w systemach zasilania pojazdów (wykorzystywanych przede wszystkim do uruchomienia pojazdów oraz zasilania odbiorników, gdy nie pracuje silnik, a obecnie również w systemach zasilania pojazdów elektrycznych i hybrydowych), z układami oświetlenia awaryjnego, systemami alarmowymi i przeciwpożarowymi, z zasilaniem elektrycznych, elektronicznych i informatycznych systemów mobilnych, takich jak np. sprzęt powszechnego użytku, przenośne urządzenia medyczne, sprzęt teleinformatyczny, a także z funkcjonowaniem układów zasilania gwarantowanego (których główną grupę stanowią zasilacze UPS) [2, 4, 6].

* Politechnika Poznańska.

Znajomość parametrów technicznych oraz własności użytkowych akumulatorów i modułów bateryjnych stosowanych w układach zasilania umożliwia optymalne i efektywne ich wykorzystanie, z czym wiążą się zagadnienia prawidłowości pracy osprzętu elektrycznego oraz uzyskiwania oszczędności ekonomicznych związanych z eksploatacją, wymianą i konserwacją tych urządzeń [1, 2, 6, 7, 10].

Zamieszczone w pracy rozważania mogą być wykorzystane przez osoby zajmujące się eksploatacją i obsługą akumulatorów kwasowo-ołowiowych, systemów zawierających takie akumulatory bądź do celów dydaktycznych.

2. AKUMULATORY JAKO ŹRÓDŁA (ZASOBNIKI) ENERGII

Jeśli w elektrolicie (wodnym roztworze kwasu, zasady lub soli) zostanie zanurzona elektroda z materiału przewodzącego, to będzie ona miała określony potencjał elektrochemiczny, którego wartość zależy od zastosowanego elektrolitu oraz rodzaju materiału elektrody. Po zanurzeniu w elektrolicie dwóch elektrod z różnych materiałów przewodzących każda z nich będzie miała inny potencjał elektrochemiczny. Powstanie zatem różnica potencjałów, czyli napięcie źródłowe (SEM) [2–6].

W celu uzyskania ogniwa elektrochemicznego o określonych parametrach należy odpowiednio dobrać elektrolit oraz materiały elektrod. W zależności od stopnia odwracalności zachodzących reakcji chemicznych ogniwa można podzielić na pierwotne (w których zachodzą nieodwracalne procesy i nie można w nich uzupełniać pobranej energii elektrycznej) oraz wtórne (w których z uwagi na odwracalność zachodzących reakcji można uzupełniać pobraną energię i ponownie je wykorzystywać) [2, 4, 5].

W akumulatorach (lub inaczej wtórnych ogniwach elektrochemicznych) energia elektryczna jest gromadzona w postaci energii chemicznej, przy czym elektrody i elektrolit biorą udział w zachodzących reakcjach chemicznych, co we wszystkich akumulatorach skutkuje wystąpieniem zmian w parametrach technicznych podczas ich użytkowania. Z uwagi na niską cenę w stosunku do pojemności, możliwość krótkotrwałego obciążania dużymi prądami oraz prostotę układu ładowania w systemach zasilania gwarantowanego (UPS), układach zasilania pojazdów, jak również wielu innych urządzeniach powszechnie stosuje się akumulatory kwasowo-ołowiowe (choć coraz częściej wykorzystuje się akumulatory litowo-jonowe bądź inne tego typu rozwiązania).

W akumulatorach kwasowo-ołowiowych elektrolitem jest wodny roztwór kwasu siarkowego H_2SO_4 o stężeniu 37,5%, natomiast materiałem stosowanym do wykonania elektrod ujemnych jest tzw. ołów gąbczasty (pasta ze zmielonego ołowiu wprasowana w ołowianą kratownicę), a elektrod dodatnich – dwutlenek ołowiu PbO_2 . Przy takim doborze elektrolitu i elektrod różnica potencjałów na

zaciskach pojedynczego ogniwa wynosi około 2 V. W celu uzyskania napięcia 12 V w akumulatorze zabudowanych jest 6 szeregowo połączonych ogniw [2].

Elementem niekorzystnym w tradycyjnych wykonaniach akumulatorów jest występowanie elektrolitu w stanie płynnym, z czym związane są możliwości powstawania jego wycieków bądź ubytków wynikających z gazowania, co z kolei wywołuje potrzebę zapewnienia obsługi w zakresie uzupełniania elektrolitu.

W celu uzyskania poprawy własności funkcjonalnych akumulatory wykonuje się często jako bezobsługowe, oznaczane jako SLA (*Sealed Lead Acid* – szczelne ołowiowo-kwasowe) bądź VRLA (*Valve Regulated Lead-Acid* – kwasowo-ołowiowe z zaworami regulacyjnymi). Wytwarza się je w dwóch technologiach [1, 2, 7–11]:

- a) akumulatory żelowe (w których po wymieszaniu wodnego roztworu kwasu siarkowego z krzemionką powstaje masa o konsystencji żelu, spełniającego rolę elektrolitu),
- b) akumulatory AGM (*Absorbed Glass Mat* – w których elektrolit zaabsorbowany jest w separatorze wykonanym z porowatej maty z włókien szklanych).

Zaletami akumulatorów bezobsługowych są:

- szczelność i bezobsługowość,
- możliwość pracy w dowolnym położeniu,
- rekombinacja gazów powstających w zachodzących reakcjach,
- stosunkowo duża gęstość energii,
- korzystne parametry funkcjonalne.

Mając na względzie potrzebę ograniczania obsługi urządzeń (zmniejszania kosztów eksploatacyjnych) oraz eliminacji możliwości powstawania ubytków elektrolitu obecnie najczęściej stosuje się akumulatory bezobsługowe. Zachodzi w nich wewnętrzna rekombinacja gazów (zamknięty cykl pochłaniania gazów wydzielających się podczas zachodzących reakcji chemicznych), a w celu uniknięcia powstania ewentualnego niebezpieczeństwa w stanach awaryjnych (gdy wydzielają się nadmierne ilości gazów) zastosowano ciśnieniowe zawory regulacyjne. Z przedstawionych względów oferowane akumulatory nie mają nadzwyczajnych wymagań odnośnie obsługi oraz wentylacji.

3. PARAMETRY I WŁASNOŚCI FUNKCJONALNE AKUMULATORÓW

Jednym z najważniejszych parametrów użytkowych akumulatorów jest ich pojemność [1–4, 7, 8]. Pojemność elektryczna akumulatora jest ilością ładunku elektrycznego (czyli iloczynu prądu i czasu wyładowania) wyrażonego w [Ah], jaki można pobrać z w pełni naładowanego akumulatora, rozładowując go w temperaturze 25°C określonym prądem (jako znamionowy jest przyjmowany

prąd 20-godzinny, ale podawane są również pojemności dla prądów 10; 5 czy 1-godzinnych) w określonym czasie (związanym ze stosowanym prądem, czyli znamionowo 20 h, a dla innych prądów – wynikającym z ich oznakowania) do uzyskania odpowiedniego napięcia końcowego (normatywnie przyjmowane jest 1,75 V/ogniwo). Pojemność elektryczna świadczy ilościowo o zdolności akumulatora do magazynowania energii. Na pojemność elektryczną mają wpływ sposób rozładowania (stosowane prądy), stopień zasiarczenia płyt (trwałego, wynikającego z procesów starzeniowych i warunków eksploatacji) oraz czynniki środowiskowe (a szczególnie temperatura).

Parametrem wiążącym się z pojemnością elektryczną jest prąd znamionowy, określany jako iloraz pojemności elektrycznej znamionowej C_{20} oraz czasu rozładowania wynikającego z tej pojemności. Ponieważ jako znamionowa uznawana jest pojemność 20-godzinna, to prąd znamionowy I_n [A] odpowiada $1/20$ z pojemności znamionowej C_{20} [Ah]. Prąd znamionowy jest parametrem w pewnym sensie informacyjnym, na podstawie którego określa się warunki eksploatacji akumulatorów. Użytkowo stosowane mogą być większe wartości prądów obciążenia (skorelowane z czasem ich poboru) [2, 4, 8, 9].

Wielkością charakteryzującą akumulator jako źródło napięcia jest siła elektromotoryczna. Jest to różnica potencjałów (czyli napięcie źródłowe) na rozwartych zaciskach akumulatora (w stanie bez poboru prądu). Jej wartość podaje się dla pojedynczego ogniwa. Parametr ten jest charakterystyczny dla każdej konstrukcji akumulatorów (doboru elektrod i elektrolitu). Wartość SEM zmienia się w zależności od stopnia naładowania akumulatora oraz od czynników środowiskowych (głównie od temperatury). Ze wzrostem temperatury oraz ze wzrostem stopnia naładowania SEM rośnie.

Podstawowym parametrem elektrycznym, z punktu widzenia zasilanych odbiorników, jest napięcie znamionowe, jakie występuje na zaciskach akumulatora. Zależy ono od liczby szeregowo połączonych wewnątrz akumulatora ogniw (2 V). Wśród akumulatorów kwasowo-ołowiowych najbardziej rozpowszechnione są 12 V (6 ogniwowe), ale wykorzystywane są również w niektórych przypadkach akumulatory 6 V lub 24 V. Rzeczywista wartość napięcia na zaciskach akumulatora ulega zmianom w zależności od stopnia naładowania, wartości pobieranego prądu (i wynikającego z niego spadku napięcia na rezystancji wewnętrznej) oraz czynników środowiskowych (głównie temperatury) [2–4, 6, 8, 9].

Bardzo istotnym parametrem użytkowym jest rezystancja wewnętrzna, związana z wewnętrznymi stratami, jakie występują w akumulatorze. Korzystnym dla użytkownika jest, gdy ma ona jak najmniejszą wartość oraz gdy zachowana jest powtarzalność tego parametru w akumulatorach danego typu łączonych równolegle bądź szeregowo. Właściwa powtarzalność parametrów (rezystancji wewnętrznej, napięcia źródłowego) wpływa na warunki eksploatacyjne baterii, jak również na trwałość (żywość) współpracujących w niej akumulatorów (ogniw). Dbłość o tożsamość wartości parametrów łączonych

równolegle zasobników energii (akumulatorów bądź modułów bateryjnych) jest zatem istotna zarówno z punktu widzenia ekonomicznego (koszty eksploatacyjne związane z powstałymi stratami mocy oraz obniżeniem trwałości akumulatorów), jak również technicznego (prawidłowość współpracy łączonych źródeł energii). Rezystancja wewnętrzna intensywnie zmienia się przy zmianach temperatury pracy oraz stopnia naładowania akumulatorów.

Przy obniżaniu temperatury pracy rezystancja wewnętrzna wzrasta, jednocześnie maleje siła elektromotoryczna, czyli napięcie źródłowe. Z tego względu w niskich temperaturach uzyskuje się niższą wartość napięcia na zaciskach akumulatorów (szczególnie przy dużych prądach obciążenia, kiedy następuje proporcjonalny wzrost spadku napięcia na rezystancji wewnętrznej źródła). Ponadto w przypadku obniżenia temperatury pracy akumulatora znacząco maleje jego pojemność. Tendencja tych zmian przedstawiona jest w dalszej części artykułu (w rozdziale dotyczącym rezultatów badań). W niskich temperaturach również obniżają się zdolność rozruchowa oraz zdolność do przyjmowania ładunku [1–4].

Temperatura znamionowa akumulatorów kwasowo ołowiowych otwartych, jak i bezobsługowych wynosi 25°C , natomiast zalecany zakres temperatur pracy i przechowywania (składowania) wynosi $15\div 25^{\circ}\text{C}$. Funkcjonowanie i składowanie akumulatorów w podwyższonych temperaturach wpływa znacząco na skrócenie ich trwałości (żywności). Temperatura pracy wyższa od zalecanej (25°C) wywołuje niszczenie materiału aktywnego elektrod oraz degradację chemiczną płyt elektrodowych, co powoduje skrócenie czasu eksploatacji akumulatora (szacuje się, że jest to zmiana o 50% przy każdym trwałym wzroście temperatury o około 8°C) i analogiczne zmniejszenie jego pojemności (w nowych akumulatorach w wyższych temperaturach pojemność wzrasta, ale z upływem czasu w wyniku nieodwracalnej degradacji płyt elektrodowych zaczyna maleć) oraz przyspiesza proces samorozładowania akumulatora. Z przeprowadzonych rozważań wynika, że niekorzystne jest użytkowanie akumulatorów zarówno w temperaturach wyższych, jak i niższych od temperatury znamionowej [1–4, 8, 9, 11, 12].

Trwałość (żywność) akumulatorów określana jest w dwojaki sposób: poprzez czas eksploatacji albo liczbę cykli ładowanie/rozładowanie. Żywność projektowana niektórych rozwiązań akumulatorów dochodzi nawet do 15 lat (ale jest ona określana dla idealnych warunków eksploatacji), a rzeczywistość jest zdecydowanie niższa. Liczba cykli ładowanie/rozładowanie jest w ogóle stosunkowo niska (projektowana przy użytkowaniu w temperaturze 25°C wynosi poniżej 2000 cykli, a w rzeczywistości – z uwagi na nieidealne warunki eksploatacji – poniżej 1000 cykli). W pracy buforowej (czyli zasilaniu awaryjnym) występuje mało cykli ładowanie/rozładowanie, a akumulatory są sukcesywnie doładowywane, co korzystnie wpływa na ich trwałość i niezawodność. Niekorzystnym natomiast czynnikiem eksploatacyjnym przy funkcjonowaniu bufo-

rowym jest stosowanie w trybie pracy rezerwowej długotrwale dużego prądu rozładowania oraz potrzeba szybkiego uzupełnienia energii (po rozładowaniu szybkiego powrotu gotowości do ponownej pracy), czyli ładowania akumulatorów dużymi prądami [1–4, 6, 10, 11].

Sprawność elektryczna akumulatorów, rozumiana jako stosunek ładunku elektrycznego pobranego podczas rozładowania akumulatora do ładunku elektrycznego dostarczonego w procesie ładowania w określonych warunkach, wyrażana procentowo, nie jest wysoka – przyjmuje wartość z zakresu 70 ÷ 80%. Zdecydowanie wyższą sprawność, jako zasobniki energii, mają superkondensatory. W przypadku tych urządzeń jest ona rzędu 95%.

Wielkości fizyczne charakteryzujące akumulatory bardzo istotnie zależą od stosowanych obciążeń, zachodzących reakcji chemicznych, warunków środowiskowych, nieodwracalności niektórych procesów chemicznych, dlatego należy mieć na względzie, że wartości parametrów baterii i akumulatorów mogą ulegać zmianie stosownie do czasu oraz warunków ich użytkowania [2–4, 6, 7].

4. UWAGI I ZALECENIA EKSPLOATACYJNE

Podczas instalacji akumulatorów należy zadbać o zachowanie właściwej jakości (stan i docisk styków) oraz prawidłowości (biegunowości) połączeń elektrycznych. Niewłaściwie jakościowo wykonane połączenia elektryczne (obluzowane, zaśniedziałe lub zabrudzone styki itd.) mogą być przyczyną skrócenia czasu zasilania (podtrzymania pracy) odbiorników, powstania nadmiernych strat mocy, wystąpienia iskrzenia w układzie, pojawienia się przerwy w zasilaniu odbiorników (w połączeniach elektrycznych) itp. Nieprawidłowo (szczególnie w zakresie biegunowości) zrealizowane połączenia elektryczne mogą być przyczyną powstania uszkodzeń zasilanych odbiorników.

W celu uzyskania odpowiedniej wartości napięcia na zaciskach układu zasilania lub zwiększenia jego obciążalności prądowej dokonuje się odpowiednich połączeń określonej liczby akumulatorów [4, 11, 12]. Dla uzyskania wyższej wartości napięcia na wyjściu zestawu (modułu) baterijnego akumulatory łączy się szeregowo i wówczas biegun dodatni jednego akumulatora (monobloku) łączy się z biegunem ujemnym następnego. Napięcie na wyjściu takiego układu jest równe sumie napięć szeregowo połączonych akumulatorów (pomniejszonej o sumę spadków napięć na rezystancjach wewnętrznych akumulatorów). W celu uzyskania większej obciążalności prądowej układu zasilania (zwiększenia pojemności elektrycznej) akumulatory łączy się równolegle i wówczas biegun dodatni jednego akumulatora (baterii) łączy się z biegunem dodatnim następnego, a biegun ujemny z biegunem ujemnym. Należy przy tym mieć na uwadze, że szeregowo bądź równolegle można łączyć tylko akumulatory tego samego typu i o tych samych parametrach. Łączenie akumulatorów szeregowo lub rów-

noległe powinno odbywać się maksymalnie symetrycznie (takie same elementy składowe, jednakowe przewody łączące, analogiczne warunki środowiskowe poszczególnych elementów). Uzyskuje się wówczas najlepsze warunki pracy układu. Nadmierne różnice temperatur (powyżej 3°C) współpracujących akumulatorów mogą wywoływać potrzebę zastosowania ładowania wyrównawczego i powodować skrócenie żywotności akumulatorów.

Akumulator po jego rozładowaniu należy możliwie jak najszybciej naładować. Oczekiwanie dłuższe niż 24 h na rozpoczęcie ponownego ładowania może spowodować trwałą utratę pojemności z uwagi na częściowo nieodwracalne zasiarczenie płyt elektrodowych. Jeśli w okresie kilku miesięcy akumulatory pracujące buforowo były utrzymywane w pełnym naładowaniu, nie ulegały rozładowaniu, zaleca się realizację częściowego ich rozładowania prądem $0,1 C_n$ [A] (gdzie C_n jest pojemnością znamionową wyrażoną w [Ah]), a następnie ponowne naładowanie [2–4, 10, 11].

W przypadku znacznych wahań temperatury zaleca się zastosowanie zasilacza wyposażonego w układ kompensacji temperaturowej napięcia ładowania, obniżający napięcie ładowania podczas wzrostu temperatury. Współczynnik kompensacji temperaturowej dla jednego ogniwa ma wartość: $-3 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ w stosunku do zalecanej temperatury 25°C (ma wartość ujemną), zatem dla akumulatora 6–ogniwowego (12 V) wynosi: $-18 \text{ mV}/^\circ\text{C}$. Nie należy przekraczać wartości dopuszczalnego prądu ładowania. Prądy o wartościach wyższych od maksymalnego prądu ładowania (najczęściej określanego jako $0,3 C_n$ [A]) mogą wywołać silne gazowanie elektrolitu, nadmierne nagrzewanie się baterii oraz skrócenie ich żywotności [2, 4, 11].

W sytuacjach, gdy napięcie ładowania jest za niskie (również w przypadku jego niewłaściwej kompensacji temperaturowej), akumulatory mogą być długotrwale niedoładowane, w efekcie czego mogą nie działać poprawnie ze względu na zły stopień naładowania i obniżenie pojemności elektrycznej. Z kolei w przypadku długotrwałego ładowania napięciem zbyt wysokim może dojść do powstania stanu przeładowania akumulatorów, co prowadzi do nadmiernego gazowania, wzrostu temperatury, uszkodzeń płyt elektrodowych, deformacji obudowy oraz obniżenia ich pojemności i żywotności.

Akumulatory kwasowo-ołowiowe są wrażliwe na występowanie zbyt głębokich (nadmiernych) procesów rozładowania (do zbyt niskich napięć końcowych). W głęboko rozładowywanych akumulatorach dochodzi do silnego (częściowo nieodwracalnego) zasiarczenia płyt elektrodowych, co wywołuje zmniejszenie pojemności elektrycznej (ograniczenie możliwości gromadzenia energii) oraz skrócenie trwałości (żywotności) akumulatorów. Przyczyną wystąpienia nadmiernego rozładowania akumulatora (poza niewłaściwym sposobem eksploatacji) może być długotrwale zachodzący proces samorozładowania (pozostawienie akumulatora przez dłuższy czas bez doładowywania). Głębokie

rozładowania wpływają silnie degradująco na akumulatory, przyspieszając konieczność ich wymiany [2, 6, 11].

Akumulatorów nie należy ładować w szczelnych obudowach (pojemnikach), ponieważ poszczególne ogniwa akumulatorów bezobsługowych mają samouszczelniający się, jednokierunkowy zawór, który ulega otwarciu w sytuacji powstania nadmiernego wzrostu ciśnienia wewnątrz akumulatora (np. w przypadku przeładowania akumulatora), w wyniku czego mogą przedostawać się do otoczenia gazy wytwarzane podczas zachodzących procesów chemicznych. Mogłoby to doprowadzić do rozsądzenia pojemnika. Wodór z powietrzem mogą tworzyć mieszkankę wybuchową, dlatego niezbędne jest stworzenie warunków do odprowadzenia gazów eksploatacyjnych przedostających się do otoczenia. W pomieszczeniu, w którym znajdują się akumulatory, powinna być czynna wentylacja (przynajmniej naturalna, czyli grawitacyjna) [10–12].

W przypadku stosowania zespołów akumulatorów przed wykonaniem czynności instalacyjnych należy się upewnić, czy nośność podłoża bądź konstrukcji wsporczej jest wystarczająca do utrzymania ciężaru zestawu baterii z oprzyrządowaniem. Przy montażu akumulatorów w szafach lub na stojakach należy zachować elektryczną izolację od elementów przewodzących oraz zapewnić stabilność mechaniczną elementów nośnych.

Podczas składowania i użytkowania akumulatory należy chronić przed niekorzystnym oddziaływaniem czynników pogodowych i środowiskowych (temperatura, nasłonecznienie, wilgoć, oddziaływanie środków chemicznych itp.). Przy dokonywaniu wszelkich prac łączeniowych, konserwacyjnych, montażowych itp. należy bezwzględnie stosować się do wytycznych zawartych w instrukcjach (uwagach) dotyczących bezpieczeństwa (zarówno akumulatorów, jak i podłączanego osprzętu). Należy zadbać, aby w żaden sposób nie doprowadzić do zwarcia styków. Prądy zwarcia są bardzo wysokie i niebezpieczne [10, 11].

W celu zachowania najwyższej trwałości (żywołności) oraz najlepszych parametrów technicznych akumulatorów zaleca się [2, 11, 12]:

- utrzymywanie właściwego stanu styków i jakości połączeń elektrycznych,
- stosowanie zalecanych procedur ładowania i eksploatacji akumulatorów,
- realizację kompensacji temperaturowej napięcia ładowania,
- niedopuszczanie do powstawania stanów przeładowania oraz długotrwałego niedoładowania,
- eliminację powstawania stanów głębokich rozładowań,
- umieszczanie akumulatorów z dala od wszelkich źródeł ciepła,
- stosowanie efektywnej klimatyzacji bądź wentylacji naturalnej lub wymuszonej,
- stosowanie otworów wentylacyjnych w obudowach oraz zachowanie 1,5 cm wolnych odstępów wokół akumulatorów dla uzyskania swobodnej cyrkulacji powietrza (wewnątrz obudów) i umożliwienia jego wymiany z otoczeniem,
- przechowywanie i eksploatację akumulatorów w stanie czystym i suchym.

Utylizacją (recyklingiem) akumulatorów powinna zająć się firma posiadająca certyfikat utylizacji/recyklingu. Zużyte baterie wielokrotnego ładowania są klasyfikowane jako “niebezpieczne odpady toksyczne”, w związku z tym według prawa muszą być utylizowane lub poddawane recyklingowi przez autoryzowane centrum recyklingu. Właściwe postępowanie ze zużytym sprzętem elektrycznym i elektronicznym przyczynia się do uniknięcia szkodliwych dla zdrowia ludzi i środowiska naturalnego konsekwencji, wynikających z obecności składników niebezpiecznych oraz niewłaściwego składowania i przetwarzania takiego sprzętu [10, 11].

5. ŁADOWANIE AKUMULATORÓW

W procesach ładowania należy podłączyć zacisk dodatni zasilającego układu prostowniczego (ładowarki) do bieguna dodatniego akumulatora (baterii), a zacisk ujemny do bieguna ujemnego. Analogicznie przy podłączaniu odbiorników energii elektrycznej należy podłączać zaciski dodatnie odbiorników do bieguna dodatniego akumulatora, a zaciski ujemne do bieguna ujemnego [4].

W akumulatorach bezobsługowych (szczególnie przeznaczonych do pracy buforowej) zaleca się realizację ładowania metodą stałonapięciową, z zastosowaniem ograniczenia prądu początkowego ładowania, którego wartość nie powinna być większa od $0,3 C_n$ [A] (gdzie C_n – jest pojemnością znamionową akumulatora wyrażoną w [Ah]). Zalecaną (z uwagi na wpływ na trwałość i pojemność akumulatora) wartością początkowego prądu ładowania jest $0,1 C_n$ [A]. Przykładowo w akumulatorze 9 Ah początkowy prąd ładowania nie powinien przekraczać wartości 2,7 A, ale korzystniejszą z uwagi na własności funkcjonalne wartością jest 0,9 A [2–4, 10, 11].

W celu wstępnego uformowania akumulatorów (osiągnięcia stanu pełnego naładowania i wyrównania napięć na poszczególnych ogniwach) lub w przypadkach pracy w niskich temperaturach bez kompensacji temperaturowej napięcia ładowania, długiej zwłoki w naładowaniu akumulatorów po ich rozładowaniu, konieczności realizacji ładowań przyspieszonych, występowania częstych głębokich rozładowań, niezrównoważenia pracy gałęzi równoległych bądź występowania różnic temperatur ogniw baterii powyżej 3°C zaleca się zastosowanie ładowania wyrównawczego (wstępnego). Polega ono na ładowaniu akumulatorów w temperaturze znamionowej napięciem ładowania wyrównawczego o wartości w zakresie $13,98 \div 14,10$ V (wartość ta jest określana na podstawie zalecanego napięcia dla jednego ogniwa: $2,33 \div 2,35$ V/ogniwo). Standardowe ładowanie wyrównawcze zaleca się realizować w czasie 48 godzin [3, 4, 11].

W przypadku pracy buforowej (w systemach zasilania awaryjnego), gdy akumulator w normalnych stanach pracy nie jest obciążany, lecz utrzymywany jest w nim pewien poziom zmagazynowanej energii, a akumulator jest dołado-

wywany, aby z upływem czasu nie doszło do samorozładowania, napięcie ładowania akumulatora (nazywane napięciem buforowym, konserwującym lub ładowania ciągłego) powinno zawierać się w zakresie $13,50 \div 13,80$ V (czyli $2,25 \div 2,30$ V/ogniwo). Jeśli w okresie kilku miesięcy akumulatory były utrzymywane w pełnym naładowaniu, nie ulegały rozładowaniu, zaleca się realizację częściowego ich rozładowania prądem $0,1 C_n$ [A], a następnie ponowne naładowanie.

W celu zapewnienia właściwych warunków funkcjonalnych należy zadbać, aby napięcie ładowania było stabilizowane, a jego tętnienia nie przekraczały 1,5%.

Bardzo korzystnym sposobem ładowania akumulatorów kwasowo-ołowiowych jest ładowanie stałą wartością prądu, przy określonym ograniczeniu jego wartości (do prądu dziesięciogodzinnego lub dwudziestogodzinnego, odpowiednio z zastosowaniem ładowania jedno- bądź dwustopniowego).

W samochodach z silnikami spalinowymi stosowane są powszechnie akumulatory kwasowo-ołowiowe, wykorzystywane głównie do rozruchu, ale także do zasilania odbiorników, gdy nie pracuje silnik spalinowy. Są to często akumulatory z elektrolitem w stanie płynnym. Wśród metod ich ładowania wyróżnia się:

- a) ładowanie jednostopniowe – najczęściej stosowane – polega na ładowaniu akumulatora stałą wartością prądu $I_L = 0,1 C_{20} = 2 I_n$ do uzyskania oznak pełnego naładowania (gęstość elektrolitu $\gamma_{25} = 1,28$ g/cm³), przy czym C_{20} [Ah] jest pojemnością elektryczną znamionową (20-godzinną);
- b) ładowanie dwustopniowe – najbardziej zalecane z uwagi na trwałość akumulatorów – polega na ładowaniu akumulatora w pierwszej fazie stałą wartością prądu $I_{L1} = 0,1 C_{20} = 2 I_n$ do wystąpienia gazowania elektrolitu, a następnie po kilkugodzinnej przerwie (2 stopień) ładowaniu prądem $I_{L2} = 0,05 C_{20} = I_n$ do uzyskania oznak pełnego naładowania ($\gamma_{25} = 1,28$ g/cm³);
- c) ładowanie stałą wartością napięcia – zachodzi w pracującym pojeździe (napięciem utrzymywanym przez regulator napięcia alternatora);
- d) ładowanie przyspieszone (awaryjne) – nie zalecane ze względu na pogarszanie trwałości akumulatora – polega na ładowaniu akumulatora stałą wartością prądu, nie przekraczającą $I_L = 0,8 C_{20} = 16 I_n$, do uzyskania oznak naładowania;
- e) ładowanie odsiarczające – stosowane w przypadku zasiarczenia płyt akumulatora (co wiąże się z trudnościami w jego naładowaniu); realizowane może być dwoma sposobami:
 - w przypadku słabego zasiarczenia – polega na ładowaniu akumulatora prądem $I_L = 0,02 \div 0,05 C_{20}$ do uzyskania oznak pełnego naładowania;
 - w przypadku silnego zasiarczenia – polega na usunięciu elektrolitu, zalaniu akumulatora wodą destylowaną i ładowaniu stałą wartością prądu $I_L = 0,02 \div 0,05 C_{20}$, po kilku godzinach ładowania ponownym usunięciu elektrolitu, zalaniu wodą destylowaną i powtórzeniu cyklu kilka razy,

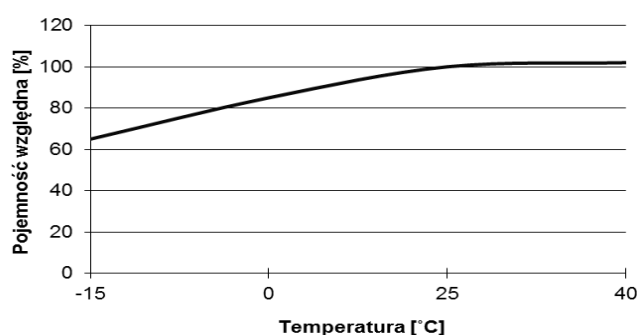
a następnie usunięciu elektrolitu, zalaniu akumulatora elektrolitem świeżym o gęstości $\gamma_{25} = 1,27 \text{ g/cm}^3$ i ładowaniu do uzyskania oznak pełnego naładowania.

Jeśli akumulatory (baterie) przechowywane są przez dłuższy czas, należy je doładowywać co 6 miesięcy (ładowanie wyrównawcze). Do poziomu 90% pełnego naładowania baterie są ładowane w ciągu około 4–6 godzin. Tym niemniej zaleca się, by przy długim okresie przechowywania doładowywać je przez 24 godziny.

6. REZULTATY BADAŃ BEZOBSŁUGOWYCH AKUMULATORÓW KWASOWO-OŁOWIOWYCH

Zamieszczone w niniejszym rozdziale rezultaty badań dotyczą bezobsługowych akumulatorów kwasowo-ołowiowych EGP 12–90 o napięciu znamionowym 12 V, pojemności elektrycznej 9 Ah oraz prądzie znamionowym (dwudziestogodzinnym) 0,45 A.

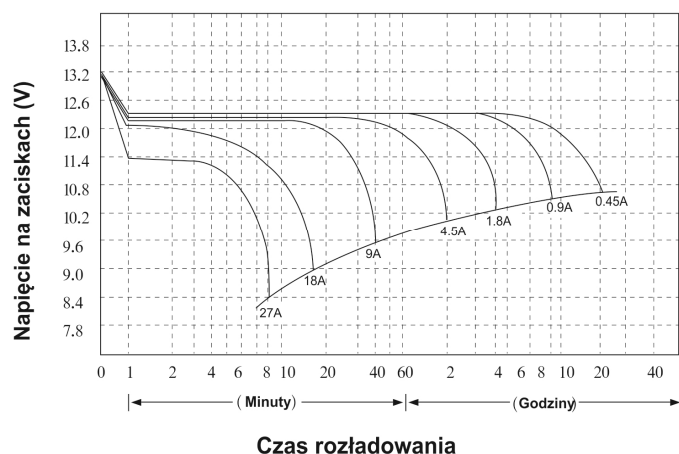
Tendencje procentowych zmian pojemności elektrycznej akumulatorów w zależności od zmian ich temperatury pracy zobrazowano na rys. 1.



Rys. 1. Procentowe zmiany pojemności elektrycznej akumulatorów w zależności od zmian temperatury pracy [12]

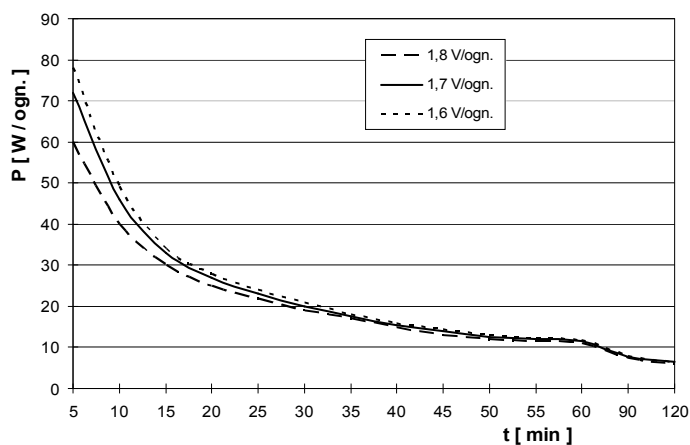
Na rys. 2 zamieszczono charakterystyki rozładowania akumulatora EGP 12–90. Przedstawiono na nich zależność napięcia na zaciskach akumulatora jako funkcję czasu, podczas rozładowywania go określonymi wartościami prądów (będącymi krotnościami prądu znamionowego).

W przypadku systemów zasilania gwarantowanego, z punktu widzenia użytkownika, bardzo istotnej informacji (dotyczącej własności eksploatacyjnych) dostarczają charakterystyki tzw. stałomocowe, na których przedstawia się zależność stałej wartości mocy, jaką można obciążyć akumulator w celu osiągnięcia określonego czasu zasilania odbiornika, podczas rozładowywania akumulatora, do uzyskania określonego napięcia końcowego na jego zaciskach.



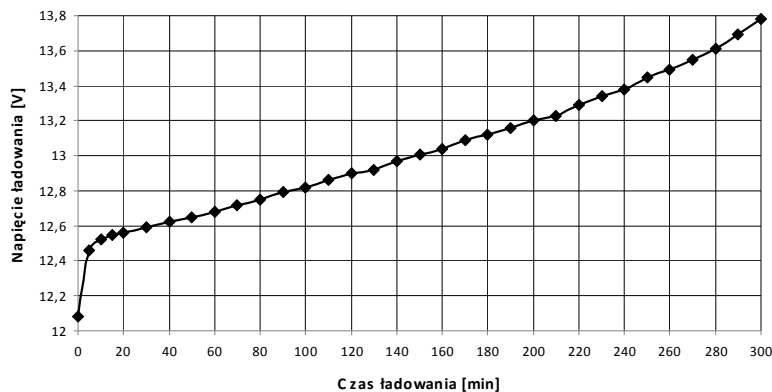
Rys. 2. Charakterystyki rozładowania akumulatora EGP 12-90 [12]

Ponieważ spotykane są rozwiązania konstrukcyjne akumulatorów na różne napięcia znamionowe (6 V, 12 V, a także 24 V), stąd w celu uzyskania łatwości porównań różnych źródeł energii wartości mocy oraz napięcia końcowego odnosi się do jednego ogniwa. Z tego względu na rys. 3 przedstawiono zależność wartości mocy obciążenia (wyrażanej w [W/ogniwo]), jaką można obciążać akumulator w zależności od oczekiwanych czasów podtrzymania zasilania (rozładowania) akumulatorów EGP 12-90. Na wykresie zamieszczono trzy charakterystyki, uzyskiwane dla różnych wartości napięcia końcowego (wyrażanych w [V/ogniwo]), do którego rozładowywany jest zasobnik energii.



Rys. 3. Wartości mocy obciążenia w zależności od oczekiwanych czasów zasilania (rozładowania) akumulatorów, do chwili uzyskania określonego napięcia końcowego

Na rys. 4 przedstawiono zależność zmian napięcia ładowania samochodowego akumulatora kwasowo-ołowiowego w funkcji czasu podczas procesu ładowania jednostopniowego. Badaniom poddano akumulator EXIDE CLASSIC EC412 o napięciu znamionowym 12 V i pojemności 41 Ah.



Rys. 4. Zależność napięcia ładowania akumulatora samochodowego w funkcji czasu podczas ładowania jednostopniowego

7. PODSUMOWANIE

Z przedstawionych rozważań wynika, że zapewnienie właściwych warunków użytkowania, przechowywania, transportu oraz środowiskowych podczas wykorzystywania akumulatorów pozwala osiągnąć korzyści techniczne i ekonomiczne, związane z ich żywotnością, uzyskiwanymi parametrami technicznymi, kosztami obsługi (eksploatacyjnymi) oraz wymiany (inwestycyjnymi), jak również osiągnięciem poprawności pracy i odpowiednich własności użytkowych zasilanych urządzeń.

LITERATURA

- [1] Bednarek K., Akumulatory czy superkondensatory – zasobniki energii w UPS-ach, *Elektro.info*, nr 1–2, 2012, s. 54–57.
- [2] Bednarek K., Kasprzyk L., Zasobniki energii w systemach elektrycznych – Część 1. Charakterystyka problemu, *Poznan University of Technology Academic Journals, Electrical engineering*, No 69, Poznań 2012, s. 199–207.
- [3] Berndt D., *Maintenance-Free Batteries– 2nd Edition*; John Wiley&Sons Inc 1997.
- [4] Czerwiński A., *Akumulatory baterie ogniwa*, WKiŁ, Warszawa 2005.
- [5] Denton T., *Automobile electrical and electronic systems*, Arnold, London 2000.
- [6] Kasprzyk L., Bednarek K., Elektromagnetyzm a zagadnienia gromadzenia energii, *Przegląd Elektrotechniczny*, No 12 (90), 2014, s. 221–224.

- [7] Świątek J., Problemy z akumulatorami kwasowymi, Wiadomości Elektrotechniczne, nr 7–8, 2002.
- [8] PN-EN 50342-1: 2007 – Akumulatory ołowiowe rozruchowe. Część. 1: Wymagania ogólne i metody badań, PKN, maj 2007.
- [9] PN-EN 60896: 2007 – Baterie ołowiowe stacjonarne – grupa norm, PKN, 2007.
- [10] <http://ever.eu> [dostęp: 2017.01.12].
- [11] <http://www.emu.com.pl> [dostęp: 2016.12.27]
- [12] <http://ever.eu/product/pl/akumulator-olowiowo-kwasowy> [dostęp: 2017.01.12].

FUNCTIONAL PROPERTIES OF LEAD-ACID BATTERIES

The paper presents the functional parameters of the electric energy storage devices, which are electrochemical batteries. The authors focused on lead-acid batteries. The most characteristic operational parameters were described and their dependence on various factors. The operating notes related to maintenance and usage of the analyzed batteries are presented. Different charging methods adequate to the usage and storage standards are analyzed. Functional characteristics of the lead-acid batteries are presented. Article has a technical and didactic nature.

(Received: 03. 02. 2017, revised: 17. 02. 2017)