

PSZCZÓŁKOWSKI Józef, DYGA Grzegorz

## BADANIE CECH I CHARAKTERYSTYK AKUMULATORA KWASOWEGO

### *Streszczenie*

*W artykule przedstawiono wyniki badań cech i charakterystyk akumulatorów kwasowo-ołowiowych. Zbudowano stanowisko na bazie komory niskiej temperatury pozwalające na zmianę warunków termicznych badania i zmianę obciążenia prądowego akumulatora. Przedstawiono zależności natężenia prądu i napięcia a także rezystancji wewnętrznej akumulatora od temperatury i wartości rezystancji stanowiącej obciążenie akumulatora.*

### WSTĘP

Podstawowym zadaniem akumulatora jako źródła prądu jest zasilanie odbiorników energii elektrycznej. We współczesnym samochodzie służy on głównie do zasilania rozrusznika podczas uruchamiania silnika spalinowego, ale także jest źródłem energii elektrycznej dla urządzeń pokładowych podczas postoju, a zwłaszcza tuż przed rozruchem silnika. Zasadniczym parametrem charakteryzującym akumulator jako źródło prądu jest napięcie na jego zaciskach w chwili obciążenia. Poznanie zjawisk i zależności występujących podczas pracy akumulatora jest ważnym warunkiem jego poprawnej eksploatacji i czynnikiem determinującym dobór oraz ocenę jego zdolności do wypełniania określonych zadań.

Dlatego też podjęto próbę określenia czynników determinujących wartość napięcia na zaciskach akumulatora oraz wyznaczenia zależności funkcyjnej między napięciem a tymi czynnikami. Na podstawie znajomości zasad funkcjonowania akumulatora i jego charakterystyk można wskazać czynniki determinujące napięcie na zaciskach w warunkach obciążenia prądowego. Są to:

- jego cechy konstrukcyjne i technologiczne,
- natężenie pobieranego prądu,
- temperatura akumulatora, a przede wszystkim elektrolitu, którego rezystancja wewnętrzna jest zależna od temperatury
- stan techniczny (rozumiany jako trwała nieodwracalna utrata pojemności wskutek zaszarczenia masy czynnej płyt),
- stopień naładowania, jako odwracalna utrata pojemności.

Można sądzić, że cechy konstrukcyjne i technologiczne różnych akumulatorów kwasowych dadzą się opisać z dobrym przybliżeniem za pomocą jednej wielkości znamionowej, którą może być pojemność dwudziestogodzinna. Niewątpliwie trudnym do jednoznacznego rozstrzygnięcia jest problem rozróżnialności i zależności napięcia na zaciskach od stanu akumulatora i jego stopnia naładowania. Tak złożona zależność napięcia od wielu czynników może być uzyskana z wykorzystaniem metod analizy regresji w postaci funkcji wielowymiarowej. Uprzedniego rozstrzygnięcia wymaga charakter zależności – korzystne byłoby, aby była to zależność liniowa. W tym celu należy więc określić wstępnie

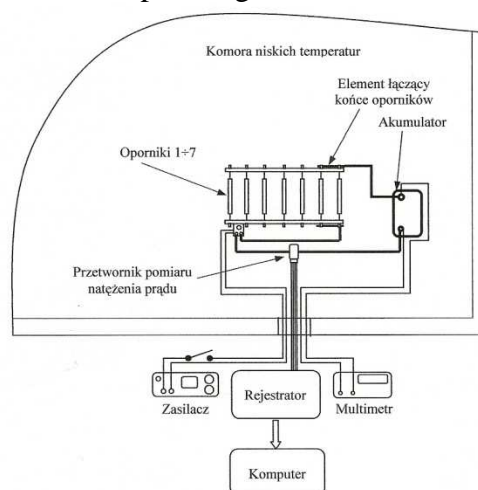
jednowymiarowe zależności napięcia od pozostałych parametrów niezależnych. Należy podkreślić, że podczas wyznaczania tego typu charakterystyk można określić także zależności takich jego cech, jak gęstość elektrolitu i opór wewnętrzny jako funkcje wybranych parametrów.

Celem badań było więc określenie podstawowych jednowymiarowych zależności napięcia od wymienionych parametrów niezależnych pracy akumulatorów kwasowo-ołowiowych, przede wszystkim przy różnym obciążeniu i przy różnych wartościach temperatury.

## 1. STANOWISKO I METODYKA BADAŃ AKUMULATORÓW

W celu przeprowadzenia badań zbudowano w WAT stanowisko pomiarowe umożliwiające sterowanie warunkami badania oraz rejestrację parametrów elektrycznych pracy akumulatora. Schemat stanowiska pomiarowego przedstawia rysunek 1. 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.



**Rys. 1.** Schemat stanowiska pomiarowego

Źródło: [opracowanie własne]

Do badań wykorzystano akumulatory kwasowo-ołowiowe o pojemnościach znamionowych 50 Ah, 54 Ah, 110 Ah, 170 Ah i zróżnicowanym stanie technicznym. Akumulator o pojemności 54 Ah był akumulatorem nowym i jego stan przyjęto jako zdalny i równy 100 %. Stan techniczny pozostałych akumulatorów wyznaczono podczas badań i odniesiono do tego akumulatora porównując czasy rozładowania prądem o stałym natężeniu liczbowo równym 0,1 pojemności znamionowej dwudziestogodzinnej w temperaturze +15 °C. W tabeli 1 podano pojemność znamionową i faktyczną, zmierzoną podczas bezpośredniego rozładowania oraz określony jako iloraz tych pojemności „stan techniczny” badanych akumulatorów.

**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
Q rzeczywista [Ah]	21,4	54	62,9	48,6
Stan techn. [%]	42,9	100	57,1	28,6

Źródło: [opracowanie własne]

Do obciążania akumulatorów wykorzystano opornicę rezystorową wykonaną z siedmiu drutów oporowych. Opornica wyposażona była w wyłącznik elektromagnetyczny umożliwiający szybkie włączenie i wyłączenie obciążenia. Poszczególne stopnie obciążenia składały się z odpowiedniej liczby rezystorów połączonych równolegle. Wartości rezystancji oraz ilość rezystorów składających się na poszczególne stopnie obciążenia S przedstawia tabela 2. Podano również przeciętne wartości natężenia prądu pobieranego z akumulatorów po przyłączeniu danego zestawu rezystorów.

**Tab. 2.** Oznaczenia i właściwości stopni obciążających.

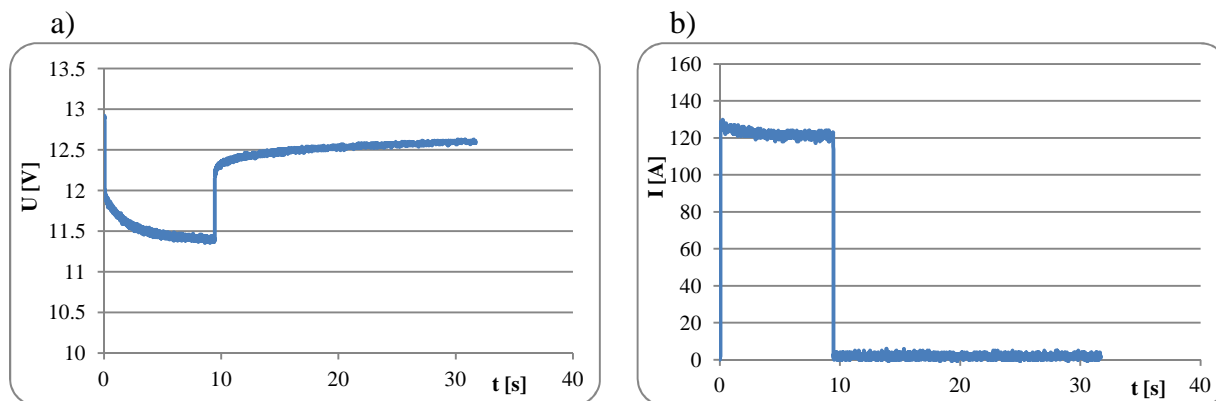
Oznaczenie stopnia	Liczba oporników $l$ [szt.]	Wartość rezystancji $R$ [ $\Omega$ ]	Natężenie prądu obciążenia $I$ [A]
S1	2	0,1905	61,7
S2	4	0,0959	117,6
S3	6	0,0662	164,1
S4	7	0,0557	191,1

Źródło: [opracowanie własne]

Pierwszy etap polegał na obciążaniu akumulatorów kolejno rezystancją S1 ÷ S4 przy stałej temperaturze elektrolitu. W tym celu akumulatory umieszczono w komorze niskich temperatur po czym ustalano wartość temperatury, przy której wykonywano pomiary. Akumulatory w danej temperaturze przebywały 12 h w celu wyrównania temperatury elektrolitu. W każdej temperaturze, przed przystąpieniem do obciążania akumulatorów mierzono gęstość elektrolitu, jeżeli była taka możliwość. Akumulator o pojemności 54 Ah był akumulatorem bezobsługowym o zamkniętej obudowie i nie dawał możliwości wykonania tego typu pomiarów.

Po wykonaniu pomiarów gęstości przeprowadzano próby obciążania akumulatorów rejestrując jednocześnie wartości natężenia prądu i napięcia za pomocą komputerowego rejestratora danych. Obciążanie akumulatorów realizowano w czasie około 9 s, natomiast rejestrację parametrów przez 32 s z częstotliwością próbkowania 10 ms (w celu obserwacji zmian siły elektromotorycznej polaryzacji oraz ustalania wartości napięcia). Po zakończeniu badań w danej temperaturze wszystkie akumulatory ładowano do uzyskania pełnej pojemności. Następnie ustalano nową wartość temperatury dla kolejnej próby i po około 12 godzinach stabilizacji termicznej powtórzono badania jak powyżej.

Etap ten przewidywał badania w temperaturach otoczenia i akumulatorów:  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Na podstawie zarejestrowanych danych wykreślono przebiegi napięcia oraz natężenia prądu dla wszystkich prób obciążenia akumulatorów. Przykładowe przebiegi zamieszczono na rysunku 2. Przedstawia on napięcie i natężenie prądu akumulatora o pojemności 110 Ah obciążonego rezystancją S2 w temperaturze elektrolitu  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

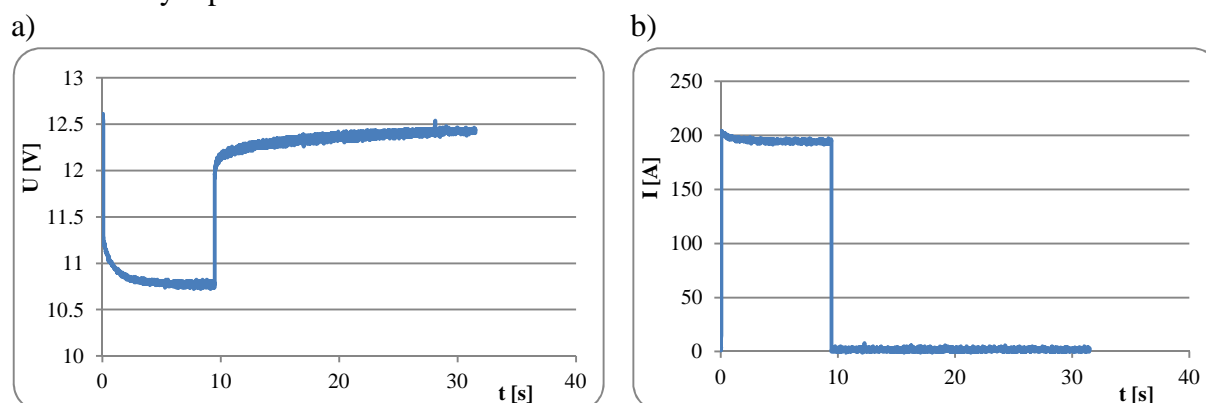


**Rys. 2.** Przebieg: a) napięcia oraz b) natężenia prądu pobieranego z akumulatora o pojemności 110 Ah w temperaturze 5 °C obciążonego rezystancją S2.

Źródło: [opracowanie własne]

W zależności od stopnia obciążenia akumulatora zanotowano odpowiednie wartości napięcia oraz natężenia prądu. Na rysunku nr 1 widoczne są charakterystyczne cechy przebiegów napięcia na zaciskach akumulatora i natężenia pobieranego prądu. W trakcie wyładowania napięcie mierzone na zaciskach akumulatora ciągle maleje, co jest przede wszystkim spowodowane powstawaniem siły elektromotorycznej polaryzacji wskutek zmian stężenia elektrolitu w pobliżu i w warstwach wewnętrznych masy czynnej. W chwili wyłączenia obciążenia napięcie skokowo wzrasta do około 12,3 V. Następnie nadal wzrasta, aż do chwili zakończenia rejestracji, co jest także spowodowane zmianą (zanikiem) siły elektromotorycznej polaryzacji wskutek wyrównywania stężenia elektrolitu. Natężenie prądu w chwili włączenia obciążenia przyjmuje największą wartość, a w trakcie obciążania nieznacznie maleje. Wynika to z faktu, że w chwili włączenia obciążenia w masie czynnej elektrod liczba cząstek niosących ładunek elektryczny jest duża. W trakcie wyładowania zmniejsza się powodując zmniejszenie ładunku elektrycznego jaki można pobrać z akumulatora. Skutkiem są omawiane już zmiany napięcia i natężenia prądu. Zmiany te mogą być także wyjaśnione odpowiednimi zmianami rezystancji wewnętrznej akumulatora i rezystora obciążającego.

Na rysunku 3 przedstawiono analogiczne przebiegi dla tego samego akumulatora, lecz obciążonego czwartym stopniem obciążenia rezystancyjnego S4 wg tab. 2. W tym wypadku napięcie w pierwszej chwili obciążania maleje gwałtownie, a następnie ustala się na stałym poziomie aż do momentu wyłączenia obciążenia. Natężenie, podobnie jak napięcie, w pierwszych chwilach obciążania maleje dość szybko, aby w następnych sekundach ustalić się na określonym poziomie.



**Rys. 3.** Przebieg: a) napięcia oraz b) natężenia prądu pobieranego z akumulatora o pojemności 110 Ah w temperaturze 5 °C obciążonego przez S4.

Źródło: [opracowanie własne]

Widoczna jest wyraźna różnica przebiegów napięcia i natężenia zamieszczonych na rysunkach 2 i 3 przede wszystkim w odniesieniu do ich wartości. Szybkie początkowo zmiany wartości parametrów zamieszczonych na wykresach uzasadniają wybór czasu, w którym określano wartości mierzonych wielkości i uznawano je w przybliżeniu za ustalone. Przyjęto zatem, że charakterystyczne wartości parametrów będą wyznaczone po upływie około 5 s od włączenia obciążenia akumulatora.

## 2. TEMPERATUROWE ZMIANY PARAMETRÓW AKUMULATORA

Podczas badań jednym z mierzonych parametrów była gęstość elektrolitu. Pomiaru te realizowane były dla akumulatorów o pojemnościach znamionowych 50 Ah, 110 Ah, 170 Ah (akumulator o pojemności 54 Ah był bezobsługowy i jego konstrukcja uniemożliwia wykonanie badań tego typu). Wykonane pomiary gęstości pozwoliły obserwować jej zmiany w funkcji temperatury, jak również dla różnych stanów technicznych i stopni naładowania. W tabeli 3 zamieszczono wyniki pomiaru gęstości w temperaturze +25 °C oraz -10 °C i -5 °C dla akumulatora o pojemności 74 Ah a w tabeli 4 dla akumulatorów 110 Ah oraz 50 Ah.

**Tab. 3.** Wartość gęstości elektrolitu dla akumulatora 170 Ah w zależności od temperatury

Oznaczenie akumulatora: 12 V, 170 Ah, 1000 A (EN)						
Gęstość $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]						
T [°C]	1	2	3	4	5	6
-10	1,275	1,280	1,275	1,280	1,280	1,280
-5	1,275	1,275	1,270	1,275	1,275	1,275
+25	1,270	1,270	1,265	1,270	1,270	1,265

Źródło: [opracowanie własne]

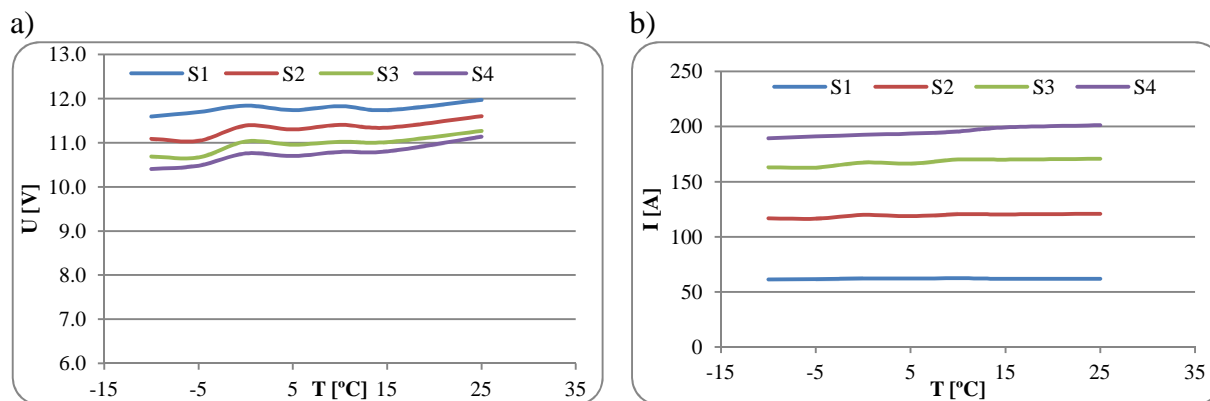
Zgodnie z oczekiwaniami największe wartości gęstości zmierzone zostały w temperaturze -10 °C, najmniejsze natomiast w temperaturze +25 °C.

**Tab. 4.** Wartość gęstości elektrolitu dla akumulatorów 110 Ah oraz 50 Ah w zależności od temperatury

Oznaczenie akumulatora: 12 V, 110 Ah, 750 A (EN)						
Gęstość $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]						
T [°C]	1	2	3	4	5	6
-10	1,280	1,285	1,285	1,285	1,285	1,280
-5	1,275	1,275	1,280	1,280	1,280	1,275
+25	1,260	1,265	1,265	1,260	1,260	1,260
Oznaczenie akumulatora: 12 V, 50 Ah, 450 A (EN)						
Gęstość $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]						
T [°C]	1	2	3	4	5	6
-10	1,230	1,240	1,235	1,235	1,240	1,230
-5	1,230	1,240	1,230	1,230	1,240	1,230
+25	1,220	1,230	1,230	1,225	1,230	1,220

Źródło: [opracowanie własne]

Na rysunku 4 przedstawiono przebiegi napięcia oraz natężenia prądu pobieranego z akumulatora o pojemności 54 Ah w funkcji temperatury. Poszczególne przebiegi zależne są od stopnia obciążenia akumulatora kolejnymi zestawami rezystorów. Z przebiegów tych wynika, że temperatura elektrolitu wpływa na zdolność oddawania ładunku przez akumulator.



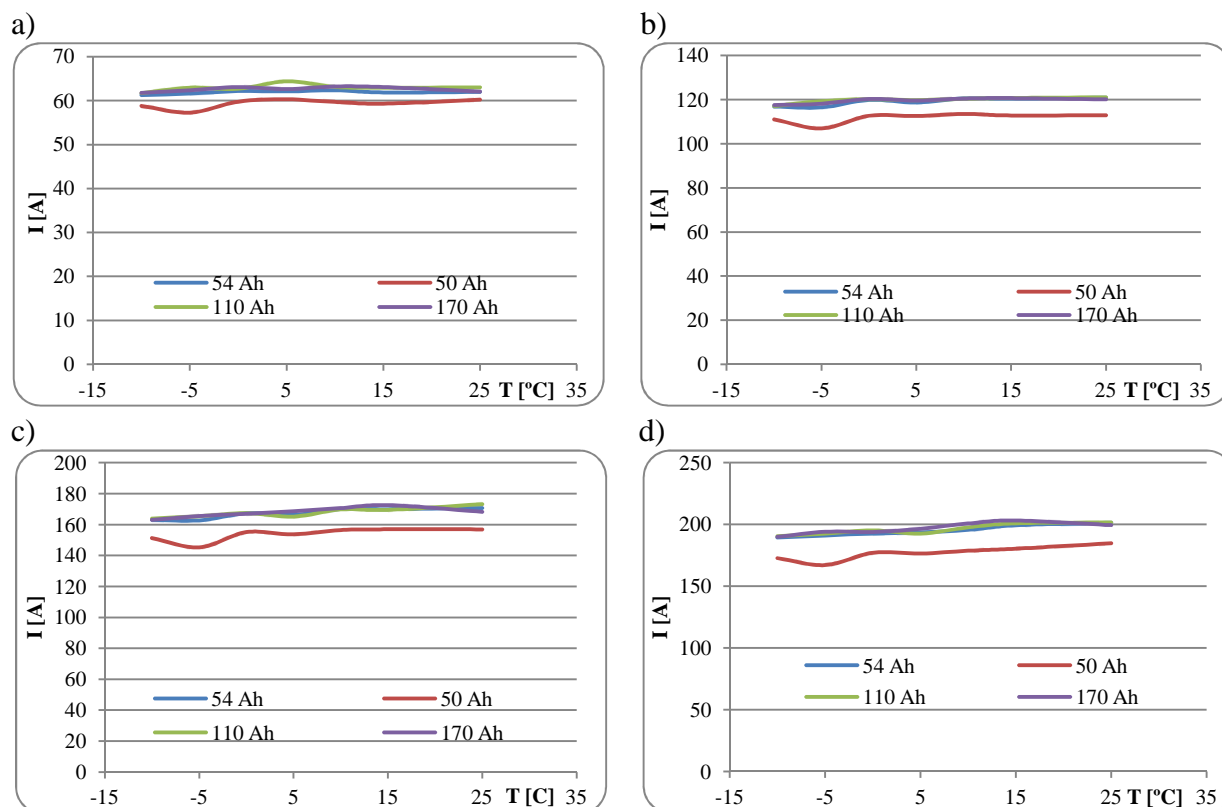
**Rys. 4.** Zmiana: a) napięcia oraz b) natężenia prądu w funkcji temperatury dla akumulatora 54 Ah przy różnym stopniu jego obciążenia

Źródło: [opracowanie własne]

Zarówno napięcie jak i natężenie prądu mierzonego na zaciskach akumulatora zmienia się pod wpływem temperatury. Jest łatwo zauważalne, że im mniejsza jest wartość rezystancji, tj. większa jest wartość obciążenia prądowego, tym zależności natężenia prądu i napięcia od temperatury są istotniejsze. Dla najmniejszej wartości pobieranego natężenia prądu praktycznie nie zależy ona od temperatury próby i pozostaje stała w każdej temperaturze.

Taki charakter zależności przy różnej wartości pobieranego prądu wynika stąd, że w przypadku poboru prądu o większym natężeniu przemianie ulega większa ilość kwasu z elektrolitu i wskutek zmniejszenia szybkości dyfuzji i wzrostu rezystancji elektrolitu natężenie prądu w temperaturze niższej jest mniejsze. Jest to więc wprost związane z faktem, że w temperaturach dodatnich zdolność oddawania ładunku przez akumulator jest większa w stosunku do temperatur ujemnych. Wynika to ze zmiany lepkości elektrolitu, a co za tym idzie ruchliwości jonów w nim zawartych. Należy także zauważyć, że z powodu zmniejszania się natężenia pobieranego prądu w miarę spadku temperatury, pozorna jest „słabsza” zależność napięcia od temperatury. Na przebieg zmian mierzonych parametrów wpływają też w pewnym stopniu zależności rezystancji wewnętrznej akumulatora oraz rezystancji zestawów oporowych.

Na rysunku 5 zamieszczono wykresy przedstawiające zmiany natężenia pobieranego prądu w funkcji temperatury dla wszystkich badanych akumulatorów i wszystkich realizowanych stopni obciążenia akumulatorów za pomocą zestawów rezystorowych. Charakter zależności pozostaje tu analogiczny jak w przypadku rys. 4. Przy małych wartościach obciążenia prądowego – rysunek 5a (a także i 5b), zmiana temperatury nie powoduje istotnej zmiany natężenia prądu pobieranego z akumulatora. Dopiero podczas obciążenia akumulatorów najmniejszą wartością rezystancji – stopień obciążenia *S4* wg tab. 2 widoczna jest zmiana natężenia pobieranego prądu wraz ze zmianą temperatury. Najlepiej zjawisko to widoczne jest na rysunku 5c, gdzie przy obciążeniu około 190 A wartość natężenia prądu pobieranego z akumulatorów zmienia się pod wpływem temperatury w ten sposób, że przy ujemnych jej wartościach natężenie prądu jest mniejsze niż przy wartościach dodatnich.

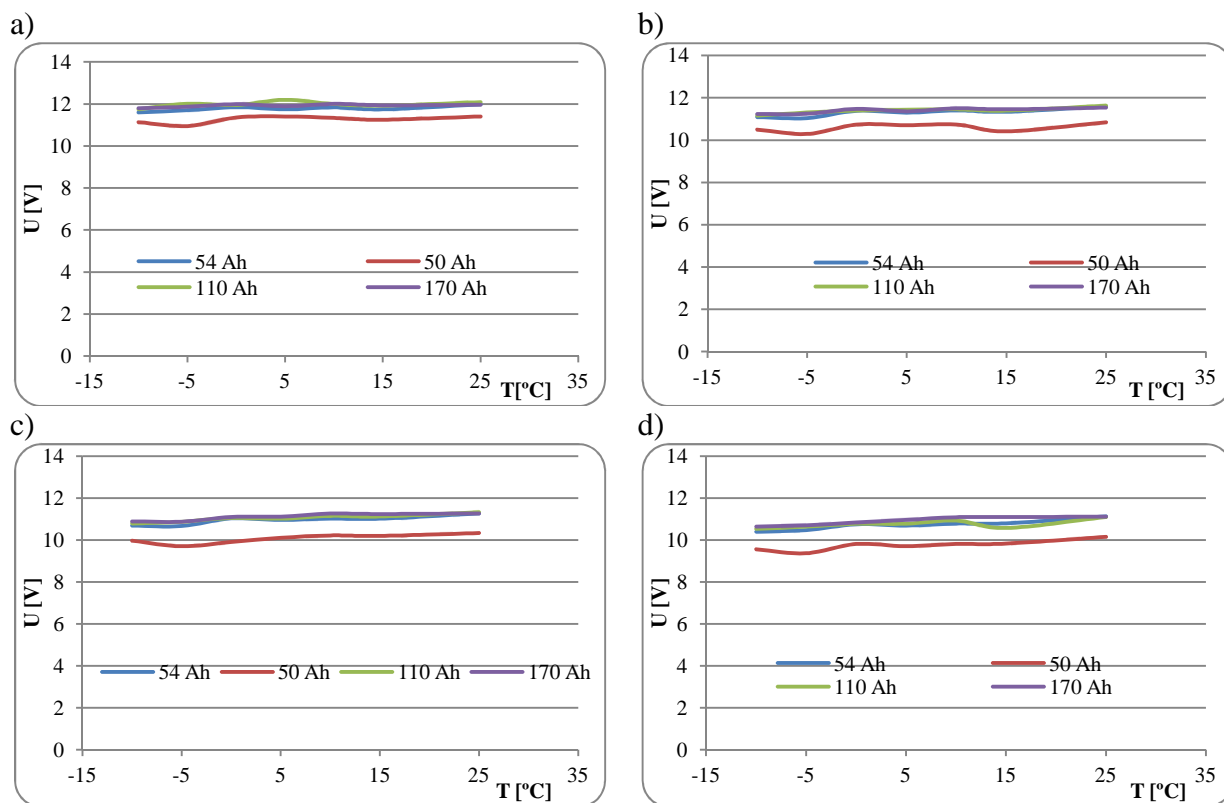


**Rys. 5.** Zmiany natężenia prądu mierzonego na zaciskach akumulatorów obciążonych przez poszczególne zestawy rezystorowe: a) S1, b) S2, c) S3, d) S4 w funkcji temperatury  
 Źródło: [opracowanie własne]

Związane jest to ze zmianą lepkości elektrolitu pod wpływem temperatury oraz zwiększającą się intensywnością reakcji chemicznych materiału czynnego elektrod wraz ze wzrostem natężenia prądu. W niskich temperaturach elektrolit ma większą lepkość przez co zmniejsza się ruchliwość jonów biorących udział w reakcjach elektrochemicznych. Ponadto wyładowanie akumulatora w niskich temperaturach wysokimi wartościami natężenia prądu powoduje, że w przemianach elektrochemicznych biorą udział jony znajdujące się na powierzchni płyt – dyfuzja jonów w głąb masy czynnej jest utrudniona ze względu na małą prędkość przemieszczania i następuje zróżnicowanie stężenia elektrolitu w otoczeniu elektrod.

Wśród przedstawionych charakterystyk w pewnym stopniu ukryta jest zależność natężenia prądu od pojemności akumulatora i jego stanu (stopnia zużycia). Łatwo można zauważyć, że akumulatory o pojemnościach 54 Ah, 110 Ah, 170 Ah są w stanie oddać podobną wartość natężenia prądu podczas obciążania. W przypadku tych akumulatorów można mówić o kompensacji wpływu pojemności znamionowej i stopnia zużycia na zdolność oddawania ładunku. W przypadku akumulatora o pojemności 50 Ah obserwuje się wyraźne zmniejszenie natężenia prądu. Wynika to z jego najmniejszej pojemności znamionowej i złego stanu technicznego, jest to akumulator „najsłabszy”, gęstość jego elektrolitu była najmniejsza we wszystkich wykonanych pomiarach (tabela nr 4). Zależności te w sensie ilościowym mogą być rozważane przy wyznaczaniu wielowymiarowych funkcji regresji dla badanych charakterystyk.

Dotychczas analizowano zmiany natężenia prądu pobieranego z akumulatorów w funkcji temperatury dla różnych stopni obciążenia. Na rysunku 6 zamieszczono analogiczne przebiegi napięcia na zaciskach poszczególnych akumulatorów w zależności od temperatury.



**Rys. 6.** Zmiany napięcia na zaciskach akumulatorów dla różnych stopni obciążenia: a) S1, b) S2, c) S3, d) S4 w funkcji temperatury

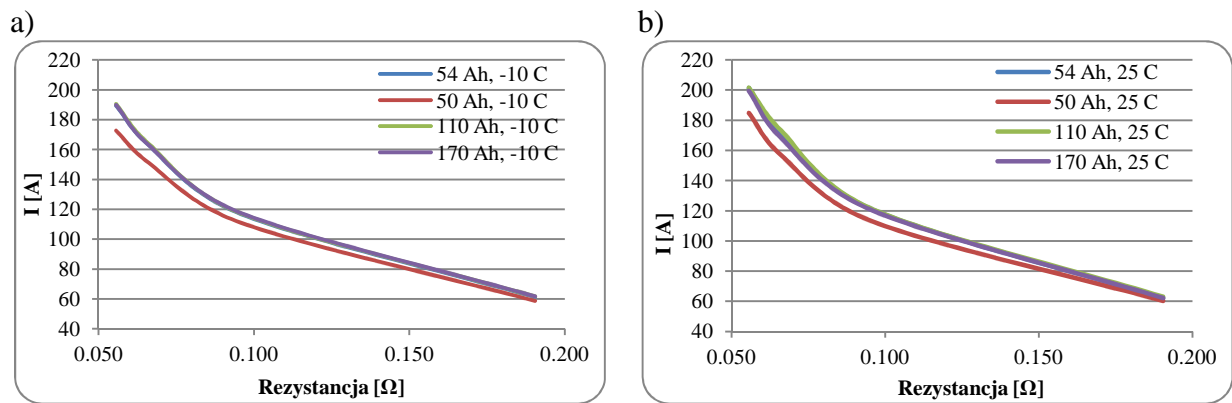
Źródło: [opracowanie własne]

Zgodnie z prawem Ohma napięcie na zaciskach akumulatora zmienia się wraz ze zmianą natężenia prądu wyładowania, co jest widoczne na przedstawionych wykresach. Obserwowany tu charakter zmienności zależności jest analogiczny jak dla natężenia prądu (co także można uzasadnić na podstawie prawa Ohma): stopień zależności od temperatury zwiększa się wraz ze zwiększeniem stopnia obciążenia (mniejsza rezystancja i większa wartość natężenia prądu), znaczne zmniejszenie wartości napięcia wykazuje akumulator 50 Ah w porównaniu do pozostałych. Porównując wyniki badań dla akumulatorów obciążonych stopniem *S1* oraz *S4* rezystancji w tej samej temperaturze stwierdza się, że różnica napięcia wyładowania wynosi około 1 V (rys. 6a i 6d).

Analiza przedstawionych charakterystyk wskazuje na zależność liniową natężenia prądu i napięcia na zaciskach akumulatora od temperatury. Przy tym wyznaczone wartości współczynnika regresji zmieniają się dość znacznie. Najmniejsze wartości występują w przypadku najmniejszych obciążeń prądowych, przy których wartości natężenia, bądź napięcia mogą być uznane za w przybliżeniu stałe. Wówczas nawet niewielkie odchylenia rezultatów znacznie pogarszają korelację liniową badanych zmiennych.

Na rysunku 7 przedstawiono zmiany natężenia prądu wyładowania poszczególnych akumulatorów w funkcji rezystancji odpowiadającej poszczególnym stopniom obciążenia dla dwu wartości temperatury:  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  oraz  $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Widoczne jest, że ze wzrostem temperatury zwiększa się wartość natężenia prądu wyładowania mierzona przy tych samych stopniach obciążenia. Przy dodatniej temperaturze elektrolitu, w tym wypadku w  $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , akumulatory można obciążyć wyższym natężeniem prądu niż ma to miejsce w temperaturach ujemnych. Wynika to z tego, że podczas wyładowania akumulatorów w niskich temperaturach, z uwagi na dużą lepkość elektrolitu reakcje elektrochemiczne zachodzą na powierzchni płyt.





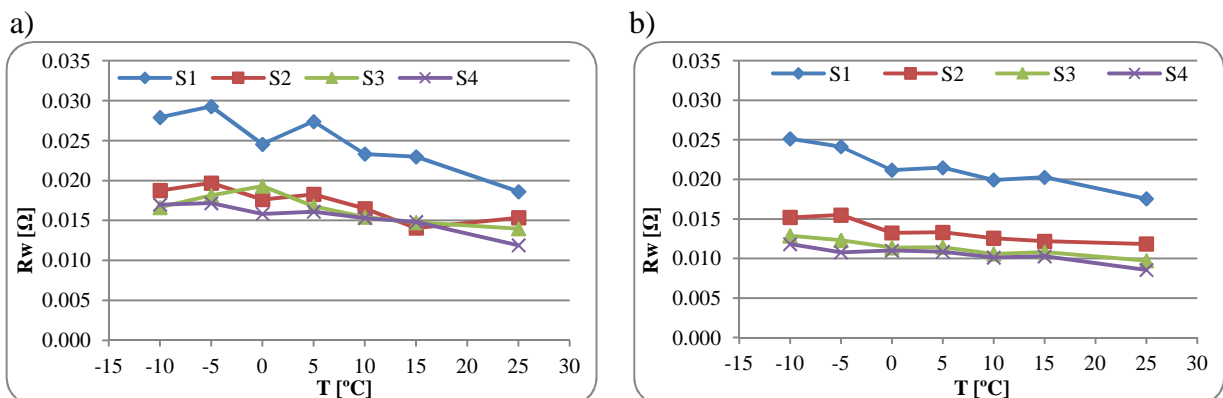
**Rys. 7.** Zmiana natężenia prądu wyładowania akumulatorów w funkcji rezystancji dla wartości temperatury: a)  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , b)  $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$

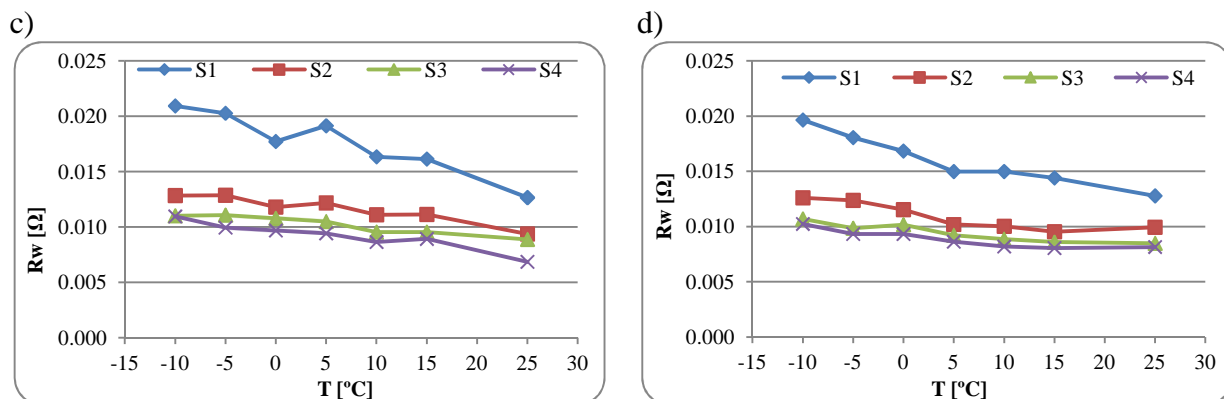
Źródło: [opracowanie własne]

Powyższe zależności natężenia prądu od rezystancji obciążenia zewnętrznego nie mają charakteru liniowego, lecz mają w przybliżeniu postać funkcji homograficznej. Można to uzasadnić na podstawie analizy obwodu składającego się z akumulatora o sile elektromotorycznej  $E$  i oporze wewnętrznym  $R_w$  oraz rezystora zewnętrznego  $R$ . Z równania obwodu wynika:

$$E - I(R + R_w) = 0; \quad \text{stąd:} \quad I(R) = \frac{E}{R + R_w} \quad (1)$$

Dla zachowania charakteru funkcji homograficznej konieczne byłoby, aby wartość oporu wewnętrznego była stała – a tak nie jest. Na rysunku 8 zamieszczono przebiegi rezystancji wewnętrznej poszczególnych akumulatorów w funkcji temperatury. Wykresy przedstawiają zmianę rezystancji wewnętrznej akumulatorów dla różnych stopni obciążenia. Rezystancja wewnętrzna akumulatorów maleje wraz ze wzrostem temperatury, co jest zjawiskiem normalnym, powszechnie znanym, gdyż wraz ze wzrostem temperatury rośnie ruchliwość jonów elektrolitu, a to powoduje wzrost przewodności elektrycznej. Rezystancja wewnętrzna zmienia się jednak także pod wpływem zmian obciążenia. Przy wyładowaniu akumulatora małymi wartościami natężenia prądu rezystancja wewnętrzna wzrasta natomiast podczas wyładowania prądem o wyższym natężeniu maleje. Wynika stąd, że rezystancja wewnętrzna wykazuje odwrotną proporcjonalność do wartości natężenia prądu wyładowania.

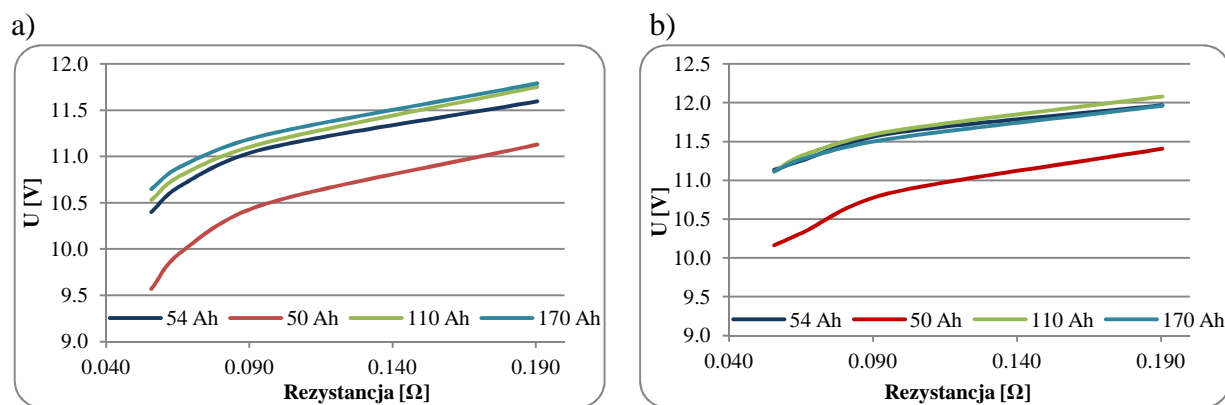




**Rys. 8.** Zmiana rezystancji wewnętrznej w funkcji temperatury akumulatorów o pojemnościach: a) 50 Ah, b) 54 Ah, c) 110 Ah, d) 170 Ah dla różnych stopni obciążenia

Źródło: [opracowanie własne]

Efektem określonego charakteru zmian natężenia prądu i rezystancji wewnętrznej są przebiegi zmian napięcia mierzonego na zaciskach akumulatorów przy zmianie rezystancji poszczególnych stopni obciążających w temperaturze elektrolitu - 10 °C oraz + 25 °C przedstawione na rysunku 9.



**Rys. 9.** Zmiana napięcia na zaciskach akumulatorów w funkcji rezystancji dla wartości temperatury: a) -10 °C, b) +25 °C.

Źródło: [opracowanie własne]

Jako przyczynę charakteru zmian rezystancji wewnętrznej (rys. 8) uznać należy fakt, że w wyrażeniu (1) wartość siły elektromotorycznej jest przyjmowana jako stała – skutkiem jest zmienność rezystancji wewnętrznej. Procesy polaryzacji elektrod mogą być bowiem charakteryzowane liczbowo jako zmienna siła elektromotoryczna polaryzacji, bądź zmienna rezystancja wewnętrzna [3].

Zależności napięcia na zaciskach od rezystancji obciążenia wskazują na gwałtowny spadek napięcia przy dążeniu rezystancji obciążenia do zera. W tym stanie przez akumulator płynąłby prąd zwarcia. Podobnie jak w poprzednich przypadkach najgorsze parametry pracy wykazuje akumulator 50 Ah. Przedstawione zależności wskazują także wpływ temperatur na wartość napięcia mierzonego na zaciskach akumulatorów w warunkach zmiennego obciążenia. W niskiej temperaturze spadek napięcia jest większy w porównaniu z temperaturami dodatnimi. Wzrost temperatury powoduje wzrost napięcia mierzonego na zaciskach akumulatorów, zwłaszcza w trakcie obciążania wysokimi wartościami prądu (małą wartością rezystancji).

## PODSUMOWANIE

Podstawową cechą akumulatora kwasowego jako źródła energii elektrycznej jest napięcie na zaciskach w warunkach obciążenia prądowego i określonych warunkach zewnętrznych, jak też i wewnętrznych determinowanych przez jego stan. Najbardziej przydatną i dogodną formą wiedzy na temat cech obiektów jest model matematyczny – w tym przypadku wielowymiarowa funkcja regresji opisująca zależność zmiennej zależnej (określanej) od zbioru zmiennych określających.

Przedstawione wyniki badań posłużą do wyznaczenia takiej funkcji i stanowią etap pośredni tego procesu, którego celem jest ustalenie rodzaju zależności napięcia od zmiennych niezależnych i wyznaczenie funkcji jednowymiarowych i wielowymiarowych pośrednich.

## BIBLIOGRAFIA

1. A. Czerwiński.: *Akumulatory baterie ogniwa*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005.
2. Pszczółkowski J.: *Analiza i modelowanie procesu rozruchu silników o zapłonie samoczynnym*. WAT, Warszawa 2009.
3. Pszczółkowski J.: *Opis cech dynamicznych akumulatora kwasowego*. Combustion engines. Silniki spalinowe nr 2009-SC1. str. 208 – 214.

## THE STUDY OF LEAD-ACID BATTERIES PROPERTIES AND CHARACTERISTICS

### *Abstract*

*There are presented the test results of acid-lead batteries features and characteristics. There was constructed using low temperature chamber a test stand allowing on temperature conditions and battery loading resistance change. There were tested batteries at different capacity and technical state. The dependencies of current intensity, voltage and internal battery resistance on the temperature value and battery loading external resistance are presented.*

### *Autorzy:*

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