

Maciej WĘDROWICZ*, Jarosław JAJCZYK*, Damian BURZYŃSKI*

BADANIA PORÓWNAWCZE ŻYWOTNOŚCI AKUMULATORÓW WYKONANYCH W TECHNOLOGIACH SLI I AGM

W ramach pracy przeprowadzono badania mające na celu porównanie żywotności dwóch akumulatorów rozruchowych o podobnych parametrach znamionowych. Jeden z akumulatorów był typowym akumulatorem kwasowo-ołowiowym (SLI), a drugi wykonany w technologii AGM. W ramach badań przeprowadzono szereg prób ładowania i rozładowania. Po każdym cyklu kontrolowano parametry akumulatorów w celu oceny wpływu pracy cyklicznej na ich trwałość.

SŁOWA KLUCZOWE: akumulatory rozruchowe, akumulatory SLI, akumulatory AGM, trwałość akumulatorów.

1. WPROWADZENIE

Akumulator kwasowo-ołowiowy wynalazł francuski inżynier Gaston Plante w 1859 roku [1]. Od tego czasu nastąpiła znaczna ewolucja konstrukcji tego typu akumulatora mająca na celu zwiększenie pojemności, trwałości i niezawodności [2]. Obecnie akumulatory kwasowo-ołowiowe znajdują zastosowanie w motoryzacji (szczególnie jako akumulatory rozruchowe), jako awaryjne źródła zasilania w układach elektrycznych (przykładem są tzw. UPS, z ang. Uninterruptible Power Supply), jako źródła zasilania urządzeń powszechnego użytku i małych pojazdów elektrycznych (wypierane są jednak przez akumulatory litowo-jonowe z uwagi na ich mniejsze rozmiary i wagę przy większej pojemności) [3, 4, 5, 6, 7, 8].

Rozruchowe akumulatory kwasowo-ołowiowe wykonane w standardowy sposób [2, 7] oznaczana są jako SLI (Starting Lighting Ignition). W celu poprawy parametrów i trwałości akumulatorów powstało wiele ich odmian takich jak np.: typu GEL (żelowe) czy znacznie częściej stosowane w technice samochodowej akumulatory AGM (Absorbent Glass Mat), które wprowadzono na rynek w 1970. Główną zmianą w stosunku do standardowego akumulatora SLI było zastosowanie w akumulatorach AGM separatora z maty szklanej [3]. Dzięki

* Politechnika Poznańska

temu zabiegowi uzyskano konstrukcję bardziej odporną na pracę cykliczną i głębokie rozładowanie. Akumulatory AGM sprawdzają się szczególnie w przypadku pojazdów posiadających znaczną liczbę odbiorników energii elektrycznej (wersje bogato wyposażone) a zwłaszcza w pojazdach wyposażonych w system start/stop [9].

2. AKUMULATORY ROZRUCHOWE

Akumulatory kwasowo-ołowiowe dość często są wykorzystywane jako akumulatory rozruchowe w obwodach rozruchowych silników spalinowych. Umożliwiają one zasilenie urządzenia służącego do rozruchu silnika spalinowego (rozrusznika) krótkotrwałym (zazwyczaj trwającym poniżej ok. 3 sekund) impulsem prądowym o wartości w przedziale 150–600 A (w zależności od uruchamianego silnika). Podstawowymi rodzajami akumulatorów kwasowo-ołowiowych są:

SLI (Starting Lighting Ignition) – jest to najprostszy (klasyczny) akumulator rozruchowy stosowany w samochodach nieposiadających systemu start/stop.

- GEL – akumulator bezobsługowy posiadający elektrolit w postaci żelu uzyskiwanego dzięki dodaniu do elektrolitu krzemionki. Zaletami tego typu akumulatorów jest odporność na głębokie rozładowanie oraz większa trwałość w stosunku do SLI. Wadami jest niższa moc oraz duża wrażliwość na temperaturę.
- AGM (Absorbent Glass Mat) – akumulator posiadający maty z włókna szklanego nasycone elektrolitem. Głównym zastosowaniem tego typu akumulatorów są samochody z systemem start/stop z uwagi na około 4-krotnie większą żywotność w porównaniu do SLI oraz odporność na głębokie rozładowanie. Wadą jest wrażliwość na temperaturę i wyższa cena.
- EFB (Enhanced Flooded Battery) – różni się w budowie od standardowego akumulatora posiadaniem płyty dodatniej, na którą została naniesiona warstwa poliestru. Stosuje je się w pracy cyklicznej z uwagi na 2-krotnie większą żywotnością od SLI. Przewagą EFB nad AGM jest ich odporność na wstrząsy.
- HD(E) (Heavy Duty Extra) – akumulatory tego typu charakteryzują się największą odpornością na pracę cykliczną w porównaniu do pozostałych akumulatorów. Główne zastosowanie znajdują w pojazdach użytkowych.
- VR (Vibration Resistant) – akumulatory posiadające podwyższoną wytrzymałość na wibracje [8].

Akumulatory opisuje się parametrami, których wartości zależą m.in. od technologii wykonania oraz przeznaczenia. Do podstawowych parametrów akumulatorów kwasowo-ołowiowych należą:

- Napięcie znamionowe (U_N) wyrażane w voltach [V]. Dla akumulatorów wykorzystywanych w pojazdach napięcie znamionowe wynosi zazwyczaj 12 V

w przypadku samochodów osobowych i motocykli oraz 24 V w przypadku samochodów ciężarowych.

- Pojemność elektryczna (C_{20}) wyrażana w amperogodzinach [Ah]. Jest to zdolność ogniwa do przechowywania ładunku elektrycznego. Ważnym czynnikiem przy wyznaczaniu pojemności jest czas pobierania ładunku elektrycznego (20 h) oraz wartość prądu. W przypadku samochodowych akumulatorów rozruchowych podana pojemność jest wyznaczana dla tzw. prądu dwudziestogodzinnego ($0,05C_{20}$) [10].
- Rezystancja wewnętrzna (R_w) wyrażana w miliomach [$m\Omega$]. Parametr bardzo rzadko podawany przez producentów akumulatorów. Odpowiada on za sprawność akumulatora. Im większa rezystancja wewnętrzna tym mniejsza sprawność akumulatora. Należy także wziąć pod uwagę, że na rezystancję wewnętrzną ogniw mają wpływ takie czynniki jak SOC (State Of Charge, który określa stan naładowania ogniwa), temperatura oraz SOH (State Of Health, który określa stan zużycia ogniwa).
- Prąd rozruchowy (I_R) wyrażany w amperach [A]. Wartość prądu rozruchowego jest podawana przez producentów akumulatorów na tabliczce znamionowej i w przypadku akumulatorów rozruchowych przekracza kilkaset amperów.

Większość parametrów akumulatora można wyznaczyć w stosunkowo prosty i jednoznaczny sposób. Wyjątek stanowi wartości prądu rozruchowego. Największe na świecie instytuty zajmujące się opracowywaniem norm technicznych opracowały procedury testowe do badania tego parametru. Zdolność rozruchowa wyrażana jest prądem jaki dany akumulator może oddać w określonej temperaturze (najczęściej -18°C), czasie oraz przy zachowaniu ustalonego w konkretnej normie napięcia.

Stosowanymi normami z jakimi można się spotkać w Europie są:

- EN – norma europejska, przewiduje rozładowanie prądem rozruchowym (I_R) w ciągu 10 s przy zachowaniu napięcia powyżej 7,5 V, następnie po 10 s przerwy następuje dalsze rozładowanie prądem wynoszącym $0,6 I_R$ przez 70 s utrzymując napięcie powyżej 6 V.
- DIN – niemiecka norma, jej nazwa pochodzi od Niemieckiego Instytutu Normalizacyjnego (Deutsches Institut für Normung) przewiduje rozładowanie akumulatora przez 30 s do napięcia 9 V, następnie przez 150 s do napięcia wynoszącego 6 V.
- IEC – normę opracowała Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna (International Electrotechnical Commission) z siedzibą w Genewie. Zakłada rozładowywanie akumulatora przez 60 s do napięcia 8,4 V.
- SAE – norma stworzona przez Stowarzyszenie Inżynierów Motoryzacji (Society of Automotive Engineers) stosowana w Stanach Zjednoczonych. Zakłada rozładowanie akumulatora przez 30 s do osiągnięcia napięcia 7,2 V.

- JIS – norma opracowana przez japoński standard przemysłowy (Japanese Industrial Standards). Jest to norma najrzadziej stosowana na terytorium Unii Europejskiej. Przewiduje ona rozładowanie akumulatora prądem 150 A przez 30 s lub 300 A przez 10 s utrzymując minimalne napięcie końcowe na poziomie 6 V. Jest to jedyna norma, w której temperatura testowanego akumulatora wynosi -15°C [9].

Głównym obszarem zastosowania akumulatorów rozruchowych są oczywiście samochody osobowe oraz dostawcze, ale także elektryczne pojazdy użytkowe np. wózki widłowe. Akumulatory mogą również zostać wykorzystane jako magazyny energii w UPS lub w połączeniu z instalacją fotowoltaiczną.

3. METODYKA BADAŃ PORÓWNAWCZYCH AKUMULATORÓW

W ramach pracy zrealizowano badania mające na celu porównanie wpływu eksploatacji na żywotność akumulatorów kwasowo-ołowiowych różnych typów. Do badań wybrano dwa samochodowe akumulatory rozruchowe (SLI i AGM) o maksymalnie zbliżonych do siebie parametrach. Parametry znamionowe badanych akumulatorów zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry znamionowe badanych akumulatorów.

Parametr	Typ akumulatora	SLI	AGM
Napięcie znamionowe, U_N [V]		12	12
Pojemność znamionowa, C_{20} [Ah]		52	50
Prąd rozruchowy wg EN, I_R [A]		520	520

Badania porównawcze miały na celu sprawdzenie zmiany parametrów badanych akumulatorów po szeregu cykli rozładowania i ładowania. Na potrzeby przeprowadzanych badań przygotowano stanowiska pomiarowe wyposażone w odpowiednie przyrządy (sztuczne obciążenie, ładowarka, próbnik widełkowy, pirometr, waga).

Proces rozładowania oraz ładowania akumulatora został przeprowadzony przy użyciu sztucznego obciążenia prądowego. Wykorzystane urządzenie firmy Zke Tech, model EBC-A10H (rys.1) charakteryzuje się możliwością automatycznego rozładowania i naładowania akumulatora co znacząco ułatwiło procedurę badawczą [11, 12].

Na potrzebę przeprowadzenia badań została opracowana autorska procedura testowa. Procedura testowa procesu rozładowania i ładowania w jednym cyklu przebiegała następująco:

- 1) zważenie akumulatora,
- 2) rozładowanie akumulatora prądem 0,1 C metodą CC (stała wartość prądu) do momentu spadku napięcia na akumulatorze do wartości 10,5 V,
- 3) ponowne zważenie akumulatora,
- 4) ładowanie akumulatora prądem 5 A metodą CC-CV przez 10 h lub do osiągnięcia minimalnego natężenia ładowania (około 0,1 A),
- 5) zważenie akumulatora.

Ważenie akumulatorów realizowano za pomocą wagi SF-890.



Rys.1. Zdjęcie sztucznego obciążenia prądowego EBC-A10H

Po każdym cyklu wykonywano testy obciążeniowe, które miały na celu zwerfikować realną użyteczność badanego akumulatora, czyli zdolność do dostarczenia prądu rozruchowego. Elektroniczne testery akumulatorów w szczególności te najtańsze wyznaczają prąd rozruchowy bazując na pomiarze konduktancji badanego akumulatora. Metoda ta jest wadliwa z uwagi na jedynie szacowanie zdolności rozruchowej a nie faktyczny jej pomiar. Znacznie lepszą metodą jest wykonanie testu przy użyciu próbnika widelkowego. Próbniem zastosowanym podczas badań było urządzenie firmy Akumtest VAS 260 (rys. 2).



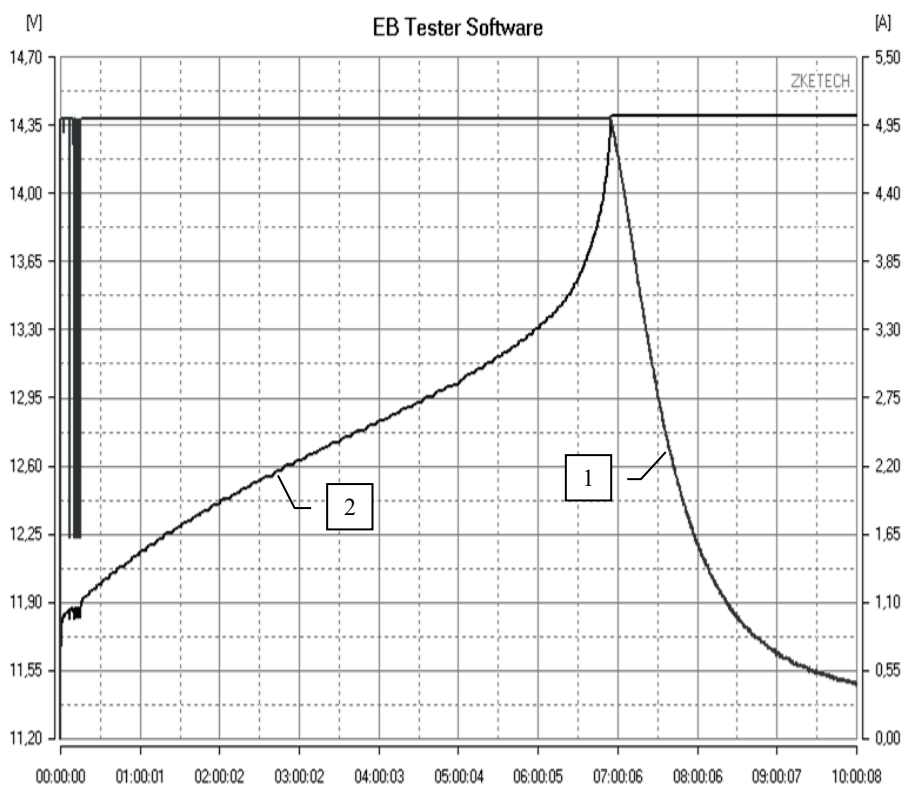
Rys. 2. Zdjęcie testera VAS 260

Dodatkowo przed przystąpieniem do testu obciążeniowego kontrolowano temperaturę akumulatora oraz temperaturę otoczenia. Do pomiaru temperatury został wykorzystany pirometr firmy Parkside model PTIA.

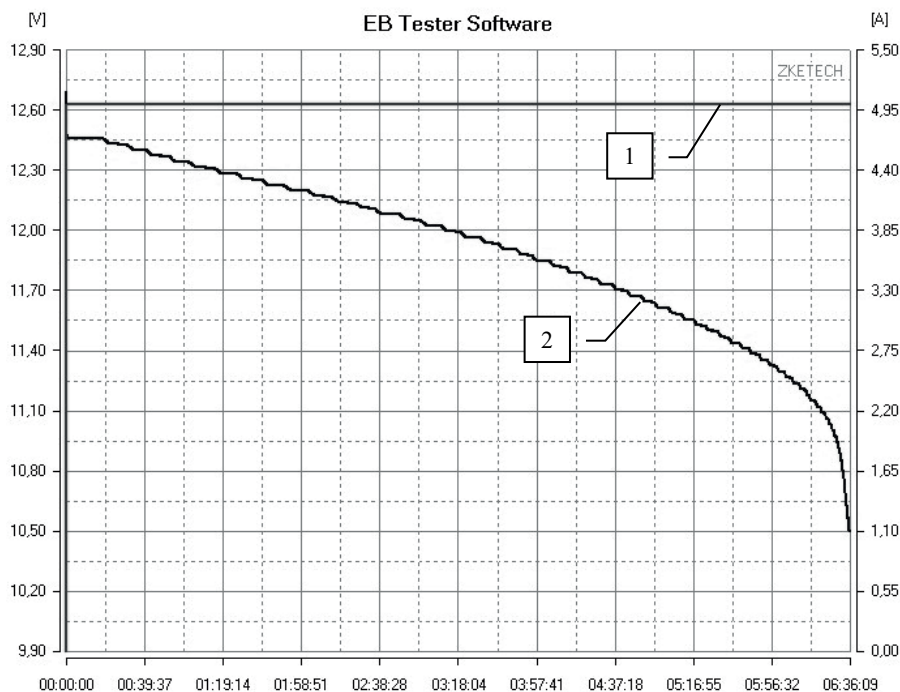
4. WYNIKI BADAŃ AKUMULATORÓW

W ramach zrealizowanych badań dla każdego akumulatora przeprowadzono 41 cykli ładowania i rozładowania, czyli łącznie dla obu akumulatorów 82 cykle. Jeden cykl trwał około 24 godziny co daje łącznie blisko 3 miesiące ciągłych badań.

Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe przebiegi prądu i napięcia akumulatora AGM zarejestrowane podczas procesu ładowania za pomocą oprogramowania dedykowanego dla przyrządu EBC-A10H. Po naładowaniu i przerwie jednogodzinnej następował proces rozładowania do chwili, gdy napięcie na baterii wynosiło poniżej 10,5 V – wtedy następowało automatyczne przerwanie procesu rozładowania. Przykładowe przebiegi prądu i napięcia zarejestrowane podczas procesu rozładowania przedstawiono na rysunku 4.



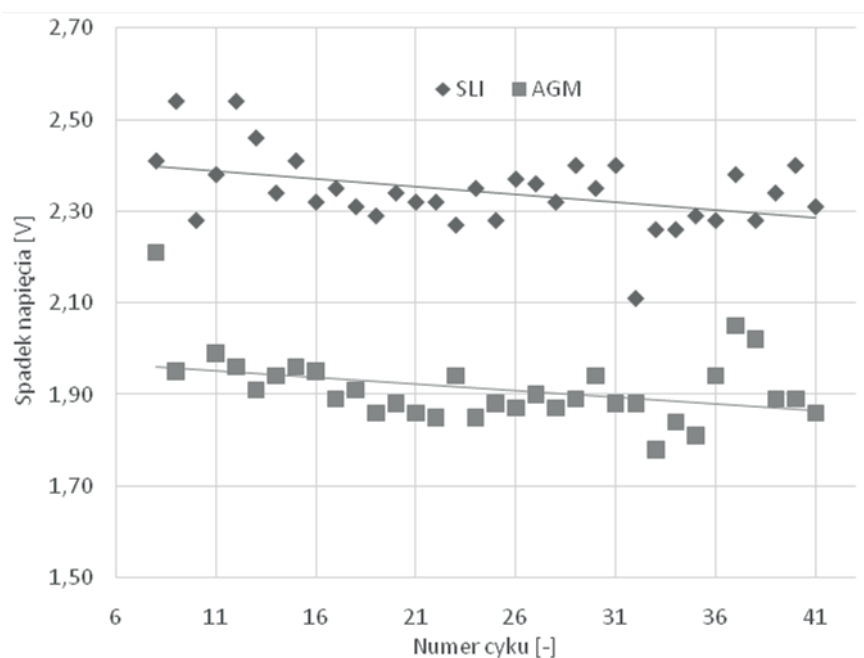
Rys. 3. Przebiegi natężenia prądu (1) i napięcia (2) dla akumulatora AGM w jednym cyklu ładowania



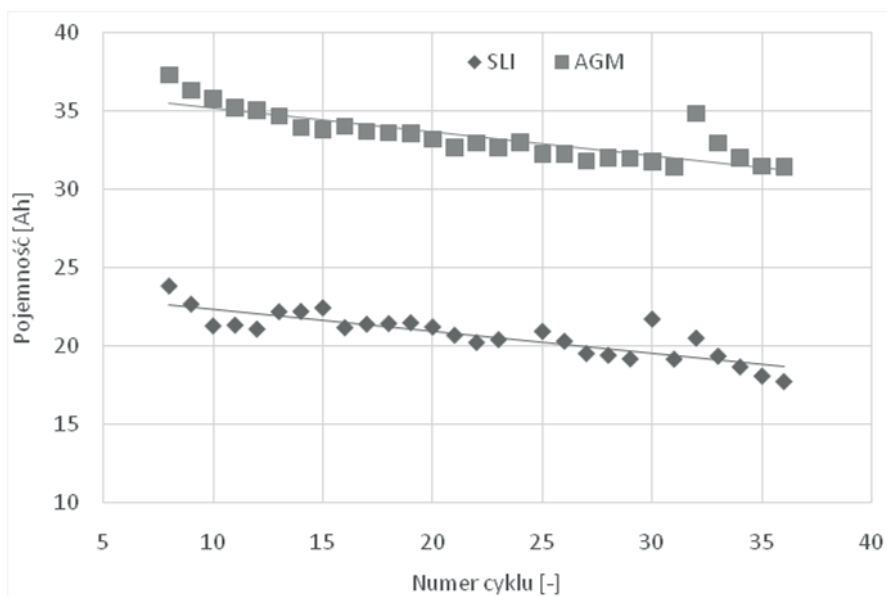
Rys. 4. Przebiegi natężenia prądu (1) i napięcia (2) dla akumulatora AGM w jednym cyklu rozładowania

Na rysunku 5 przedstawiono zarejestrowane spadki napięć w stosunku do napięcia znamionowego w kolejnych cyklach podczas obciążenia akumulatorów próbnikiem widelkowym (prądem o natężeniu około 200 A) [13]. Nie zaobserwowano znaczącego wpływu kolejnych cykli pracy na spadek napięcia. Przeprowadzone pomiary wykazały, że akumulator AGM podczas obciążania tym samym prądem co akumulator SLI, charakteryzował się mniejszymi spadkami napięcia. W przypadku akumulatora AGM zmierzony uśredniony spadek napięcia wynosił około 1,9 V, a w przypadku akumulatora SLI około 2,35 V.

Na rysunku 6 zilustrowano wyniki pomiarów pojemności badanych akumulatorów w kolejnych cyklach. Na przebiegach można dostrzec różnice w pojemności użytecznej obu akumulatorów. Akumulator wykonany w technologii SLI wg danych producenta miał pojemność znamionową o 2 amperogodzinny większą a wyniki pomiarów wykazały, że jego pojemność jest niższa od akumulatora AGM. Może to być spowodowane tym, że akumulatory typu SLI nie są przystosowane do głębokiego rozładowywania jakie realizowano podczas badań.



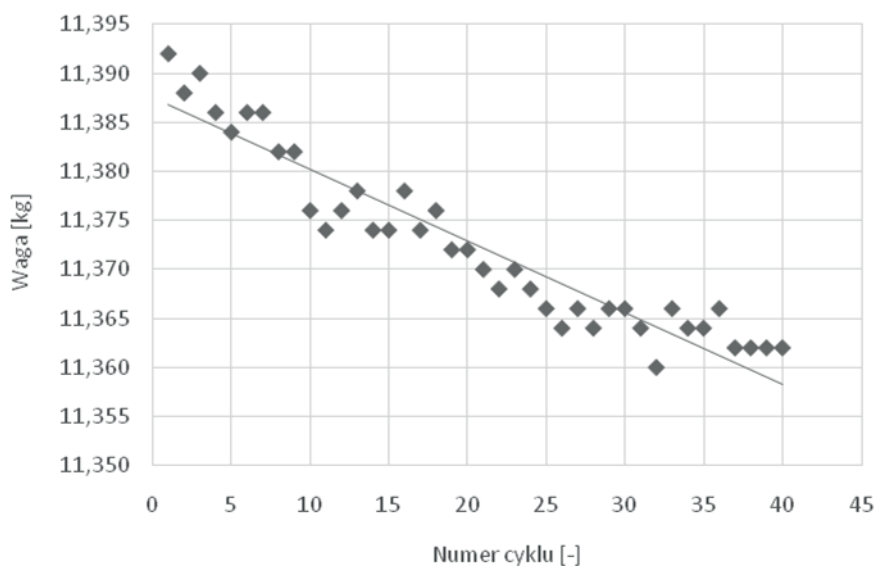
Rys. 5. Wartość spadku napięcia podczas obciążenia próbnikiem widełkowym w zależności od liczby cykli pracy akumulatora



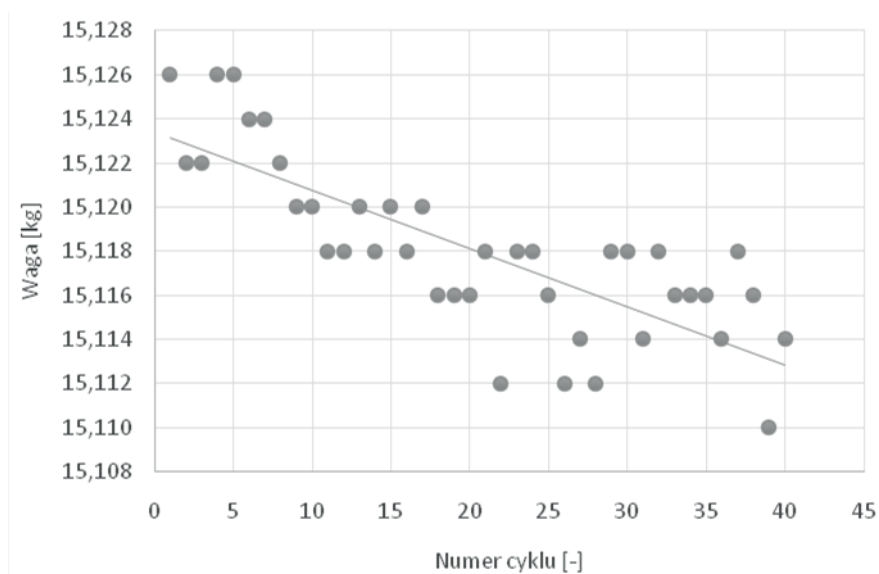
Rys. 6. Pojemności badanych akumulatorów w zależności od liczby cykli rozładowania i ładowania

Podczas pomiarów uzyskano mniejsze pojemności niż deklarowane przez producenta akumulatorów. Wynika to z faktu, że badania przeprowadzono przy prądzie równym $0,1C_{20}$, a nie przy prądzie znamionowym równym $0,05C_{20}$. Zwiększenie prądu podczas prób miało na celu skrócenie czasu długotrwałych badań. Zgodnie z założeniem autorów badania nie miały na celu wyznaczenie pojemności a określenie jej spadku w wyniku eksploatacji. Na wykresie przedstawionym na rysunku 6 widoczny jest spadek pojemności obu akumulatorów wraz z kolejnymi cyklami pracy. Badania wykazały, że akumulator AGM charakteryzował się spadkiem pojemności w kolejnych cyklach o około 11%, natomiast w przypadku akumulatora SLI odnotowano spadek pojemności o około 17%.

Zilustrowana na rysunkach 7 i 8 oraz w tabeli 2 utrata masy akumulatorów w trakcie testów była mała, ale zauważalna. Wraz z kolejnymi cyklami pracy odnotowano spadek masy akumulatora AGM o 12 g, a akumulatora SLI o 30 g. W przypadku akumulatora AGM zmiana masy była ponad 3-mniejsza niż w akumulatorze SLI. Spowodowane jest to zastosowaniem w akumulatorze AGM specjalnych zaworów minimalizujących ubytki elektrolitu w trakcie eksploatacji. Ubytki elektrolitu przyczyniają się do zmniejszenia pojemności akumulatora a tym samym skrócenia czasu eksploatacji.



Rys. 7. Zmiana masy akumulatora SLI wraz z liczbą przeprowadzonych cykli



Rys. 8. Zmiana masy akumulatora AGM wraz z liczbą przeprowadzonych cykli

Tabela 2. Zmiana masy akumulatorów w wyniku przeprowadzonych 41 cykli rozładowania i ładowania.

Typ akumulatora	Początkowa masa akumulatora	Końcowa masa akumulatora	Różnica w gramach	Różnica w procentach
	[kg]	[kg]	[g]	[%]
SLI	11,392	11,362	30	0,0026
AGM	15,126	15,114	12	0,0008

5. PODSUMOWANIE

Analiza wyników przeprowadzonych badań wykazała, że akumulator wykonany w technologii AGM charakteryzuje się lepszą wytrzymałością na prace cykliczną w porównaniu ze standardowym akumulatorem SLI. Przeprowadzone badania wykazały, że w akumulatorze AGM występują zdecydowanie mniejsze spadki napięcia przy obciążeniu a co za tym idzie może wygenerować większy prąd rozruchowy pomimo takich samych wartości deklarowanych przez producentów obu akumulatorów. Duża różnica w spadkach napięć pomiędzy akumulatorami mogła również wynikać z parametrów konkretnego egzemplarza akumulatora SLI. Według deklaracji producenta akumulatory powinny te mieć taką samą zdolność rozruchową co przeprowadzone testy podważyły. Nasuwa się

wniosek, że aby uwiarygodnić uzyskane wyniki, badania należy przeprowadzić na większej partii akumulatorów. Badania takie są czasochłonne.

Utrata masy akumulatorów w trakcie pracy cyklicznej była niewielka wynosiła w przypadku akumulatora AGM 8 ppm, a w przypadku akumulatora SLI 26 ppm. Zauważalnie większy ubytek masy wystąpił w akumulatorze SLI, który nie był wyposażony zawory zapewniające szczelność, jakie występują w akumulatorach AGM.

W związku z uzyskanymi wynikami stosowanie akumulatorów typu AGM w samochodach wykorzystujących system start/stop jest uzasadnione mniejszymi spadkami napięcia przy obciążeniu oraz mniejszą stratą pojemności w wyniku pracy cyklicznej. W przypadku pojazdów bez systemu start/stop, w których nie dochodzi do głębokiego rozładowania akumulatora, stosowanie w nich dużo droższych akumulatorów AGM wydaje się nie mieć uzasadnienia.

Eksploatacja akumulatorów (ładowanie i rozładowywanie – zwłaszcza głębokie) powoduje spadek ich pojemności. Jednak nawet akumulatory wyeksploatowane i niespełniające już parametrów znamionowych, czyli nie nadające się do zastosowania jako rozruchowe można wykorzystać przykładowo w domowych magazynach energii.

LITERATURA

- [1] Bednarek K., Bugała A.: Właściwości użytkowe akumulatorów kwasowo ołowiowych, Poznań 2017.
- [2] Czerwiński A.: Akumulatory baterie ogniwa, Warszawa 2021.
- [3] Obrębowski S.: Właściwości elektrod akumulatora kwasowo-ołowiowego wytworzonych na bazie usieciowanego węgla szklanego, [dostęp 26.01.2023], dostępne na <https://depotuw.ceon.pl/handle/item/135>
- [4] Jajczyk J., Słomczyński K.: Rower elektryczny z dedykowanym akumulatorem, Poznan University of Technology Academic Journals, Electrical Engineering, Issue 98, ISSN 1897-0737, Published by Poznan University of Technology (2019), Perfekt Druk, s. 171-180.
- [5] Świątek J., Problemy z akumulatorami kwasowymi, Wiadomości Elektrotechniczne, nr 7–8, 2002.
- [6] Samson P.: Akumulatory, dostępne na <https://suntrack.pl/content/29-akumulatory>, [dostęp 26.01.2023]
- [7] Górecki P.: Akumulatory kwasowo-ołowiowe, dostępne na <https://ep.com.pl/rynek/wybor-konstruktora/10248-akumulatory-kwasowo-olowiowe>, [dostęp 19.01.2023].
- [8] Linden D., Reddy T. B.: Handbook of batteries, 3rd edition, s. 1187-1190, McGraw-Hill 2002.
- [9] Jankowski K.: Sprawność elektryczna akumulatora samochodowego w warunkach cyklicznego rozładowania rozruchowego, Radom 2016.

- [10] PN-EN 50342-1: 2007 – Akumulatory ołowiowe rozruchowe. Część. 1: Wymagania ogólne i metody badań, PKN, maj 2007.
- [11] Paszkowski J.: Ładowanie akumulatora, dostępne na <http://beta.akubiz.biz/akumulator,4,ladowanie-akumulatora>, [dostęp 22.01.2023].
- [12] Dokumentacja techniczna testera EBC-A10H, dostępne na https://supereyes.ru/img/instructions/EBC_A10H_manual.pdf, [dostęp 03.10.2023].
- [13] Dokumentacja techniczna testera VAS 260, dostępne na <https://www.meraserw5.pl/images/Akumtest/VAS260.pdf>, [dostęp 03.10.2023].

COMPARATIVE STUDY OF THE LONGEVITY OF BATTERIES MANUFACTURED IN SLI AND AGM TECHNOLOGIES

In the course of this study, research was conducted to compare the durability of two batteries with similar nominal parameters. One of the batteries was a typical lead-acid battery (SLI), while the other was a battery manufactured using AGM technology. During the research, a series of charge and discharge tests were conducted. After each cycle, the parameters of the tested batteries were monitored to assess the impact of cyclic operation on their durability.

KEYWORDS: starter batteries, SLI batteries, AGM batteries, battery durability.

(Received: 06.10.2023, revised: 20.11.2023)