

PSZCZÓŁKOWSKI Józef, DYGA Grzegorz

BADANIE ZALEŻNOŚCI CHARAKTERYSTYK AKUMULATORA OD JEGO STANU

Streszczenie

Zrealizowano badania charakterystyk akumulatorów kwasowo-ołowiowych o różnym stanie technicznym i różnym stopniu naładowania. Badania zrealizowano w zmiennych warunkach temperatury oraz przy zmiennym obciążeniu akumulatora rezystancją zewnętrzną. Przedstawiono wpływ stanu akumulatora i temperatury na zmianę właściwości elektrolitu oraz takich parametrów jak napięcie, natężenie prądu oraz rezystancję wewnętrzną akumulatora. Przedstawiono przebieg charakterystyk w warunkach obciążenia zmiennego rezystancją zewnętrzną determinującą wartość natężenia pobieranego z akumulatora prądu.

WSTĘP

Stan akumulatora, podobnie jak każdego urządzenia (obiektu) technicznego determinuje możliwość jego celowego wykorzystania dla realizacji określonych funkcji – w tym przypadku zasilania odbiorników energii elektrycznej, np. w samochodzie. Pojęcie stanu jest w diagnostyce pojęciem pierwotnym niedefiniowalnym, definiowalne są miary oceny stanu. Dla samochodowych akumulatorów kwasowych rozróżnia się dwa aspekty miary stanu, w tym także w diagnostycznych przyrządach pomiarowych (np. MM Battery Tester). Wyróżnić więc można pojęcie stanu technicznego i stanu naładowania akumulatora. Miernikiem stanu (technicznego) akumulatora jest stosunek jego maksymalnej rzeczywistej pojemności (zachowanej) do pojemności znamionowej. Pogorszenie stanu jest więc wynikiem trwałej utraty pojemności wskutek procesów starzenia, głównie zasiarczenia płyt, które jest procesem praktycznie nieodwracalnym [1]. Pomija się tu uszkodzenia całkowicie eliminujące akumulator z użytkowania, np. zwarcie płyt, czy pęknięcie obudowy. Jako stopień naładowania należy rozumieć stosunek pojemności – ładunku elektrycznego, jaki jest zgromadzony w akumulatorze do jego możliwej maksymalnej ilości jaką można zgromadzić w danym akumulatorze, przy jego aktualnym stanie technicznym. Doświadczenie badawcze i praktyczne autorów wskazuje, że te dwa aspekty stanu są trudno rozróżnialne diagnostycznie nawet przy użyciu „nowoczesnych” konduktancyjnych testerów akumulatorów. Jediną pewną metodą byłoby tu pełne rozładowanie i ładowanie akumulatora, które ze względu na jego trwałość i czasochłonność nie jest wykonywane.

Procesy rozładowania i ładowania akumulatorów dla osiągnięcia powyższego celu można realizować w warunkach celowych badań dla określenia metod rozpoznania stanu oraz wyznaczania charakterystyk akumulatorów. Podstawowym parametrem akumulatora jako źródła prądu jest napięcie na jego zaciskach w chwili obciążenia. Zależy ono od wielu czynników, ale niewątpliwie, przynajmniej od pewnej wartości, stan techniczny i stan naładowania mają tu podstawowe znaczenie. Stąd też ocena obydwu aspektów stanu ma podstawowe znaczenie w diagnostyce akumulatora.

Dlatego też podjęto badania mające na celu jednoznaczne zdefiniowanie i ocenę stanu technicznego i stanu naładowania badanych akumulatorów oraz wyznaczenia dla nich zależności głównie między napięciem a czynnikami je determinującymi.

1. STANOWISKO I METODYKA BADAŃ AKUMULATORÓW

Do przeprowadzenia badań wykorzystano zbudowane w WAT stanowisko pomiarowe umożliwiające sterowanie warunkami badania oraz rejestrację parametrów elektrycznych pracy akumulatora. Stanowisko zostało zbudowane na bazie komory niskich temperatur, w której prowadzone były pomiary przy określonych temperaturach otoczenia. Zasadnicze elementy funkcjonalne stanowiska to:

- badany akumulator,
- zestaw rezystorów obciążających,
- zestaw komputerowy do rejestracji napięcia i natężenia prądu,
- multimetr do bieżącej kontroli parametrów elektrycznych,
- zasilacz stabilizowany do ładowania akumulatorów i zasilania włącznika,
- włącznik bezpośredniego sterowania przebiegiem badania.

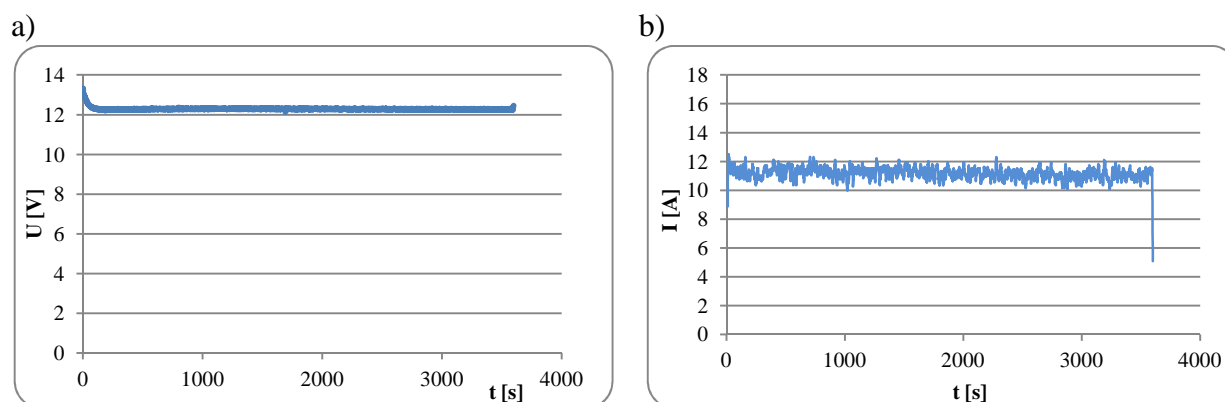
Do badań wykorzystano akumulatory kwasowo-ołowiowe o pojemnościach znamionowych 50 Ah, 54 Ah, 110 Ah, 170 Ah i zróżnicowanym stanie technicznym. W tabeli 1 podano pojemność znamionową i „stan techniczny” badanych akumulatorów. Stan techniczny akumulatorów wyznaczono podczas rozładowania prądem o stałym natężeniu liczbowo równym 0,1 pojemności znamionowej dwudziestogodzinnej w temperaturze +15 °C.

Tab. 1. Stan techniczny badanych akumulatorów kwasowych

Typ akum. Parametr	50 Ah	54 Ah	110 Ah	170 Ah
Q ₂₀ [Ah]	50	54	110	170
Stan techn. [%]	42,9	100	57,1	28,6

Źródło: [opracowanie własne]

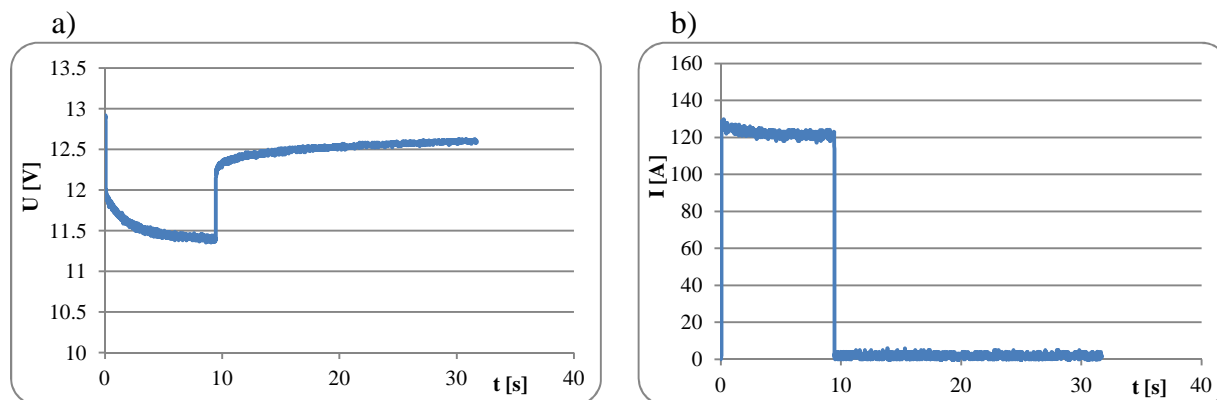
Do obciążania akumulatorów wykorzystano opornicę rezystorową wykonaną z drutów oporowych. Wartości rezystancji dla poszczególnych zestawów rezystorów zmieniały się od 0,0557 do 0,1905 [Ω]. Ze względu na pracochłonność i faktyczną możliwość realizacji badań wykonano je przy jednej stałej temperaturze otoczenia i akumulatora równej około +15 °C. Dokonywano także pomiaru gęstości elektrolitu (akumulator o pojemności 54Ah był akumulatorem bezobsługowym o zamkniętej obudowie).



Rys. 1. Przebieg: a) napięcia, b) natężenia prądu akumulatora 110 Ah podczas pierwszego cyklu rozładowania prądem 10-cio godzinnym

Źródło: [opracowanie własne]

Zmiany pojemności (stanu naładowania) akumulatorów dokonywano stopniowo poprzez rozładowanie ich prądem 10-cio godzinnym przez 1 godzinę, a następnie realizowano próby obciążania rezystancją i wyznaczania charakterystyk. Cykle rozładowania i badań powtarzano do chwili, gdy napięcie na zaciskach obciążonego, rozładowywanego akumulatora było równe 10,5 V. Podczas rozładowania rejestrowano 3600 próbek przebiegu natężenia prądu i napięcia na zaciskach akumulatora z częstotliwością 1 s. Przykładowy przebieg zarejestrowanych danych podczas wyładowywania przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 2. Przebieg: a) napięcia oraz b) natężenia prądu pobieranego z akumulatora o pojemności 110 Ah w temperaturze 5 °C obciążonego rezystancją S2.

Źródło: [opracowanie własne]

Podczas próby obciążania akumulatorów także rejestrowano przebiegi ww. wielkości za pomocą rejestratora komputerowego. Próba obciążenia trwała około 9 s, natomiast rejestrację parametrów realizowano przez 32 s z częstotliwością próbkowania 10 ms (w celu obserwacji zmian siły elektromotorycznej polaryzacji oraz ustalania wartości napięcia). Przykładowe przebiegi zamieszczono na rysunku 2. Przedstawia on napięcie i natężenie prądu akumulatora o pojemności 110 Ah obciążonego rezystancją S2 w temperaturze elektrolitu 5 °C. Zmiany rejestrowanych parametrów uzasadniają, że ich wartości ustalone określano dla czasu ok. 5 s przebiegu danej próby.

2. PARAMETRY AKUMULATORÓW PODCZAS ROZŁADOWANIA

Podczas realizacji badań dokonywano zmiany pojemności akumulatorów (stanu ich naładowania) oraz oceny stanu poprzez rozładowanie prądem 10-cio godzinnym w cyklach trwających 1 godzinę w stałej temperaturze otoczenia +15 °C. Po każdym rozładowaniu mierzono gęstość elektrolitu w poszczególnych celach akumulatorów i wykonywano pomiary parametrów pracy akumulatorów podczas ich obciążania zestawem rezystorowym. W tabeli nr 2 zamieszczono wyniki pomiarów gęstości dla trzech akumulatorów, dla których możliwe było wykonanie takich pomiarów.

Na podstawie gęstości elektrolitu wyznaczono według [2] także stopień naładowania akumulatorów podany również w tabeli 2. Dla akumulatorów o pojemnościach 50 Ah oraz 170 Ah ostatni cykl rozładowania nie został w pełni zrealizowany. Rozładowanie akumulatora o pojemności 50 Ah przerwano w 3-cim cyklu w 42 minucie, w której napięcie na zaciskach akumulatora spadło do 10,59 V. Dla akumulatora o pojemności 170 Ah 3-ci cykl rozładowania przerwano po 50 minutach, gdzie napięcie na jego biegunach spadło poniżej 10 V. Przed rozpoczęciem badań najmniejszą średnią wartość gęstości miał akumulator o pojemności 50 Ah, największą natomiast akumulator o pojemności 170 Ah. Akumulator o pojemności 170 Ah, biorąc pod uwagę stężenie elektrolitu i wyznaczony na tej podstawie stopień naładowania, powinien wykazywać dobry stan techniczny – przeczy temu fakt

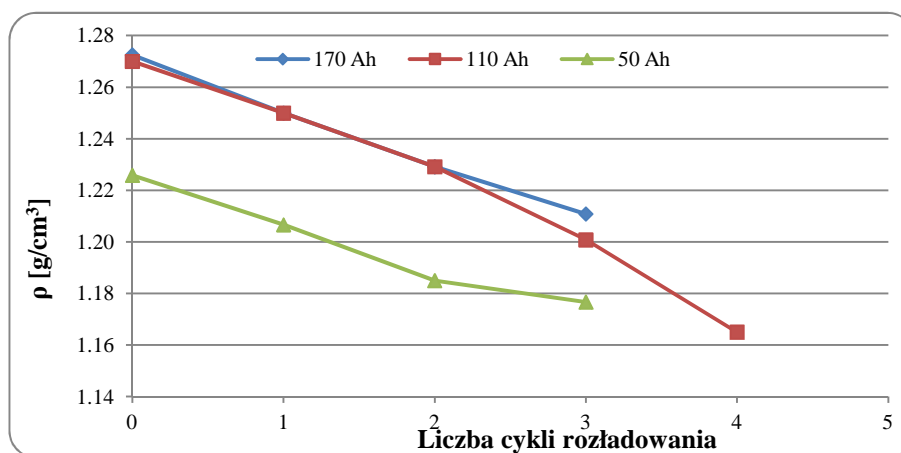
przeprowadzenia jedynie dwóch pełnych cykli rozładowania i częściowo trzeciego. Przyczyny tego stanu nie wyjaśniono ze względu na brak znajomości „historii jego życia”.

Tab. 2. Wartości gęstości elektrolitu akumulatorów mierzone po kolejnych cyklach rozładowania

Akumulator 50 Ah									
	Nr cyklu	Nr celi						Średnia	Stopień naładowania k [%]
		1	2	3	4	5	6		
ρ [g/cm ³]	0	1,220	1,230	1,230	1,225	1,230	1,220	1,226	67,5
	1	1,200	1,210	1,210	1,200	1,210	1,210	1,207	58,3
	2	1,180	1,190	1,180	1,190	1,190	1,180	1,185	47,5
	3 (42')	1,175	1,180	1,180	1,175	1,180	1,170	1,177	43,3
Akumulator 110 Ah									
	Nr cyklu	Nr celi						Średnia	Stopień naładowania k [%]
		1	2	3	4	5	6		
ρ [g/cm ³]	0	1,270	1,270	1,270	1,270	1,270	1,270	1,270	93,0
	1	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	80,0
	2	1,230	1,230	1,230	1,230	1,225	1,230	1,229	70,0
	3	1,195	1,200	1,200	1,210	1,200	1,200	1,201	55,4
	4	1,155	1,170	1,170	1,170	1,160	1,165	1,165	37,5
Akumulator 170 Ah									
	Nr cyklu	Nr celi						Średnia	Stopień naładowania k [%]
		1	2	3	4	5	6		
ρ [g/cm ³]	0	1,275	1,275	1,270	1,270	1,275	1,270	1,273	95,0
	1	1,260	1,250	1,240	1,250	1,250	1,250	1,250	80,4
	2	1,230	1,235	1,220	1,230	1,230	1,230	1,229	69,3
	3 (50')	1,210	1,215	1,205	1,210	1,215	1,210	1,211	60,4

Źródło: [opracowanie własne]

Gęstość elektrolitu zmniejszała się w czasie trwania kolejnych cykli rozładowania. Szybkość zmian gęstości elektrolitu akumulatora w dużym stopniu uzależniona jest od jego stanu technicznego. Gęstość elektrolitu akumulatorów w początkowej fazie rozładowania zmienia się w sposób liniowy, w końcowym okresie nieznacznie odchyła się od linii prostej. W zależności od liczby przeprowadzonych cykli rozładowania, gęstość elektrolitu po ostatnim cyklu zawierała się w przedziale 1,155 ÷ 1,215 g/cm³. Na rysunku 3 przedstawiono przebieg zmian gęstości elektrolitu w zależności od liczby cykli rozładowania.

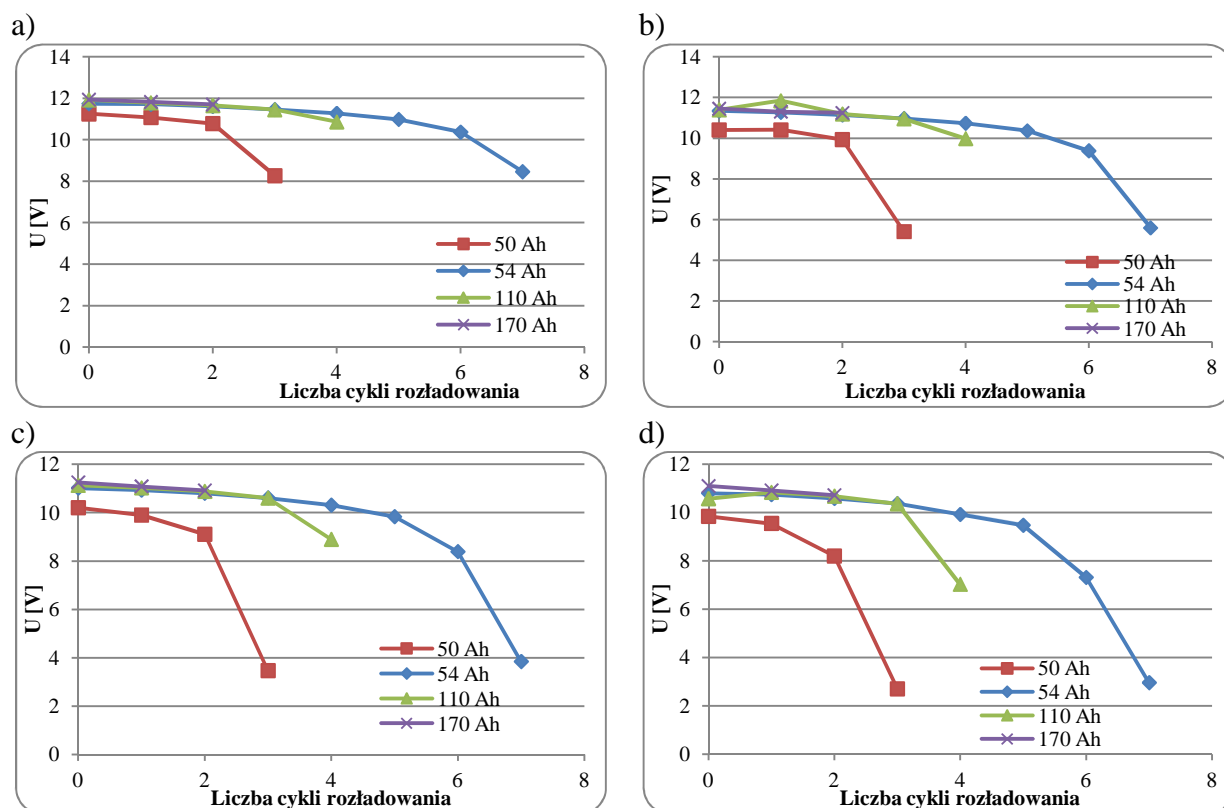


Rys. 3. Zmiana gęstości elektrolitu w zależności od liczby cykli rozładowania

Źródło: [opracowanie własne]

3. CHARAKTERYSTYKI AKUMULATORA W OBNIŻONYM STANIE NAŁADOWANIA

Parametry funkcjonalne akumulatorów (natężenie i napięcie na zaciskach) w warunkach obciążenia prądowego przy zmiennym stanie naładowania badano po każdym godzinowym cyklu rozładowania. Bezpośrednim miernikiem wpływu stanu naładowania na ich zmiany są zależności napięcia oraz natężenia prądu w funkcji liczby cykli rozładowania (rys. 4, 5). Łatwo zauważyć, że przebieg napięcia na zaciskach poszczególnych akumulatorów uzależniony jest od stanu technicznego (tab. 1), stanu naładowania akumulatora (numeru cyklu rozładowania) oraz rezystora obciążającego (prądu rozładowania).



Rys. 4. Przebieg napięcia mierzonego na zaciskach akumulatorów w funkcji liczby cykli rozładowania dla poszczególnych stopni obciążenia: a) S1, b) S2, c) S3, d) S4

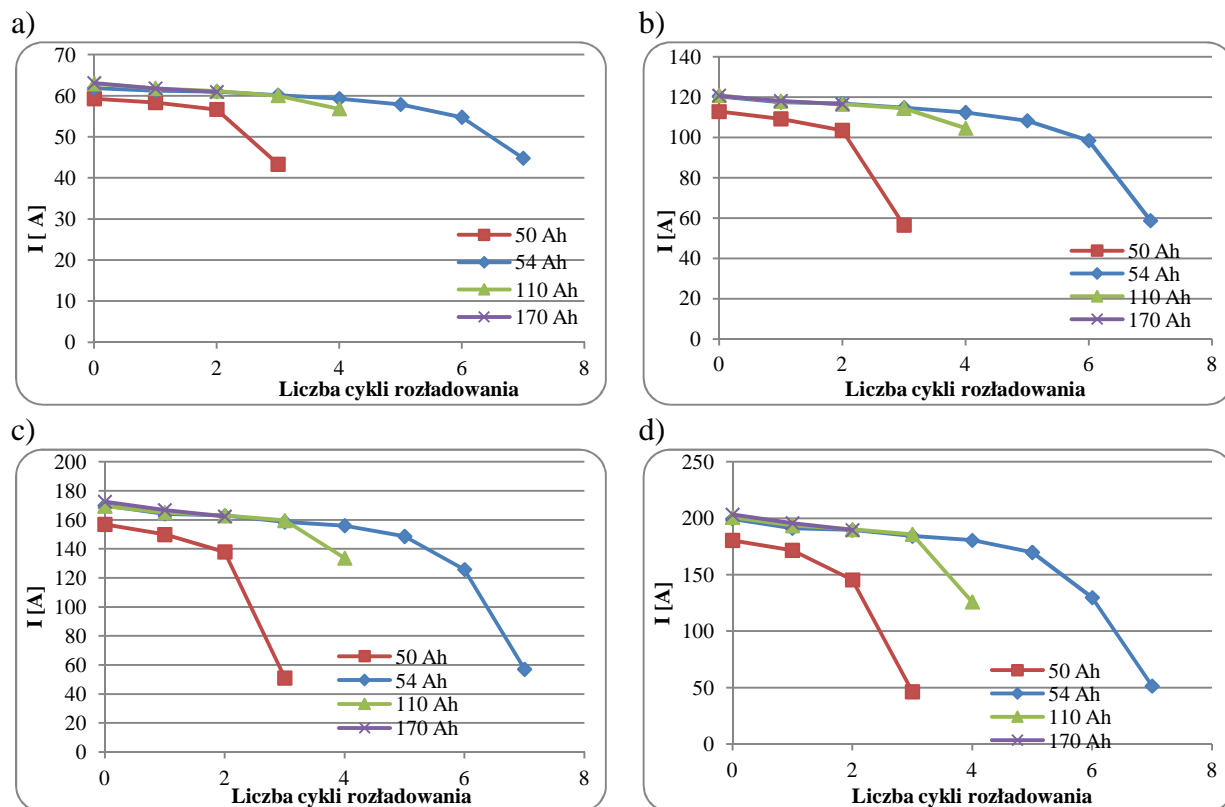
Źródło: [opracowanie własne]

Podczas obciążania akumulatorów niskimi wartościami prądu rozładowania (duża rezystancja zewnętrzna) spadek napięcia jest niewielki – rysunek 4a i 4b. Wraz ze wzrostem obciążenia spadek napięcia mierzony na zaciskach akumulatorów staje się bardziej istotny. Gwałtowny spadek napięcia jest obserwowany szczególnie po ostatnim cyklu rozładowania akumulatorów (z wyjątkiem akumulatora 170 Ah, dla którego nie realizowano badań po ostatnim niepełnym cyklu rozładowania wskutek nadmiernego spadku napięcia). Stan techniczny poszczególnych akumulatorów determinuje wartość końcowego napięcia mierzonego na zaciskach akumulatora. Wyraźnie najmniejsze wartości napięcia występują na zaciskach akumulatora o najmniejszej pojemności – 50 Ah, a zarazem najmniejszej zmierzonej gęstości elektrolitu. Różnica wartości napięcia na zaciskach akumulatorów zwiększa się wraz ze wzrostem obciążenia proporcjonalnie do przyrostu natężenia prądu.

Warto zauważyć, że po początkowych cyklach rozładowania wartości napięcia na zaciskach akumulatorów o pojemnościach znamionowych 54, 110 i 170 Ah są praktycznie równe. Oznacza to, że różnice pojemności znamionowej, stanu technicznego i stanu

naładowania odpowiednio kompensują się w ich przypadku. Na uwagę zasługuje fakt, że dla akumulatora o pojemności 50Ah wartość napięcia w ostatnim cyklu jego rozładowania jest zbliżona do wartości napięcia mierzonego w ostatnim cyklu dla akumulatora 54Ah, niezależnie od wartości obciążenia. Wynika to z ich stanu końcowego podczas badania, co potwierdza także pomiar gęstości elektrolitu.

Rysunek 5 przedstawia natężenie prądu mierzone w tych samych warunkach co napięcie przedstawione na rys. 4. Wartość natężenia prądu pobieranego jest adekwatna do wartości napięcia na zaciskach akumulatora. Obydwa parametry są bowiem zależne poprzez wartość rezystancji zewnętrznej, przez którą przepływa prąd. Stąd odpowiednie uwagi dotyczą w równej mierze przebiegów napięcia i natężenia prądu.

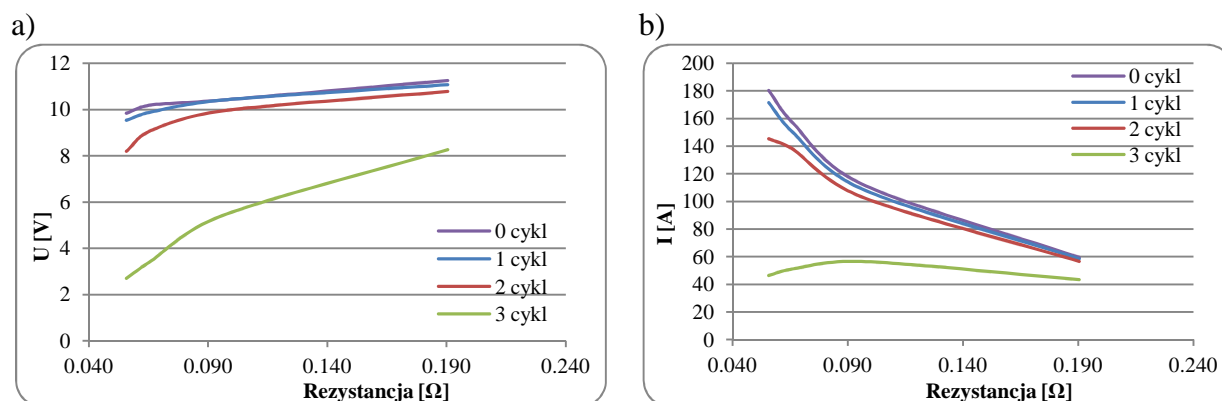


Rys. 5. Przebieg natężenia prądu mierzonego na zaciskach akumulatorów w funkcji liczby cykli rozładowania dla poszczególnych stopni obciążenia: a) S1, b) S2, c) S3, d) S4

Źródło: [opracowanie własne]

Kolejnym istotnym typem charakterystyki dla akumulatorów o różnym stopniu naładowania jest zależność napięcia na zaciskach oraz pobieranego prądu od rezystancji obciążenia zewnętrznego. Na rysunku 6 przedstawiono przebiegi napięcia oraz natężenia prądu dla akumulatora o pojemności 50Ah. Jego stan techniczny umożliwił wykonanie trzech pełnych cykli rozładowania. Zmiany wartości napięcia po pierwszym i drugim cyklu rozładowania są nieznaczne, a jego wartość maleje tym bardziej i intensywniej im mniejsza jest wartość rezystancji, a więc większa wartość natężenia pobieranego prądu (rys. 6b). Wartości napięcia mierzone podczas badania po trzecim cyklu rozładowania są znacznie mniejsze niż w poprzednich cyklach. Ponadto widoczny jest gwałtowny spadek wartości napięcia wraz ze zmniejszaniem rezystancji – wzrostem obciążenia. Podobne relacje zmian można zaobserwować w przypadku natężenia prądu pobieranego z akumulatora. Przy tym jest oczywiste, że odpowiednim spadkom wartości napięcia towarzyszą wzrosty natężenia prądu w funkcji wartości rezystancji. Kierunek zmian i ich intensywność jest zgodna dla kolejnych cykli rozładowania akumulatora. W ostatnim cyklu badań akumulatora natężenie prądu

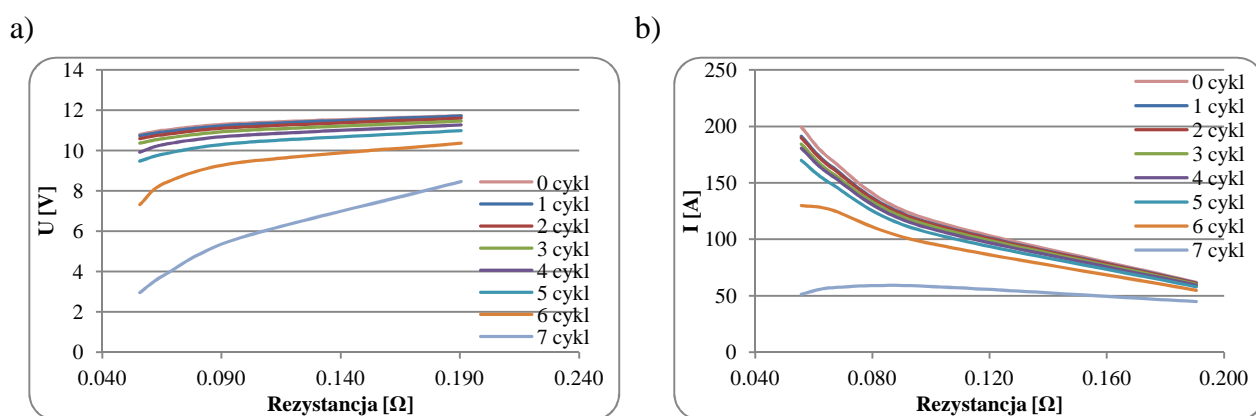
maleje nawet przy zmniejszaniu wartości rezystancji, co jest spowodowane nadmiernym spadkiem wartości napięcia.



Rys. 6. Przebieg: a) napięcia, b) natężenia prądu akumulatora o pojemności 50Ah w zależności od rezystancji obciążenia

Źródło: [opracowanie własne]

Przebieg rejestrowanych parametrów w zależności od stopnia obciążenia dla kolejnych cykli rozładowania akumulatora 54 Ah przedstawiono na rysunku 7. W przypadku tego akumulatora o pełnej zdatności (stan 100 %) i pełnym stopniu naładowania zrealizowano 7 cykli rozładowaniu prądem 10-cio godzinnym. Po każdym kolejnym cyklu rozładowania wartość napięcia na zaciskach akumulatora jest nieco mniejsza aż do piątego cyklu włącznie. Świadczy to o stopniowym niewielkim spadku pojemności użytecznej akumulatora. Następne cykle rozładowania charakteryzuje znaczne obniżenie wartości napięcia, a także gwałtowniejszy jej spadek wraz ze zmniejszeniem rezystancji.

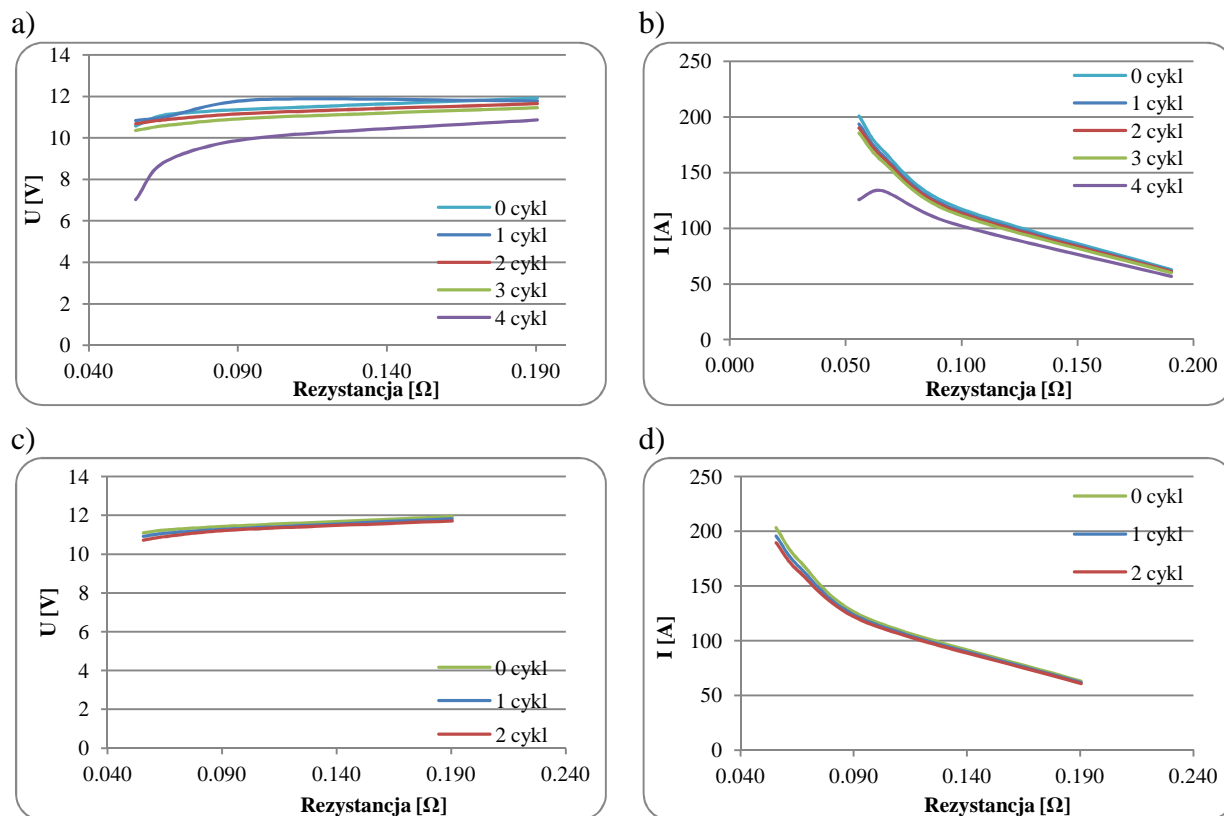


Rys. 7. Przebieg: a) napięcia, b) natężenia prądu akumulatora o pojemności 54 Ah w zależności od rezystancji obciążenia

Źródło: [opracowanie własne]

Kolejne cykle rozładowania powodują nieznaczne obniżanie wartości natężenia prądu, lecz charakter zmian jest taki sam. Po piątym, a szczególnie szóstym cyklu rozładowania natężenie prądu przy niskich wartościach rezystancji obniża się znacznie w porównaniu do poprzednich cykli. Następujące po sobie kolejne cykle rozładowania powodują spadek zdolności akumulatora do oddawania ładunku elektrycznego. Różnice w tym zakresie uwidaczniają się szczególnie przy zwiększeniu obciążenia prądowego – zmniejszeniu rezystancji zewnętrznej.

Rysunek 8 przedstawia analogiczne przebiegi napięcia i natężenia prądu dla akumulatorów o pojemnościach 110 Ah i 170 Ah. Dla akumulatora 110 Ah przebieg zmian napięcia i prądu w pierwszych trzech cyklach jest podobny. W czwartym cyklu rozładowania widoczny jest znaczny spadek napięcia. Bardzo mała wartość napięcia w punkcie, w którym rezystancja przyjmuje najmniejszą wartość powoduje nawet zmniejszenie wartości prądu rozładowania, co świadczy o utracie pojemności i zdolności oddawania ładunku przez badany akumulator.



Rys. 8. Przebieg: a) napięcia, b) natężenia prądu dla akumulatora 110Ah, c) napięcia, d) natężenia prądu dla akumulatora 170Ah

Źródło: [opracowanie własne]

Stan techniczny akumulatora o pojemności 170Ah umożliwił przeprowadzenie dwóch pełnych cykli rozładowania, po których parametry elektryczne akumulatora w warunkach obciążenia są zbliżone. Brak jest tu charakterystycznego obniżenia parametrów w cyklu ostatnim – pomiar ten nie został wykonany ze względu na nadmierne rozładowanie akumulatora.

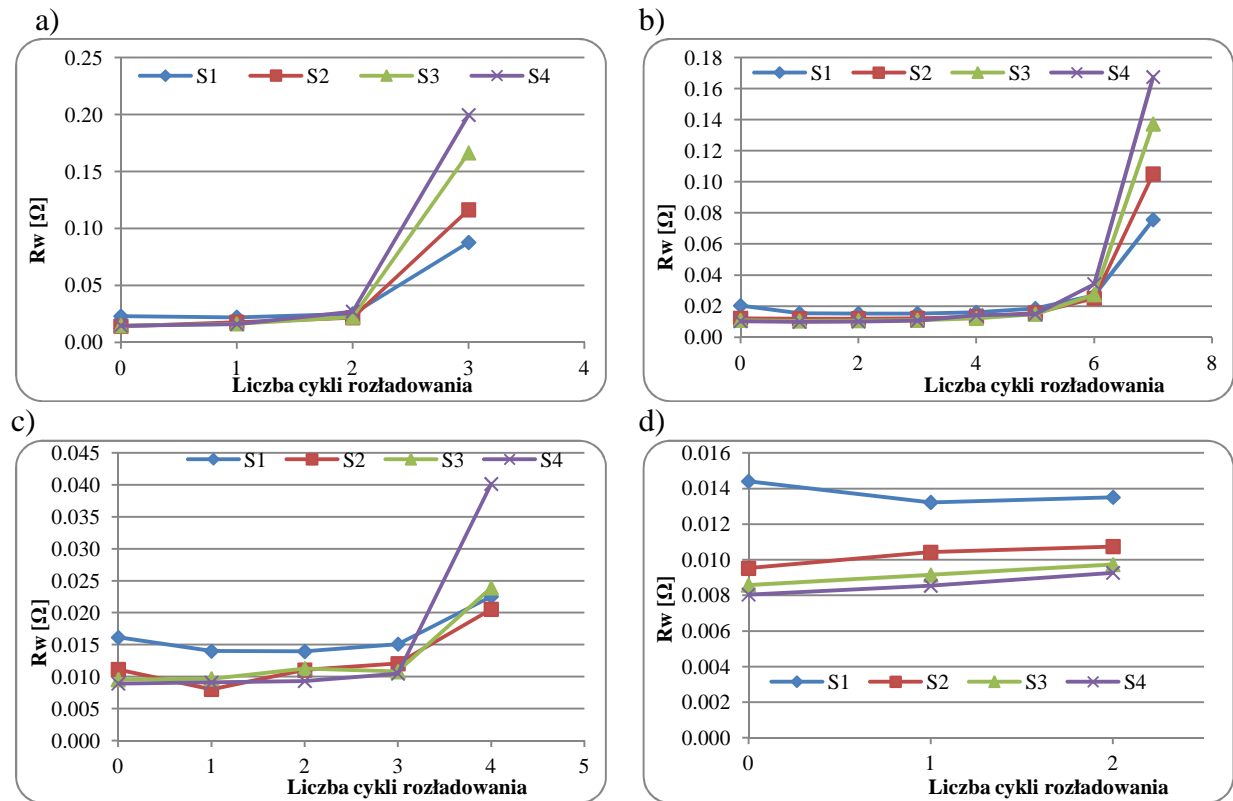
Niezwykle istotnym parametrem cechującym akumulator jest rezystancja wewnętrzna. To jej wartość decyduje o wartości napięcia na zaciskach akumulatora przy zasilaniu odbiornika, zgodnie z wyrażeniem (1):

$$U_{wył} = E - I * R_w \quad (1)$$

Choć rezystancja wewnętrzna akumulatorów ma małą wartość, to jednak w warunkach trudnych pracy akumulatora – podczas rozruchu silnika – jest ona porównywalna z rezystancją odbiornika [3]. Stąd istotne jest określenie jej zmian wraz ze zmianą stanu i stanu naładowania akumulatora. W trakcie rozładowania elektrolit zmienia swoje właściwości – następuje spadek jego gęstości, przez co zwiększa się rezystancja wewnętrzna a także i

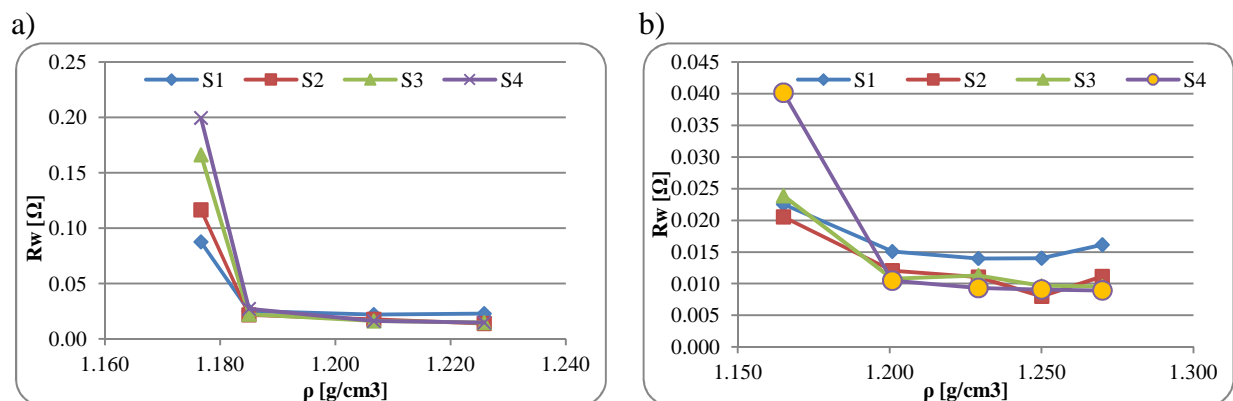
wartość siły elektromotorycznej akumulatora. W efekcie powoduje to spadek napięcia rozładowania a przez to zmniejszenie zdolności do zasilania odbiorników energii.

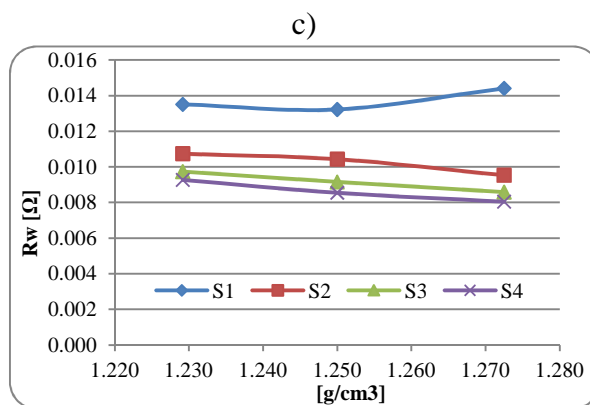
Zmiany rezystancji wewnętrznej akumulatora w funkcji liczby cykli rozładowania przedstawiono na rysunku 9 a w funkcji gęstości na rysunku 10. Zależności uwzględniają także stopień obciążenia prądowego zestawem rezystorów. Wartości rezystancji wewnętrznej zostały obliczone na podstawie parametrów mierzonych w trakcie procesu rozładowania.



Rys. 9. Zmiana rezystancji wewnętrznej w funkcji liczby cykli rozładowania akumulatorów o pojemnościach: a) 50 Ah, b) 54 Ah, c) 110 Ah, d) 170 Ah oraz obciążenia zestawem rezystorowym

Źródło: [opracowanie własne]





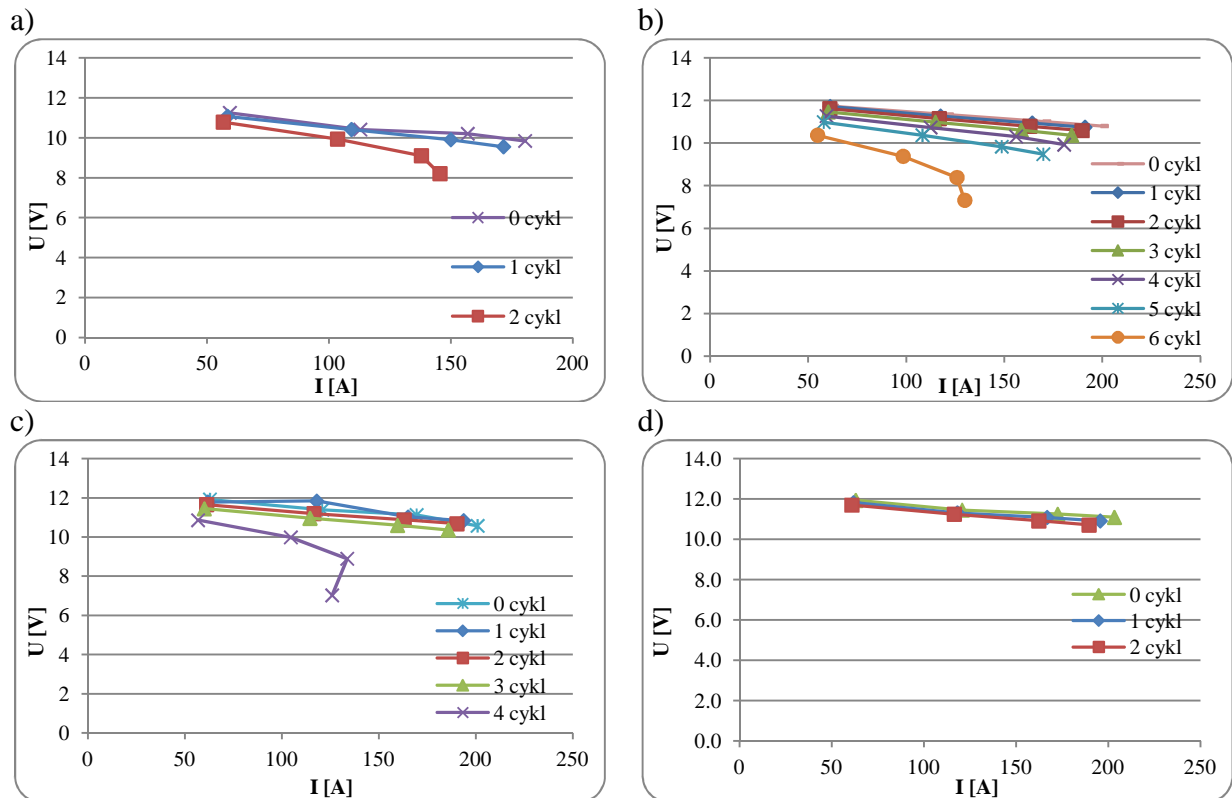
Rys. 10. Zmiany rezystancji wewnętrznej R_w w funkcji gęstości ρ dla akumulatorów o pojemnościach: a) 50Ah, b) 110Ah, c) 170Ah

Źródło: [opracowanie własne]

Przedstawione przebiegi cechuje adekwatność, bowiem zwiększającej się liczbie cykli rozładowania odpowiada zmniejszanie gęstości elektrolitu. Zatem odpowiednie i odpowiadające sobie krzywe są względem siebie symetryczne. W początkowych cyklach rozładowania (wraz z początkowym zmniejszaniem gęstości) rezystancja zmienia się nieznacznie bez względu na wartość obciążenia. Wraz z wzrostem liczby cykli rozładowania – spadkiem gęstości – różnica wartości rezystancji wewnętrznej jest coraz wyraźniej widoczna. Największe zmiany obserwowane są po ostatnim cyklu rozładowania, niezależnie od pojemności akumulatorów. Po kolejnych cyklach rozładowania zmniejsza się liczba jonów biorących udział w przewodzeniu prądu – zmniejsza się przewodność elektryczna elektrolitu.

Istotny wpływ na zmianę rezystancji wewnętrznej ma również wartość natężenia prądu rozładowania – użytego zestawu rezystorów. Wraz ze wzrostem obciążenia prądowego wzrasta rezystancja wewnętrzna przy stałej wartości gęstości elektrolitu. Pewną specyfiką przedstawionych zależności jest to, że wyraźnie największa wartość oporu wewnętrznego występuje dla najmniejszej wartości obciążenia prądowego, a więc przy największej wartości oporu zewnętrznego S1. Wyjątkiem jest tu wynik w ostatnim cyklu rozładowania, ale należy pamiętać, że jest to stan graniczny akumulatora (osiągnięcie napięcia 1,75 V/ogniwo), w którym nie jest on właściwie zdolny do oddawania ładunku. Wówczas największa wartość R_w została określona dla obciążenia największego S4, w próbie wykonywanej jako ostatnia w danej serii.

Najważniejszą charakterystyką akumulatora jako źródła prądu jest zależność napięcia U na jego zaciskach od natężenia pobieranego prądu I . Charakterystyki takie dla badanych akumulatorów w kolejnych cyklach rozładowania przedstawia rysunek 11. Zgodnie z prawem Ohma napięcie pod wpływem wzrostu natężenia pobieranego prądu maleje i zmiany te powinny mieć charakter liniowy. W pierwszych cyklach rozładowania liniowy charakter zależności napięcia od natężenia jest utrzymany (wskazują na to wartości współczynnika korelacji).

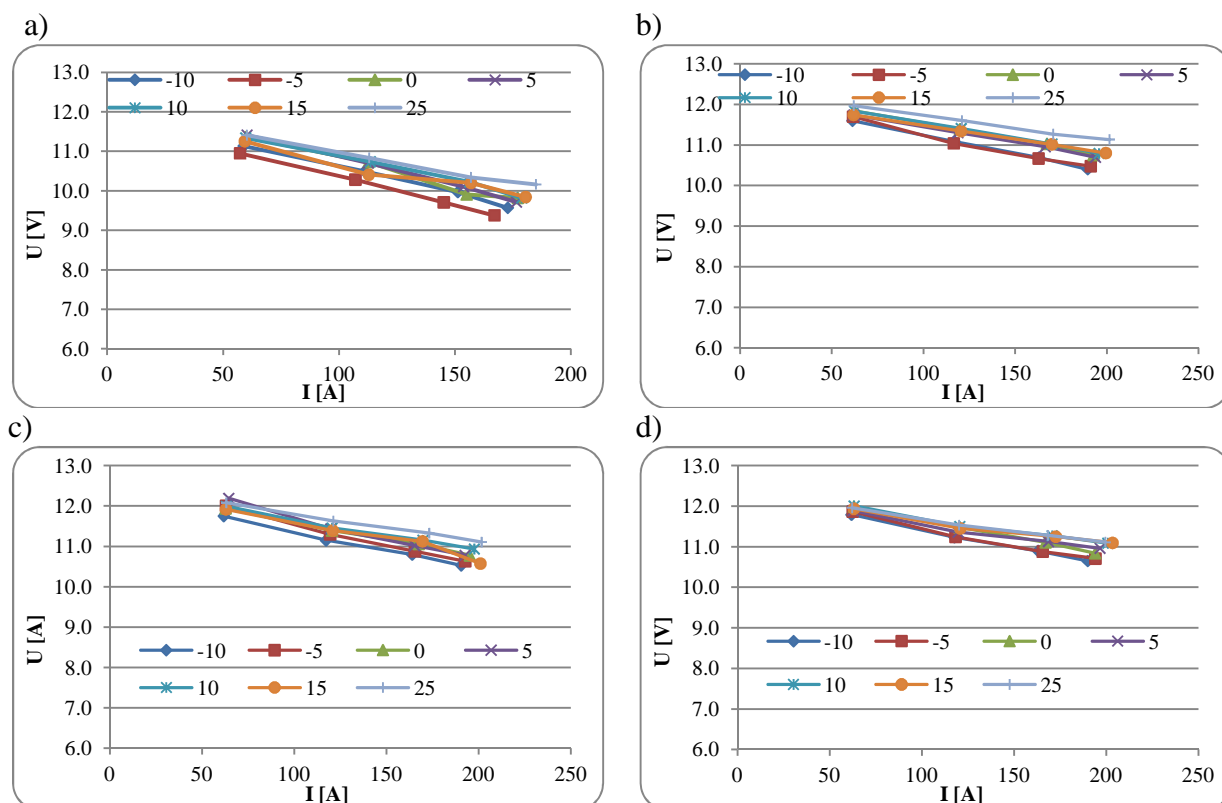


Rys. 11. Zależności napięcia w funkcji natężenia prądu dla akumulatorów: a) 50Ah, b) 54Ah, c) 110Ah, d) 170Ah.

Źródło: [opracowanie własne]

W ostatnich cyklach rozładowania charakter zmian napięcia wyraźnie odbiega od liniowego, zwłaszcza przy wysokich wartościach natężenia prądu. Świadczy to o zmniejszeniu się pojemności akumulatora i zdolności oddawania ładunku elektrycznego. Stan techniczny poszczególnych akumulatorów i ich stopień naładowania wpływa na zmiany napięcia podczas ich obciążania. Jest to spowodowane istotnymi zmianami rezystancji wewnętrznej akumulatorów o niskiej wartości gęstości elektrolitu (złym stanie technicznym i niskim stopniu naładowania), na co wskazuje rys. 10. W przypadku akumulatorów o złym stanie w ostatnich cyklach badania obserwuje się nawet, że po włączeniu zestawu rezystorów o najmniejszej rezystancji następuje zmniejszenie natężenia prądu (np. rys. 10c, cykl 4, ostatni punkt krzywej). Na rys. 11 nie zamieszczono tych wyników pomiarów, które wskazywały na nadmierne obniżenia parametrów pracy akumulatorów (cykl 3 dla akumulatora 50 Ah, cykl 7 – 54 Ah).

Rysunek 12 przedstawia zależności napięcia na zaciskach badanych akumulatorów w pełni naładowanych od natężenia prądu, w zakresie temperatury, w którym realizowane były ich badania. Wzrost natężenia pobieranego prądu powoduje zmniejszenie napięcia na zaciskach akumulatora wynikające z jego spadku na rezystancji wewnętrznej. Z kolei obniżenie temperatury, zgodnie ze znanymi charakterystykami akumulatorów kwasowych powoduje zmniejszenie napięcia przy danej wartości natężenia prądu. Związane jest to ze zmianą właściwości elektrolitu pod wpływem temperatury.



Rys. 12. Zależność napięcia w funkcji natężenia prądu w zależności od temperatury rozładowania dla akumulatorów: a) 50 Ah, b) 54 Ah, c) 110 Ah, d) 170 Ah

Źródło: [opracowanie własne]

Zarówno pobieżna wzrokowa ocena przebiegów, jak też analiza wskaźników statystycznych pozwala na stwierdzenie, że w przyjętym zakresie warunków temperaturowych badań, obciążeń, pojemności i stanów badanych akumulatorów zależność może być z dostateczną dokładnością traktowana jako liniowa. Jest to ważna cecha akumulatorów z punktu widzenia opracowania funkcji regresji określającej zależność napięcia obciążonego akumulatora od czynników, które mają na nią wpływ.

PODSUMOWANIE

Stan dowolnego urządzenia, w tym i akumulatora kwasowego jest czynnikiem determinującym możliwość wypełnienia przez nie funkcji, dla których realizacji zostało wytworzone. Dla użytkownika urządzenia najistotniejsze jest wyodrębnienie klasy stanów zdatności i niezdatności na podstawie granicznych wartości podstawowych parametrów stanu lub diagnostycznych. Stan akumulatora kwasowego jest określony przez ilość energii, bądź ładunku elektrycznego, jaki akumulator może zgromadzić i przekazać odbiorcy prądu. Jak już zaznaczono ten parametr jest możliwy, ale nie jest łatwy do wyznaczenia, głównie ze względu na czasochłonność. Jako dobry i łatwy do wyznaczenia parametr diagnostyczny akumulatora można przyjąć napięcie na jego zaciskach. Dla celów diagnostyki i planowania racjonalnej eksploatacji nie jest wystarczające rozróżnienie stanów zdatności i niezdatności. Wartość napięcia może być wykorzystana do oceny stanu aktualnego i odniesiona do określonej wartości granicznej wyznaczającej stan graniczny.

Przeprowadzone badania charakterystyk akumulatorów kwasowych wykazały, że jednowymiarowe zależności napięcia na zaciskach obciążonego akumulatora od jego stanu, natężenia prądu obciążenia i temperatury, w szerokim przedziale ich zmienności mogą być opisywane funkcjami liniowymi. Dodatkową, nie uwzględnianą bezpośrednio zmienną

określającą wartość napięcia jest pojemność znamionowa akumulatora. Liniowy charakter zależności umożliwia względnie łatwe wyznaczenie wielowymiarowej funkcji regresji dla napięcia akumulatora. Przy jej wykorzystaniu, jedynie na podstawie pomiaru napięcia na zaciskach obciążonego akumulatora, możliwe będzie określenie jego stanu.

BIBLIOGRAFIA

1. A. Czerwiński.: *Akumulatory, baterie, ogniwa*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005.
2. Jankowski K.: *Elektrotechnika samochodowa, ćwiczenia laboratoryjne*. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2010.
3. Pszczółkowski J.: *Analiza i modelowanie procesu rozruchu silników o zapłonie samoczynnym*. WAT, Warszawa 2009.
4. Pszczółkowski J.: *Rozruch silnika tłokowego jako proces diagnostyczny*. Diagnostyka, vol. 27, 2002.

STUDY OF THE BATTERY CHARACTERISTICS DEPENDENCE ON ITS STATE

Abstract

The tests of lead-acid batteries characteristics of different technical state and loading state were carried out. The research was carried out at various temperature conditions and at changeable loading of battery with an external resistance. There is presented the battery state and temperature influence on electrolyte properties change and such parameters as: voltage, current intensity and battery internal resistance. The characteristic course at the conditions of changeable loading by external resistance determining the current taken from the battery is presented.

Autorzy:

dr hab. inż. Józef PSZCZÓLKOWSKI, prof. WAT – Wojskowa Akademia Techniczna
mgr inż. Grzegorz DYGA – Wojskowa Akademia Techniczna