

PSZCZÓŁKOWSKI Józef, DYGA Grzegorz

## METODY DIAGNOSTYCZNEJ OCENY STANU AKUMULATORA KWASOWO-OŁOWIOWEGO

### *Streszczenie*

*W artykule przedstawiono budowę oraz zasadę działania akumulatora kwasowo-ołowiowego. Siła elektromotoryczna oraz prawa elektrolizy wskazują, że ilość ładunku i energii elektrycznej uzyskanej z akumulatora jest zależna od ilości masy czynnej płyt i elektrolitu. Cechy te determinują stan techniczny oraz stan naładowania akumulatora. W procesie eksploatacji stan, a zatem i podstawowe właściwości oraz charakterystyki użyteczne akumulatora ulegają pogorszeniu. Scharakteryzowano diagnostyczne metody oceny stanu akumulatorów oraz przedstawiono przykłady wyników badań ilustrujące zasady działania urządzeń diagnostycznych. Przedstawione wyniki zostaną wykorzystane do opracowania metody diagnostycznej silnika i elektrycznego układu rozruchowego.*

### WSTĘP

Akumulator kwasowo-ołowiowy jest podstawowym źródłem energii elektrycznej w pojazdach samochodowych. Jest on odtwarzalnym źródłem energii i jego głównymi zadaniami są: przyjmowanie, przechowywanie oraz oddawanie energii elektrycznej. Zaostrzające się normy emisji spalin emitowanych do atmosfery, spowodowały stosowanie zaawansowanych układów sterowania pracą silnika spalinowego. Także układy poprawiające komfort jazdy oraz bezpieczeństwo użytkowników pojazdów wymuszają stosowanie systemów opartych na podzespołach elektronicznych. W związku z tym liczba odbiorników elektrycznych, które wymagają zasilania, nawet w chwili gdy pojazd nie jest użytkowany ciągle rośnie. Wzrasta więc rola akumulatora kwasowo-ołowiowego, który nie tylko dostarcza ładunek elektryczny w chwili rozruchu, ale zasilą też inne odbiorniki i układy elektroniczne.

Powinowactwo elektryczne metali i różnice ich potencjałów normalnych powodują powstawanie siły elektromotorycznej i przepływ prądu w zamkniętym obwodzie. Prawa elektrolizy uzasadniają uzyskanie z akumulatora określonej ilości energii elektrycznej oraz ilość przetworzonej masy elektrod i elektrolitu – stanowią podstawy teorii akumulatora.

Wszystkie wyżej wymienione czynniki sprawiają, że utrzymanie akumulatora w odpowiednim stanie technicznym jest niezwykle ważne – może decydować o gotowości pojazdu do wykonania zadania. Od kondycji źródła zasilania uzależniona jest poprawna praca wszystkich podzespołów zasilanych energią elektryczną, a przede wszystkim możliwość udanego rozruchu silnika spalinowego. Stąd wynika konieczność właściwego rozpoznania stanu technicznego akumulatora. Istnieje wiele przyrządów diagnostycznych pozwalających na ocenę stanu akumulatora, których zasadą działania jest bądź pomiar napięcia na zaciskach akumulatora obciążonego rezystancją, bądź pomiar konduktancji. Podkreślić należy, że pojęcie i zdefiniowanie stanu akumulatora jest dość kłopotliwe. Pod pojęciem stanu akumulatora rozumie się jego zdolność do oddania energii. Jednak zmniejszona zdolność energetyczna akumulatora wynikać może z odwracalnych procesów rozładowania wskutek

uprzedniego poboru prądu, jak też z nieodwracalnych procesów starzenia polegających na wydzieleniu gruboziarnistego siarczanu ołowiowego. Są one niewątpliwie trudne do identyfikacji powodując znacznie różne skutki dla poprawności działania i trwałości akumulatora. Zupełnie odmienny charakter mają uszkodzenia akumulatora polegające na zwarciu płyt, które są łatwo wykrywalne na podstawie pomiaru siły elektromotorycznej (napięcia biegu jałowego).

W związku z tym celem artykułu jest analiza zasad działania i możliwości diagnostycznej oceny dwu aspektów stanu energetycznego akumulatora kwasowego. Przedstawiona zostanie budowa oraz zasada pracy akumulatora, jego podstawowe charakterystyki i parametry użytkowe oraz cechy znamionowe. Omówione zostaną metody oceny jego stanu technicznego – istota ich działania podczas badania stanu akumulatora.

## 1. BUDOWA I ZASADA PRACY AKUMULATORA

Akumulator kwasowo-ołwiowy składa się z obudowy wykonanej z tworzywa sztucznego odpornego na działanie kwasu siarkowego, płyt dodatnich oraz ujemnych, łączników płyt, zacisków akumulatora. Płyty akumulatora składają się z kratki, która stanowi rusztowanie dla masy czynnej. Zadaniem kratki jest również przewodzenie prądu elektrycznego. Wykonana jest ona zazwyczaj z ołowiu Pb z dodatkiem antymonu, który poprawia właściwości mechaniczne oraz przewodność elektryczną kratki oraz ogranicza procesy korozji płyt. W celu zmniejszenia masy akumulatora kratki wykonuje się również z tworzyw sztucznych, w których zatopione są wkładki ołowiane umożliwiające przewodzenie prądu. W kratkę wsmarowana jest masa czynna, która w przypadku płyt dodatnich wykonana jest z proszków mini ( $Pb_3O_4$ ) zmieszanych z wodą i kwasem siarkowym. Masa czynna płyt ujemnych wykonana jest z proszków glejty ( $PbO$ ) zmieszanych na sucho ze spulchniaczami. Spulchniacze poprawiają właściwości mechaniczne pasty, a także zapobiegają pękaniu i odpadaniu masy czynnej od kratek wskutek przekształcenia drobnokrystalicznego ołowiu w grubokrystaliczny. [1]

Naprzemienne złożenie kilku płyt dodatnich i ujemnych tworzy pakiet stanowiący ogniwo akumulatora. W ogniwie jest zawsze o jedną płytę ujemną więcej, ze względu na to, że podczas pracy płyty dodatnie wyginają się, co w przypadku innego ukończenia mogłoby doprowadzić do uszkodzenia akumulatora. Pomiędzy płyty wkłada się separatory, których zadaniem jest zapobieganiu zwarciom podczas pracy akumulatora, a także umożliwienie swobodnego przemieszczania się jonów elektrolitu.

Ważnym elementem współczesnych akumulatorów – zwłaszcza bezobsługowych jest pokrywa. Jest ona wykonana w technice labiryntowej, umożliwiającej odzyskanie wody, która w postaci pary uchodzi z akumulatora.

Akumulator, w dużym uproszczeniu, składa się z naczynia wypełnionego elektrolitem, w którym zanurzone są elektrody. Aby źródło prądu, jakim jest akumulator, spełniło swoją rolę niezbędne jest przewodzenie prądu przez elektrolit. Przewodność elektryczna elektrolitu związana jest z ruchem jonów czego potwierdzeniem są zjawiska elektrolizy [2].

*Elektroliza* jest to proces elektrochemiczny związany z przepływem ładunków elektrycznych przez elektrolit, przebiegający na powierzchni elektrod. Ilość ładunku elektrycznego, dostarczonego lub pobranego z ogniwa, w zależności od ilości substancji jaka przereagowała w procesie chemicznym, opisują prawa Faradaya. Stwierdził On, że [2]: *masa jakiegokolwiek substancji odłożonej, wydzielonej lub rozpuszczonej na elektrodzie jest wprost proporcjonalna do ilości elektryczności, jaka przepłynęła przez elektrolit.*

$$M = k * q = k * I * t \quad (1)$$

gdzie:  $M$  – masa [g],  $q$  – ładunek elektryczny [C],  $I$  – natężenie prądu [A],  $t$  – czas [s],  $k$  – równoważnik elektrochemiczny [g/As].

Równoważnik elektrochemiczny  $k$  jest równy masie substancji  $M$ , która zostaje przetworzona przez jednostkowy ładunek elektryczny.

Z zależności (1) wynika, że masa substancji, jaka wydzielona została podczas elektrolizy jest proporcjonalna do ładunku elektrycznego przepływającego przez elektrolit.

Drugie prawo Faradaya mówi [2]: na odłożenie, wydzielenie lub rozpuszczenie na elektrodach jednego gramorównoważnika jakiegokolwiek substancji zużywa się zawsze tą samą ilość elektryczności równą 1 F (1 farad).

$$F = \frac{N}{W} e_0 \quad (2)$$

gdzie:  $F$  – stała Faradaya [As],  $N$  – liczba Avogadro (liczba atomów w gramoatomie),  $e_0$  – ładunek jednego elektronu [C],  $W$  – wartościowość pierwiastka.

Akumulator kwasowo-ołowiowy składa się z kilku ogniw połączonych szeregowo – każde ogniwo składa się z kilku elektrod o potencjale dodatnim i ujemnym. Potencjał elektrody jest zależny od układu półogniwa – odpowiednio zestawiając dwa układy półogniwa otrzymuje się ogniwo galwaniczne, a w konsekwencji siłę elektromotoryczną  $E$  równą różnicy potencjałów poszczególnych elektrod. W wyniku szeregowego połączenia ze sobą  $n$  ogniw galwanicznych otrzymuje się baterię, której SEM jest równa sumie SEM poszczególnych ogniw  $E$ .

Napięcie na zaciskach włączonej w obwód elektryczny baterii (akumulatora) jest równe:

$$U = E \pm I * R_w \quad (3)$$

gdzie:  $I$  – natężenie prądu przepływającego przez akumulator [A],  $R_w$  – rezystancja wewnętrzna [ $\Omega$ ],  $U$  – napięcie na zaciskach akumulatora [V],  $E$  – SEM akumulatora [V].

SEM zależna jest głównie od gęstości i temperatury elektrolitu. Związek siły elektromotorycznej i gęstości elektrolitu mierzonej w temperaturze 20 °C przedstawia wyrażenie [2, 4, 7]:

$$E = \gamma_{20} + 0,84 \quad (4)$$

gdzie:  $\gamma_{20}$  – gęstość elektrolitu mierzona w temperaturze 20 °C [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ].

## 2. PARAMETRY I CHARAKTERYSTYKI AKUMULATORA

Akumulator kwasowo-ołowiowy charakteryzują takie parametry znamionowe jak: napięcie (SEM), pojemność dwudziestogodzinna i zdolność rozruchowa.

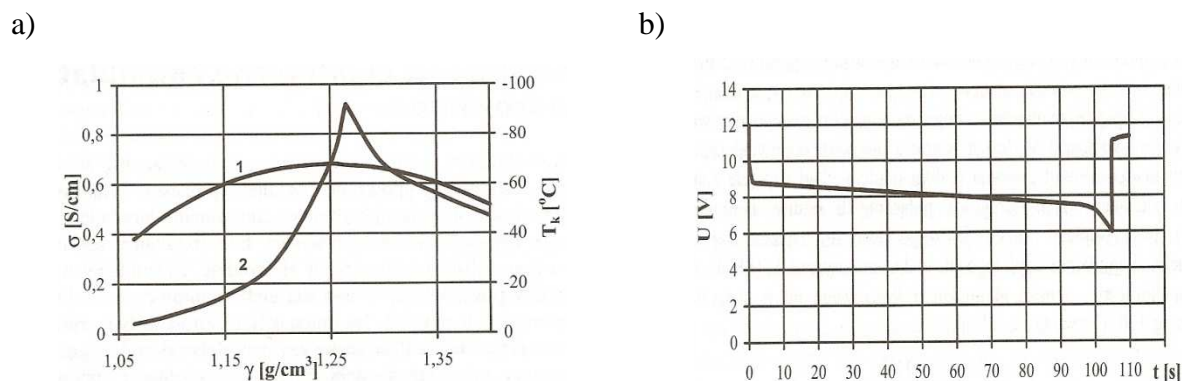
Napięcie akumulatora zmienia się wraz ze zmianą stanu układu elektrochemicznego tworzonego przez elektrolit i masy czynne. Wyróżnia się napięcie znamionowe, napięcie biegu jałowego, napięcie podczas ładowania i wyładowania akumulatora. Elektrolitem w akumulatorach kwasowo-ołowiowych jest roztwór kwasu siarkowego z wodą destylowaną. W zależności od stężenia zmieniają się właściwości elektrolitu. Wraz ze wzrostem stężenia do około 31 % masy kwasu siarkowego maleje rezystancja. Wzrost stężenia powyżej tej wartości powoduje zwiększenie rezystancji elektrolitu. Od stężenia zależy także temperatura krzepnięcia elektrolitu, której wartość jest ważnym eksploatacyjnym parametrem ze względu na warunki użytkowania samochodu, a więc i akumulatora. Z rysunku 1a wynika, że istnieje wartość gęstości elektrolitu, dla której temperatura krzepnięcia jest najmniejsza, a przewodność właściwa największa. Ze względu na przewodność optymalne są wartości gęstości w przedziale 1,17 ÷ 1,28  $\text{g}/\text{cm}^3$ , co odpowiada stężeniu 23,4 ÷ 36,8 % masy kwasu siarkowego w roztworze [7]. Wysokie stężenie elektrolitu, około 90 % masy kwasu, powoduje zamarzanie elektrolitu już w temperaturach dodatnich.

Napięcie znamionowe, to średnie napięcie jakie posiada pojedyncze ogniwo w fazie powolnego wyładowania małym prądem. Jego wartość wynosi w przybliżeniu 2 V. Napięcie znamionowe  $U$  akumulatora kwasowo-ołowiowego różni się od siły elektromotorycznej  $E$

o spadek napięcia na rezystancji wewnętrznej. Napięcie biegu jałowego, to napięcie mierzone na zaciskach akumulatora nieobciążonego, nazywane jego siłą elektromotoryczną  $E$ .

W okresie ładowania akumulatora napięcie mierzone na zaciskach wzrasta. Rezystancja wewnętrzna maleje wskutek powstawania jonów kwasu siarkowego, przez co zwiększa się gęstość elektrolitu w pobliżu płyt. Powoduje to wzrost SEM, a przede wszystkim wzrost siły elektromotorycznej polaryzacji akumulatora, która przyczynia się do wzrostu napięcia podczas ładowania. Wartość napięcia ładowania zawiera się w granicach  $2,6 \div 2,75$  V na każde ogniwo. Po zakończeniu ładowania gęstość elektrolitu znajdującego się w porach masy czynnej oraz w pobliżu płyt stopniowo się wyrównuje, a napięcie przyjmuje wartość około 2,2 V/ogniwo [2, 7].

Podczas wyładowania napięcie na zaciskach zmniejsza się. Na rysunku 1b przedstawiono przebieg wyładowania prądem rozruchowym akumulatora samochodowego 6SC45 o napięciu znamionowym 12 V. Wyładowanie prowadzono stałym prądem o natężeniu  $I = 180$  A w temperaturze  $-18$  °C. W momencie włączenia obciążenia napięcie na zaciskach gwałtownie spada do wartości około 9 V. W trakcie kontynuowania wyładowania napięcie stopniowo maleje, a w końcowej fazie spadek jest znaczny.



**Rys. 1.** Przebieg: a) zależności własności elektrolitu od jego gęstości: 1 – przewodności właściwej  $\sigma$ , 2 – temperatury krzepnięcia  $T_k$ ; b) wyładowania akumulatora 6SC45 prądem rozruchowym.

Źródło: [7]

Po zakończeniu wyładowania SEM akumulatora wzrasta na skutek wyrównywania się gęstości elektrolitu. Akumulator kwasowo-ołowiowy może zostać wyładowany do określonego napięcia końcowego, którego wartość zależy przede wszystkim od natężenia prądu wyładowania i jest o  $0,2 \div 0,6$  V na ogniwo niższe od napięcia znamionowego [2, 7].

W procesach ładowania i wyładowania istotny wpływ na wartość napięcia na zaciskach akumulatora ma SEM polaryzacji. Polaryzacja ogniwa jest to zmiana jego napięcia, wywołana przebiegiem procesów w otoczeniu elektrod. Powoduje ona wzrost SEM podczas ładowania ogniwa ograniczając pobieranie ładunku przez akumulator. Siła elektromotoryczna polaryzacji wpływa szczególnie na możliwość skutecznego ładowania akumulatora zwłaszcza w niskiej temperaturze. W procesach wyładowania zapobiega przed nadmiernym wyładowaniem ze względu na spadek napięcia na zaciskach akumulatora [7].

*Pojemność akumulatora* to ilość ładunku elektrycznego wyrażona w amperogodzinach, jaki można pobrać z akumulatora w określonych warunkach wyładowania. Pojemność wyznacza się z zależności:

$$Q = I * t \quad (5)$$

gdzie:  $Q$  – pojemność akumulatora,  $I$  – natężenie prądu wyładowania [A],  $t$  – czas wyładowania [h].

*Pojemność znamionowa dwudziestogodzinna*, to ilość ładunku elektrycznego wyrażona w Ah, jaki można pobrać z akumulatora podczas wyładowywania go prądem znamionowym

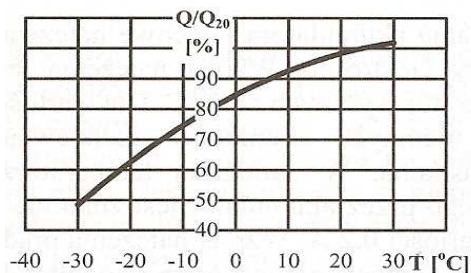
dwudziestogodzinnym do napięcia końcowego 1,75 V na ogniwo, przy temperaturze elektrolitu +25 °C oraz początkowej gęstości elektrolitu 1,28 g/cm<sup>3</sup>. Pojemność dwudziestogodzinną wyraża się zatem zależnością wynikającą z (5):

$$Q_{20} = I_{20} * t \quad (6)$$

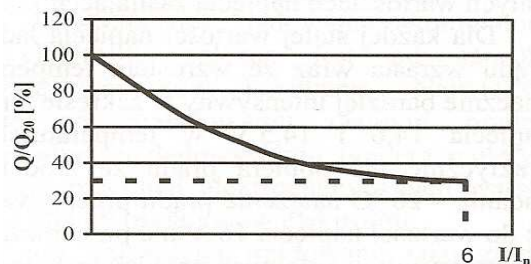
gdzie:  $Q_{20}$  – pojemność dwudziestogodzinną [Ah],  $I_{20}$  – znamionowe natężenie prądu wyładowania [A],  $t$  – czas wyładowania równy 20 h.

Pojemność akumulatora zależy od ilości masy czynnej i jej porowatości, liczby płyt w ogniwie, grubości i powierzchni płyt, od gęstości i temperatury elektrolitu oraz natężenia prądu wyładowania. Przy zmniejszaniu wartości natężenia prądu wyładowania zwiększa się pojemność akumulatora – rys. 2. Mała wartość natężenia sprawia, że przemiany elektrochemiczne zachodzą w całej objętości masy czynnej, przez co liczba cząstek biorących udział w przemianie jest duża. Przy zwiększeniu natężenia prądu wyładowania, reakcje chemiczne zachodzą wyłącznie w warstwach zewnętrznych płyt – jony nie dyfundują w głąb masy czynnej. W konsekwencji, sumaryczna liczba cząstek biorących udział w reakcji jest mniejsza, przez co pojemność również jest mniejsza [4]. Pojemność akumulatora zmienia się wskutek tych samych powodów także pod wpływem zmiany lepkości elektrolitu wywołanej zmianą temperatury.

a)



b)



**Rys. 2.** Względne zmiany pojemności dwudziestogodzinnej akumulatora w zależności od:

a) temperatury elektrolitu, b) wartości względnej natężenia prądu wyładowania.

Źródło: [7]

Jednym z parametrów elektrycznych charakteryzujących akumulator kwasowo-ołowiowy jest jego rezystancja wewnętrzna. Rezystancja wewnętrzna składa się z rezystancji elektrod, elektrolitu, separatorów i styków między elektrodami a elektrolitem oraz rezystancji elementów metalowych przewodzących prąd. Z ww. składowych największy udział w rezystancji wewnętrznej ma rezystancja elektrolitu zawartego w porach masy czynnej oraz przestrzeniach międzyelektrodowych [2].

Rezystancja wewnętrzna akumulatora zależy od jego konstrukcji, stanu naładowania oraz temperatury elektrolitu. Wraz ze wzrostem temperatury rezystancja elektrolitu, jako przewodnika prądu drugiego rodzaju maleje, natomiast podczas spadku temperatury rezystancja wzrasta, co jest związane z ruchliwością jonów w elektrolicie. Zwiększając liczbę płyt akumulatora oraz zmniejszając odległość między płytami uzyskuje się zmniejszenie rezystancji wewnętrznej. Duże znaczenie ma także stopień naładowania akumulatora (gęstość elektrolitu) – zwiększając gęstość elektrolitu zwiększa się jego przewodność właściwą (w odpowiednim przedziale gęstości – rys. 1a).

Podatność akumulatora na wyładowanie dużymi prądami w niskiej temperaturze określa się jako zdolność rozruchową. Brak jest jednego jednoznacznego kryterium oceny tej podatności. Zdolność rozruchowa, wg [3], jest to wartość natężenia prądu wyładowania, określona przez producenta, jaką akumulator może dostarczyć w temperaturze -18 °C przez 10 s do minimalnego napięcia  $U = 7,5$  V. Zdolność rozruchowa charakteryzuje przydatność akumulatora do napędzania wału korbowego silnika. Szczególnie podczas rozruchu silnika w

niskich temperaturach otoczenia natężenie prądu pobieranego z akumulatora jest bardzo duże. Wartość natężenia prądu pobieranego przez rozrusznik w trakcie napędzania wału korbowego silnika zależy od stanu silnika, jego temperatury, zastosowanego oleju smarnego oraz przekładni mechanicznej rozrusznik-koło zamachowe silnika.

### 3. OCENA STANU TECHNICZNEGO AKUMULATORA

Znajomość stanu technicznego akumulatora jest ważnym czynnikiem w codziennym użytkowaniu pojazdów. Zły stan techniczny akumulatora uniemożliwia skuteczny rozruch silnika, a w konsekwencji brak możliwości użytkowania pojazdu. Możliwość uruchomienia silnika jest zatem ostatecznym testem weryfikującym stan akumulatora – jego zdolność do wypełniania funkcji podstawowej, tj. zasilania rozrusznika, zwłaszcza w warunkach niskiej temperatury otoczenia (ujemnej w skali Celsjusza).

Istnieje wiele metod diagnostycznej oceny stanu technicznego akumulatora kwasowo-ołowiowego. Można do nich zaliczyć:

- pomiar napięcia na zaciskach akumulatora,
- pomiar gęstości elektrolitu,
- pomiar napięcia na zaciskach akumulatora za pomocą urządzenia z wbudowanym rezystorem obciążającym,
- pomiar konduktancji, która jest miarą zdolności akumulatora do przewodzenia prądu elektrycznego.

Metodą bezpośrednią oceny stanu technicznego jest badanie pojemności w warunkach kontrolowanego rozładowania określonym natężeniem prądu, najlepiej dwudziestogodzinnego lub badanie zdolności rozruchowej w warunkach normatywnych. Jednakże metody bezpośrednie wymagają specjalnego stanowiska – są więc niewątpliwie kosztowne (badanie zdolności rozruchowej) oraz długotrwałe (rozładowanie dwudziestogodzinne).

Dokonano więc przede wszystkim porównania wymienionych metod diagnostycznych oceny stanu pod względem zasad pomiaru, przebiegu badania i uzyskiwanych wyników. Do badań wykorzystano akumulatory kwasowo-ołowiowe o napięciu znamionowym 12 V i pojemnościach znamionowych równych 50 Ah, 54 Ah, 110 Ah, 170 Ah. Stan techniczny poszczególnych akumulatorów wynikający ze stopnia zasiarczenia płyt, a nie ich rozładowania odwracalnego, był zróżnicowany. Akumulator o pojemności 54 Ah był akumulatorem nowym i względem niego określano stan pozostałych. Pomiar bezpośredni stanu akumulatorów, a więc ich pojemności, został wykonany prądem o natężeniu równym 0,1 pojemności znamionowej w warunkach otoczenia o temperaturze dodatniej 15 °C. Wyniki oceny rzeczywistego stanu akumulatorów podano w tabeli 1. W tabeli zamieszczono także zmierzone wartości siły elektromotorycznej (napięcie biegu jałowego) w stanie ustalonym, tj. po długim czasie przerwy od ostatniego ładowania oraz średniej gęstości elektrolitu.

**Tab. 1.** Pojemności akumulatorów obliczone na podstawie wyładowania prądem:  $I = 0,1 \cdot Q_{20}$

Parametr \ Typ akum.	50 Ah	54 Ah	110 Ah	170 Ah
U (SEM) [V]	12,42	12,71	12,58	12,77
$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	1,226	–	1,270	1,273
Q <sub>20</sub> [Ah]	50	54	110	170
Q rzeczywista [Ah]	21,4	54	62,9	48,6
Stan techn. [%]	42,9	100	57,1	28,6

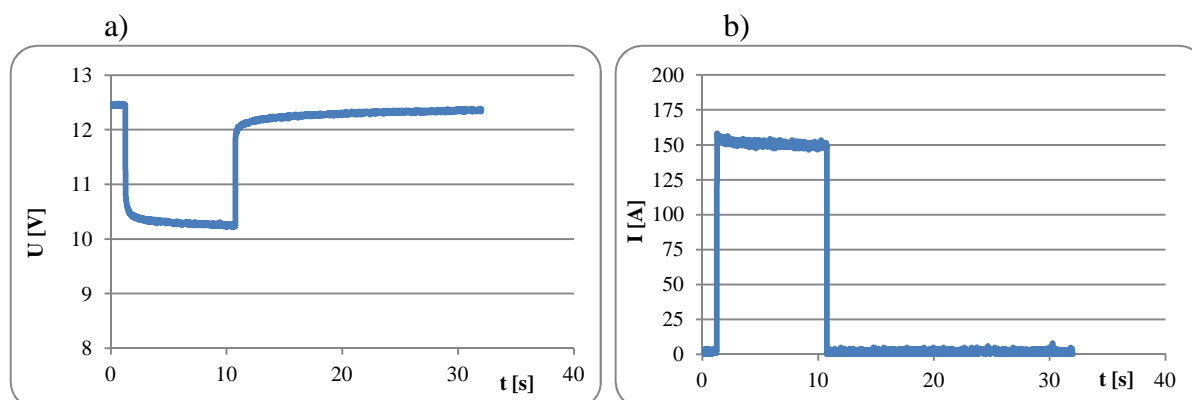
Zródło: [opracowanie własne]

Zamieszczone w tabeli dane wskazują na istnienie korelacji określonej metodą bezpośrednią stanu technicznego (stopnia zużycia – zasiarczenia płyt) oraz zmierzonej

wartości napięcia i gęstości elektrolitu. Wyjątkiem są tu jednak wartości określone dla akumulatora o pojemności 170 Ah, dla którego gęstość elektrolitu jest nadmiernie duża i ona wpływa także na wartość napięcia na zaciskach. Można zatem stwierdzić, że metody diagnostyczne polegające na pomiarze napięcia bądź gęstości mogą być stosowane do oceny stanu, jednak ich czułość może być zbyt mała, gdy gęstość elektrolitu akumulatora nie była zgodna z zalecaną (przykład akumulatora 170 Ah) lub na wartość napięcia wpływa istotnie SEM polaryzacji.

Popularnym nadal typem przyrządu do badania stanu akumulatorów są testery działające na zasadzie chwilowego obciążenia akumulatora prądem o dużej wartości i określenia przy tym wartości napięcia na zaciskach. Przykładem takiego przyrządu jest widełkowy tester PAS-45. Jego konstrukcja umożliwia wybór obciążenia akumulatora zależnie od jego pojemności znamionowej. Tester ten mierzy napięcie akumulatora podczas obciążenia, a wynik jest prezentowany za pomocą kolejno zapalających się diod LED określających odpowiedni poziom napięcia, wskazywany także kolorem światła i skali przyrządu, uzależniony od stanu technicznego akumulatora.

Podczas testów z wykorzystaniem tego urządzenia rejestrowano napięcie i natężenie prądu dla badanych akumulatorów. Przykładowy przebieg ww. parametrów dla akumulatora o pojemności 50 Ah przedstawiono na rysunku 3. Dokonana za pomocą tego przyrządu ocena stanu badanych akumulatorów wskazywała na zróżnicowaną wartość napięcia, jednak w zielonym zakresie skali wskazującym na ich zdatność z wyjątkiem akumulatora 50 Ah, którego stan wskazywał na konieczność doładowania (kolor żółty).



**Rys. 3.** Przebieg: a) napięcia oraz b) natężenia prądu podczas testu przy pomocy testera PAS-45 dla akumulatora o pojemności 50 Ah

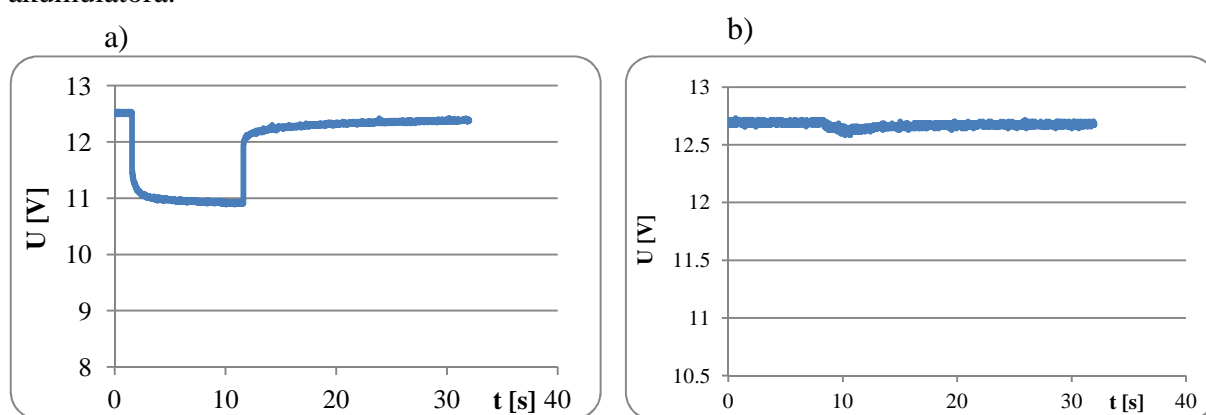
Źródło: [Opracowanie własne]

Przyrządem diagnostycznym działającym na podobnej zasadzie jest tester BT-12. Jest on testerem automatycznym, który obciąża badany akumulator natężeniem prądu około 100 A. Jest wyposażony również w wyświetlacz, na którym podawane jest napięcie oraz w trzy diody LED określające stan techniczny akumulatora. Podczas testu akumulator jest obciążany przez okres 10 s, w trakcie którego wyświetlana jest wartość napięcia na zaciskach akumulatora. Po zakończeniu testu urządzenie wydaje dźwięk informujący, że test został zakończony i obciążenie zostało wyłączone. Jednocześnie zapalają się diody LED informujące o stanie technicznym akumulatora. Kolory odpowiadają określonym stanom technicznym akumulatora:

- zielony, kiedy stan baterii jest dobry,
- żółty, kiedy bateria wymaga doładowania,
- czerwony, kiedy akumulator jest uszkodzony.

Przebieg napięcia i natężenia prądu podczas testu akumulatora ma charakter zbliżony jak dla testera PAS-45 (rys. 4a). Spadek napięcia na zaciskach akumulatora jest większy w przypadku testera PAS-45. Wynika to z faktu, że obciąża on bardziej badany akumulator.

Jako nowoczesne przyrządy do diagnostyki akumulatora traktowane są testery wykorzystujące pomiar konduktancji do oceny stanu. Konduktancja jest miarą zdolności akumulatora do przewodzenia prądu elektrycznego. Przykładem takiego testera akumulatorów jest MM (Magneti Marelli) Battery Tester. Pomiar konduktancji jest pomiarem pasywnym, nie wyładowuje akumulatora. Zmiana napięcia na zaciskach w trakcie trwania testu nie przekracza 0,1 V, zaś zmiany natężenia praktycznie nie zostały zarejestrowane przy danej czułości przyrządu pomiarowego i poziomym zakłóceń sygnału. W celu oceny kondycji akumulatora niezbędne jest wprowadzenie nominalnej wartości prądu zimnego rozruchu, która stanowi wartość odniesienia do testu. Należy także podać rodzaj normy na podstawie, której określono wartość CCA (Cold Cranking Amps). Na podstawie wprowadzonej wartości CCA oraz pomiarów konduktancji tester dokonuje oceny stanu technicznego badanego akumulatora.



**Rys. 4.** Przebiegi napięcia a) podczas testu akumulatora o pojemności 50 Ah za pomocą testera BT-12 oraz b) podczas testu akumulatora o pojemności 54 Ah za pomocą MM Battery Tester

Źródło: [Opracowanie własne]

Wynik testu sprowadza się do określenia czy badany akumulator jest sprawny, sprawny lecz wymaga doładowania lub należy go wymienić. Poszczególne stopnie kondycji akumulatora wyznaczone są następująco:

- akumulator jest sprawny jeżeli napięcie na jego zaciskach wynosi około 12,6 V, a wartość CCA określona na podstawie pomiarów jest równa wartości nominalnej,
- akumulator jest sprawny lecz wymaga doładowania jeżeli napięcie na zaciskach wynosi około 11,5 V, a wartość CCA określona na podstawie pomiarów jest równa wartości nominalnej,
- akumulator jest uszkodzony jeżeli napięcie na zaciskach wynosi około 12,6 V lecz wartość CCA określona na podstawie pomiarów jest mniejsza niż 60% wartości nominalnej.

**Tab. 2.** Wyniki oceny stanu technicznego akumulatorów o pojemnościach za pomocą testera MM Battery Tester

Typ akum.	50 Ah	54 Ah	110 Ah	170 Ah
U z testu [V]	12,55	12,64	12,70	12,89
CCA <sub>nom</sub> wg EN [A]	450	530	750	1000
CCA <sub>fakt</sub> wg EN [A]	323	568	628	915
Stan tech. [%]	71	100	83	91
Stan naład. [%]	93	100	100	100
Zalecenie testu	Zepsuty - Wymień	Dobry	Dobry	Dobry

Źródło: [opracowanie własne]



Stan techniczny akumulatora jest definiowany jako stosunek faktycznej pojemności akumulatora do pojemności nominalnej (może być wyrażony w procentach). Zamieszczone w tabeli 2 wyniki badań akumulatorów kwasowo-ołowiowych o różnym stanie technicznym wykazują pewne zróżnicowanie oceny ich właściwości za pomocą zastosowanego przyrządu. Jednak ich porównanie z danymi zawartymi w tabeli 1 dotyczącymi bezpośredniej oceny stanu wskazuje na ogromne różnice oceny. W szczególności dotyczy to także akumulatora o pojemności 170 Ah i może wskazywać, że analizowany tester jako główne kryteria oceny stanu technicznego i stanu naładowania akumulatora przyjmuje napięcie na zaciskach oraz gęstość elektrolitu, od której istotnie zależy konduktancja akumulatora. Przy ocenie stanu naładowania jako poziom odniesienia przyjmuje się wartość napięcia 12,6 V.

Kolejnym przyrządem wykorzystanym do oceny stanu technicznego był Power Sensor Plus firmy Midtronics. Urządzenie Power Sensor Plus nie wyładowuje akumulatora. Technika pomiarowa zastosowana w tym urządzeniu oparta jest o pomiary konduktancji, podobnie jak w urządzeniu MM. Urządzenie to wykonuje cztery testy akumulatora:

- test „A” sprawdza, czy cele akumulatora nie są uszkodzone, np. poprzez zwarcie,
- test „B” określa stan techniczny akumulatora,
- test „C” podaje wartość napięcia na zaciskach akumulatora w celu stwierdzenia czy akumulator wymaga doładowania czy nie,
- test „D” określa wartość prądu zimnego rozruchu wg norm DIN.

Wszystkie testy wykonuje się kolejno dla badanego akumulatora. Po podłączeniu urządzenia do zacisków akumulatora i ustawieniu wyboru testów w pozycji „A” urządzenie dokonuje sprawdzenia, czy cele akumulatora nie są uszkodzone, o czym sygnalizuje zapalenie się czerwonej diody na testerze. Pozytywny wynik pozwala na wykonanie kolejnego testu.

Test „B” wymaga ustalenia wartości prądu zimnego rozruchu i ustawienia go na testerze przy pomocy pokrętła. Po ustawieniu CCA pokrętłem wyboru testów należy wybrać test „B” i odczytać stan akumulatora. Jeżeli wskazówka urządzenia znajduje się na czerwonym polu, akumulator nie nadaje się do dalszej eksploatacji. Jeżeli wskazówka znajduje się na zielonym polu wówczas stan akumulatora jest dobry, ale może wymagać doładowania. W celu sprawdzenia, czy akumulator wymaga doładowania należy przeprowadzić test „C”.

Test „C” określa poziom naładowania akumulatora. Pokrętłem wyboru testu należy przejść na test „C”. odczytać wartość napięcia na skali testu „C”. Jeżeli wskazówka znajduje się na żółtym polu skali, akumulator należy doładować. Po pozytywnym wyniku testu „C” można przeprowadzić test „D”, który polega na odczytaniu ze skali „D” prądu zimnego rozruchu zmierzonego przez tester. Jeżeli zmierzona wartość CCA jest większa lub równa wartości nominalnej wówczas akumulator jest w pełni naładowany.

Należy mieć na uwadze fakt, że tester ten podaje wartości CCA według normy DIN, w celu porównania wartości według norm europejskich należy je najpierw przeliczyć wg dostępnych tabel. Wyniki testów poszczególnych akumulatorów umieszczono w tabeli nr 3.

**Tab. 3.** Wyniki badań akumulatorów za pomocą Power Sensor Plus

Rodzaj testu \ Typ akum.	50 Ah	54 Ah	110 Ah	170 Ah
Test A	OK.	OK.	OK.	OK
Test B	zielone	zielone	zielone	czerwone
Test C	12,6	12,6	12,7	12,9
Test D DIN/EN	187,5/300	330/540	350/570	500/850

Zródło: [opracowanie własne]

W przypadku testera Power Sensor Plus stan techniczny akumulatorów, z wyjątkiem 170 Ah, został oceniony jako dobry. Porównanie prądu zimnego rozruchu (test D wg EN) z

danymi nominalnymi zawartymi w tabeli 2 oraz rzeczywistym stanem określonym w tabeli 1 wskazuje, że oceny te zostały wyraźnie zawyżone.

## PODSUMOWANIE

Ocena stanu akumulatora kwasowego jest zadaniem ważnym ze względu na jego podstawową rolę w zakresie inicjowania procesu użytkowania samochodu, zwłaszcza gdy konieczne jest uruchomienie silnika w niskiej temperaturze otoczenia. W tych warunkach bowiem najczęściej ujawniają się niedomagania akumulatora i całego układu zasilania elektrycznego. Zatem najbardziej odpowiednim testem sprawności akumulatora jest udany rozruch silnika w trudnych warunkach niskiej temperatury. Jeżeli jednak celem eksploatatora jest nie dopuszczenie do zaistnienia sytuacji awaryjnej, stan akumulatora powinien być rozpoznany odpowiednio wcześniej.

Metodą najprostszą oceny stanu jest tu pomiar napięcia na zaciskach nieobciążonego akumulatora oraz pomiar napięcia instalacji elektrycznej w czasie jego ładowania. Pomiar napięcia powinien być wykonany po upływie co najmniej 1 h od zakończenia ładowania, by ograniczyć wpływ SEM polaryzacji na mierzoną wartość. Pomiar gęstości we współczesnych akumulatorach bezobsługowych jest już zazwyczaj niemożliwy.

Trudna jest identyfikacja trwałego ubytku pojemności wskutek zesterzenia masy czynnej płyt (zasiarczenie) oraz odwracalnej utraty pojemności wskutek rozładowania. Zastosowanie testerów działających na zasadzie obciążania akumulatora prądem, a nawet wykorzystujących metodę konduktancyjną nie upraszcza zadania. W przypadku wątpliwości należałoby dokonać oceny stanu akumulatora, a następnie dokonać takiej samej oceny po jego naładowaniu.

## BIBLIOGRAFIA

1. A. Czerwiński.: *Akumulatory baterie ogniwa*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005.
2. Gomółka J, Kowalczyk F., Franke A.: *Współczesne chemiczne źródła prądu*. Wydawnictwo MON, Warszawa 1977.
3. Polska Norma PN-EN 50342 – 1: 2007: *Akumulatory ołowiowe rozruchowe. Część 1: Wymagania ogólne i metody badań*. PKN, Warszawa 2007.
4. Pomykański Z.: *Elektrotechnika samochodowa*. PWN, Warszawa 1983.
5. Pszczołkowski J.: *Analityczny opis charakterystyk rozrusznika elektrycznego*. Journal of KONES, Naęczów 2000.
6. Pszczołkowski J.: *Analiza i modelowanie procesu rozruchu silników o zapłonie samoczynnym*. WAT, Warszawa 2009.
7. Pszczołkowski J.: *Charakterystyki rozruchowe silników o zapłonie samoczynnym*. Stowarzyszenie Edukacyjne Pedagogów Praktyków „Cogito”, Zbąszynek 2004.

## THE DIAGNOSTIC METHODS OF LEAD-ACID BATTERY STATE EVALUATION

### *Abstract*

*In the paper construction and operating principle of lead-acid battery are presented. Electromotive force and electrolysis Faraday's principles indicate that the quantity of electric charge and energy obtained from battery depend on the quantity of battery plates and electrolyte mass. These features determine battery technical state and its charging state. In the exploitation process, the battery state and its basic properties or using characteristic as well, get worse. The diagnostic*

*methods of battery state evaluation are characterised and tests results examples illustrating diagnostic devices operating are presented. The obtained results will be used in working out the method of engine and its electric start system diagnostic.*

***Autorzy:***

**dr hab. inż. Józef PSZCZÓLKOWSKI, prof. WAT** – Wojskowa Akademia Techniczna

**mgr inż. Grzegorz DYGA** – Wojskowa Akademia Techniczna