

4.1

Budowa i działanie akumulatora

W TYM ROZDZIALE DOWIESZ SIĘ:

- jak jest zbudowany akumulator i jak działa
- do czego służy czujnik oceny stanu akumulatora
- jakie parametry charakteryzują akumulator

Pojazdy samochodowe wyposażone są w dwa źródła energii: akumulator i alternator. Zarówno ładunek (zwany pojemnością akumulatora), jak i wydajność prądowa alternatora są odpowiednio dobrane (dopasowane) do instalacji elektrycznej pojazdu i uwzględniają maksymalne zapotrzebowanie na energię elektryczną wszystkich odbiorników zainstalowanych w samochodzie.

Podstawowym źródłem zasilania jest alternator, który wytwarza energię elektryczną jedynie wtedy, kiedy jest napędzany paskiem od wału korbowego silnika z odpowiednią prędkością. Aby mógł wytwarzać energię, musi być uruchomiony silnik spalinowy. Dlatego w instalacji pokładowej samochodu musi być umieszczone dodatkowe źródło energii elektrycznej – akumulator.

Akumulator umożliwia:

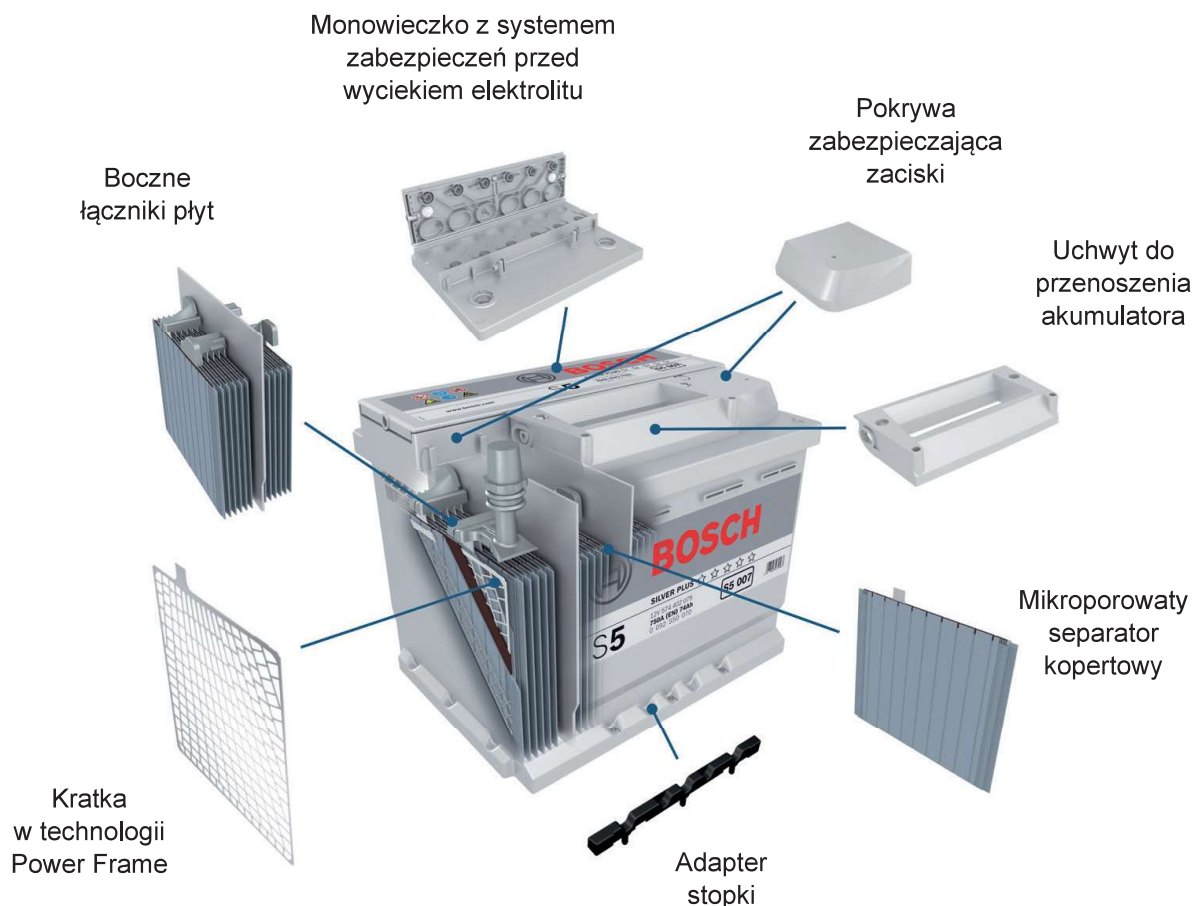
- zasilanie wszystkich urządzeń i układów samochodu, których praca jest konieczna na postoju, przy niepracującym silniku (np. światła awaryjne);
- rozruch silnika, od którego zależy napędzanie alternatora i przejście przez niego zasilania odbiorników energii.

Akumulator to odwracalne elektrochemiczne źródło energii elektrycznej. Jego zadaniem jest pobieranie, gromadzenie i oddawanie energii elektrycznej, przy czym każda z faz jego pracy jest zależna od zachodzących w nim reakcji chemicznych.

W samochodach używane są przede wszystkim **akumulatory kwasowo-ołowiowe**, składające się z sześciu ogniw połączonych ze sobą szeregowo i zamkniętych w odseparowanych celach (komorach), utworzonych przez przegrody jednolitej obudowy akumulatora. Obudowa wykonana jest z tworzywa sztucznego odpornego na działanie kwasu (rys. 4.1). Przy pełnej sprawności i maksymalnym stopniu naładowania akumulatora każde z ogniw dysponuje siłą elektromotoryczną o wartości 2,1–2,12 V. Tak więc cały akumulator ma wtedy siłę elektromotoryczną o wartości 12,6–12,7 V.

Pojedyncze **ogniwo akumulatora** składa się płyt dodatnich i ujemnych umieszczonych na przemian (ujemna/dodatnia/ujemna/.../ dodatnia/ujemna) w pakiecie, przy czym płyt dodatnich jest o jedną mniej niż ujemnych. Płyty dodatnie tworzą jeden zespół, ujemne – drugi.

Szkieletem każdej **płyty** (dodatniej i ujemnej) jest **kratka**. Początkowo była ona wykonywana z czystego ołowiu, a następnie ze stopu ołowiu zawierającego 6–7% antymonu (Sb), który zwiększał jej odporność na wibracje, uderzenia i deformacje. Jednak dodatek antymonu zwiększał także gazowanie i powodował ubytek wody z elektrolitu, zaczęto więc stosować stopy niskoantymonowe (poniżej 2% Sb), a potem stopy ołowiowo-wapniowe



Rys. 4.1. Budowa akumulatora samochodowego

(kratka ujemna), z których obecnie wykonuje się obie kratki. Akumulatory, w których w obu kratkach stosuje się dodatek wapnia (Ca) – stanowi on tylko ok. 1 promila masy stopu – cechują się mniejszym o 80% ubytkiem wody i mniejszym o 30% samorozładowaniem w porównaniu z akumulatorami o kratkach niskoantymonowych. Są to tzw. **akumulatory bezobsługowe**, czyli akumulatory, w których ubytek elektrolitu z akumulatora umieszczonego w kąpeli wodnej o temperaturze 40°C i ładowanego przy stałym napięciu 14,4 V przez 500 godzin jest mniejszy niż 4 g/Ah (lub 2,7 g/min).

Najnowsze akumulatory zawierają niewielkie ilości srebra (Ag), które dodatkowo zwiększa odporność akumulatora na pracę cykliczną i wysokie temperatury elektrolitu oraz uodparnia elektrody na zużycie korozyjne.

Początkowo kratki wykonywane były metodą odlewania lub cięto-ciągnioną, obecnie stosuje się metodę sztancowania, co zwiększa ich odporność na zużycie korozyjne oraz – dzięki odpowiedniej geometrii oczek kratki i jej różnej grubości w poszczególnych strefach – umożliwia zmniejszenie rezystancji wewnętrznej akumulatora i uzyskanie większej wartości prądu rozruchowego. Kratki wypełnione są masą czynną. Płyta dodatnia (w stanie naładowania) zawiera dwutlenek ołowiu PbO_2 (brunatny), płyta ujemna – ołów gąbczasty Pb (szary).

Poszczególne płyty akumulatora w pakiecie (ogniwie) oddzielone są **przekładkami izolacyjnymi** – mikroporowatymi separatorami, wykonanymi z włókna szklanego (polietylenu). Zabezpiewiają one przed zwarcie płyty dodatniej z ujemną, umożliwiając jednocześnie swobodny przepływ elektrolitu oraz prądu elektrycznego. Obecnie najczęściej stosuje się separatory kopertowe, zakładane na jedną z płyt (zwykle dodatnią).

Przestrzeń między płytami akumulatora wypełnia 37-procentowy wodny roztwór kwasu siarkowego (H_2SO_4), stanowiący **elektrolit**. Stąd też nazwa tych akumulatorów: kwasowo-ołowiowe. Pod wpływem wody kwas ulega dysocjacji (rozpadowi) na jony wodoru i reszty kwasowej. Elektrolit działa jak przewodnik, przenosząc jony elektryczne między płytami dodatnią i ujemną w czasie ładowania i rozładowywania akumulatora. Podczas rozładowywania akumulatora jony siarczanowe reagują z materiałem elektrod, w wyniku czego powstaje siarczan ołowiu ($PbSO_4$).

W górnej części akumulatora umieszczone jest zgrzane z obudową **monowieczko**, stanowiące wspólną pokrywę wszystkich ogniw i posiadające połączenia międzyogniowe przez ścianki grodziowe cel. Ma ono między innymi wbudowany labiryntowy system zabezpieczający przed wyciekami elektrolitu i ułatwiający powrót skroplonych gazów do elektrolitu, centralny system odgazowania, filtr antyiskrowy oraz bezpieczny system odprowadzania gazów na zewnątrz akumulatora. Monowieczko pozwala na uzyskanie prawie całkowitej szczelności akumulatora, co w połączeniu ze zwiększonym poziomem elektrolitu (w porównaniu do starszych rozwiązań) zapewnia poprawę rekombinacji gazów (zmniejszenie ubytku wody z elektrolitu), a jego płaska powierzchnia ułatwia utrzymanie akumulatora w czystości.

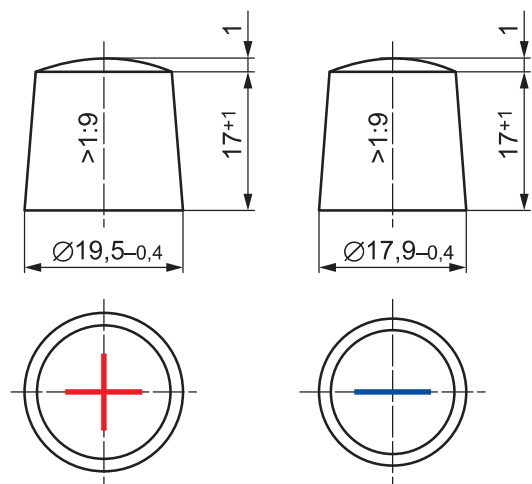
Starsze rozwiązania obudowy, do tej pory stosowane w niektórych typach akumulatorów, miały w górnej części zamykane wkręcany korkami otwory, umożliwiające dostęp do poszczególnych cel (np. dla sprawdzenia i uzupełnienia poziomu elektrolitu). Niektóre akumulatory, zwłaszcza bezobsługowe, mają wbudowany w jedną z cel optyczny wskaźnik naładowania akumulatora.

W dolnej części obudowy akumulatora – **stopce** – znajdują się wzmocnienia i występy pozwalające na umocowanie akumulatora w pojeździe.

Z instalacją pokładową samochodu akumulator połączony jest znormalizowanymi **zaciskami** (zwanymi **biegunami**) o stożkowym kształcie (rys. 4.2). Znajdują się one w górnej części pokrywy akumulatora. Dla ułatwienia identyfikacji oba zaciski są odpowiednio oznaczone (+ i –) na obudowie. Niekiedy mają kolorowe podkładki (czerwoną dla zacisku dodatniego, niebieską dla ujemnego). Ich wymiary są znormalizowane, przy czym zacisk dodatni ma większą średnicę niż ujemny. Przewody instalacji pokładowej przyłączane są do nich za pomocą zacisków główkowych (potocznie nazywanych **klemami**).

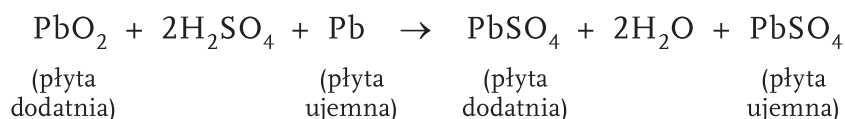
Akumulatory kwasowo-ołowiowe charakteryzują się bardzo małą rezystancją wewnętrzną. Wynosi ona kilka m Ω (w temperaturze 25°C) dla przeciętnego akumulatora o pojemności 45–66 Ah. Dzięki temu można go chwilowo (przez krótki czas) obciążyć natężeniem prądu o dużej wartości.

Działanie akumulatora przedstawiono na rys. 4.3. Naładowana płyta dodatnia zawiera dwutlenek ołowiu PbO_2 , a płyta ujemna – ołów gąbczasty Pb (rys. 4.3a). Podczas poboru energii z akumulatora (tj. jego rozładowywania) na obu płytach zachodzą reakcje prowadzące do przemiany materiału wyjściowego na ich powierzchni w siarczan ołowiu ($PbSO_4$), do którego wytworzenia wykorzystywana jest część kwasu (jony SO_4^{2-}). Natomiast jony H^+ , także powstałe w wyniku elektrolizy kwasu, łączą się z jonami tlenu O^{+2} , tworząc wodę rozcieńczającą elektrolit.

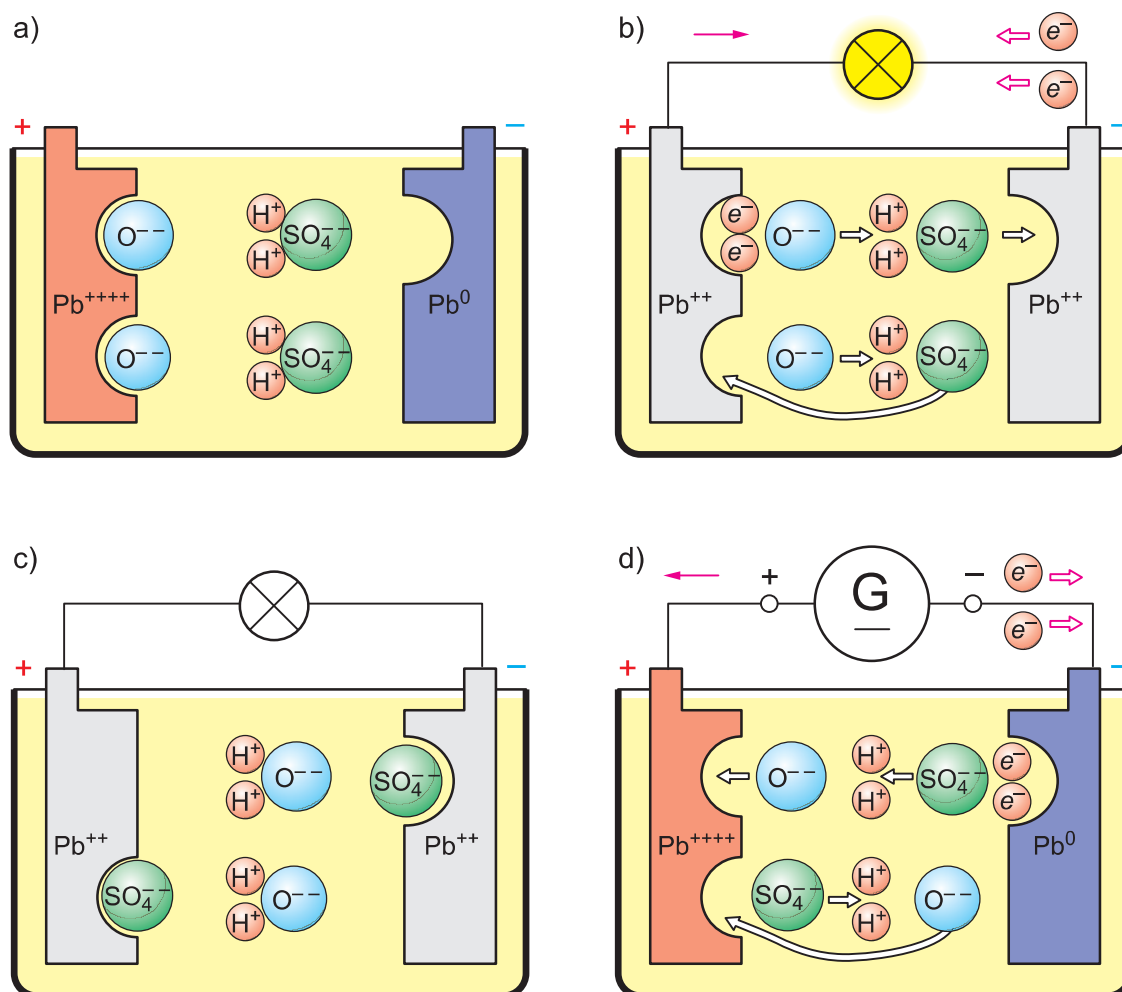


Rys. 4.2. Kształt i podstawowe wymiary zacisków akumulatora

W zewnętrznym obwodzie elektrycznym akumulatora następuje przepływ prądu elektrycznego – elektronów z elektrody ujemnej do dodatniej (rys. 4.3b). Proces rozładowywania akumulatora przedstawia równanie:



W wyniku reakcji chemicznych zmniejsza się ilość kwasu w elektrolicie (i wzrasta zawartość wody), co powoduje zmniejszenie jego gęstości (rys. 4.3c).



Rys. 4.3. Zasada działania akumulatora – przemiany chemiczne zachodzące w nim podczas rozładowywania i ładowania (opis w tekście)

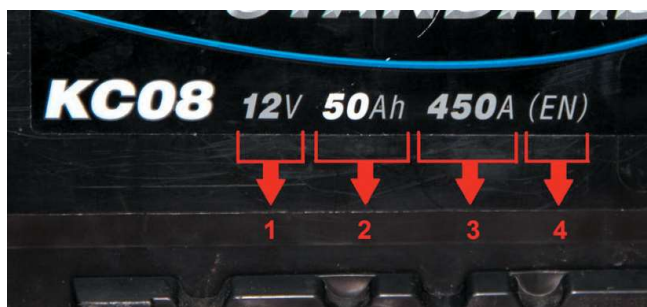
W czasie ładowania następuje proces odwrotny – elektroliza wody. Płyty pokryte siarczanem ołowiu (PbSO_4) powracają do swojej pierwotnej postaci (dodatnia – PbO_2 , ujemna – Pb), a uwolnione z płyt jony SO_4^{2-} łączą się z jonami wodoru, tworząc kwas, którego zawartość (stężenie) w elektrolicie wzrasta (rys. 4.3d). Aby wywołać te przemiany, konieczne jest doprowadzenie do akumulatora energii z zewnątrz (z urządzenia do ładowania). Warunkiem sprawnego przebiegu tego procesu jest dostarczenie ok. 15% więcej energii, niż akumulator oddaje w procesie rozładowania.

Ładowaniu i rozładowywaniu akumulatora towarzyszy zmiana gęstości elektrolitu. Ponieważ zależy ona od temperatury elektrolitu, podaje się ją dla temperatury odniesienia wynoszącej 25°C . Całkowicie naładowany akumulator wypełniony jest elektrolitem o gęstości

1,28 g/cm³, natomiast gęstość elektrolitu akumulatora całkowicie rozładowanego wynosi ok. 1,10 g/cm³. Dlatego też gęstość elektrolitu wykorzystywana jest jako parametr służący do oceny stopnia naładowania akumulatora.

Podstawowe parametry akumulatora podane są na jego tabliczce znamionowej (rys. 4.4). Dane na tabliczce znamionowej obejmują:

- napięcie znamionowe akumulatora (1) na rys. 4.4;
- ładunek znamionowy Q_{20} akumulatora, czyli tzw. pojemność dwudziestogodzinną (2) – wartość ta informuje o wielkości ładunku elektrycznego, jaki akumulator może w sposób ciągły dostarczać przez 20 godzin, aż do spadku napięcia do wartości 10,5 V; na przykład akumulator o pojemności 60 Ah jest w stanie podczas dwudziestu godzin dostarczać prąd o wartości 3 A; wraz ze spadkiem temperatury pojemność akumulatora maleje, co przy jednoczesnym wzroście rezystancji wewnętrznej zmniejsza jego zdolność do oddawania energii;
- wartość prądu rozruchowego CCA (ang. *Cold Crankig Amperage*) określa zdolność rozruchową akumulatora (3); jest to wartość prądu, jaką akumulator może oddać w sposób ciągły w temperaturze -18°C , aby napięcie po 10 sekundach rozładowywania tą wartością prądu nie było niższe niż 7,5 V (wg normy EN); inne normy (SAE, JIS, DIN) określają ten parametr dla tej samej temperatury, ale dla innych czasów rozładowywania i końcowych wartości napięcia akumulatora – na przykład norma SAE wymaga 30-sekundowego obciążania akumulatora i końcowej wartości napięcia nie mniejszej niż 7,2 V.



Rys. 4.4. Podstawowe informacje umieszczone na tabliczce znamionowej akumulatora:

1 – napięcie znamionowe w voltach [V], 2 – ładunek znamionowy Q_{20} (dwudziestogodzinny) w amperogodzinach [Ah], 3 – prąd zimnego rozruchu CCA w amperach [A], 4 – norma, wg której podana jest wartość prądu CCA

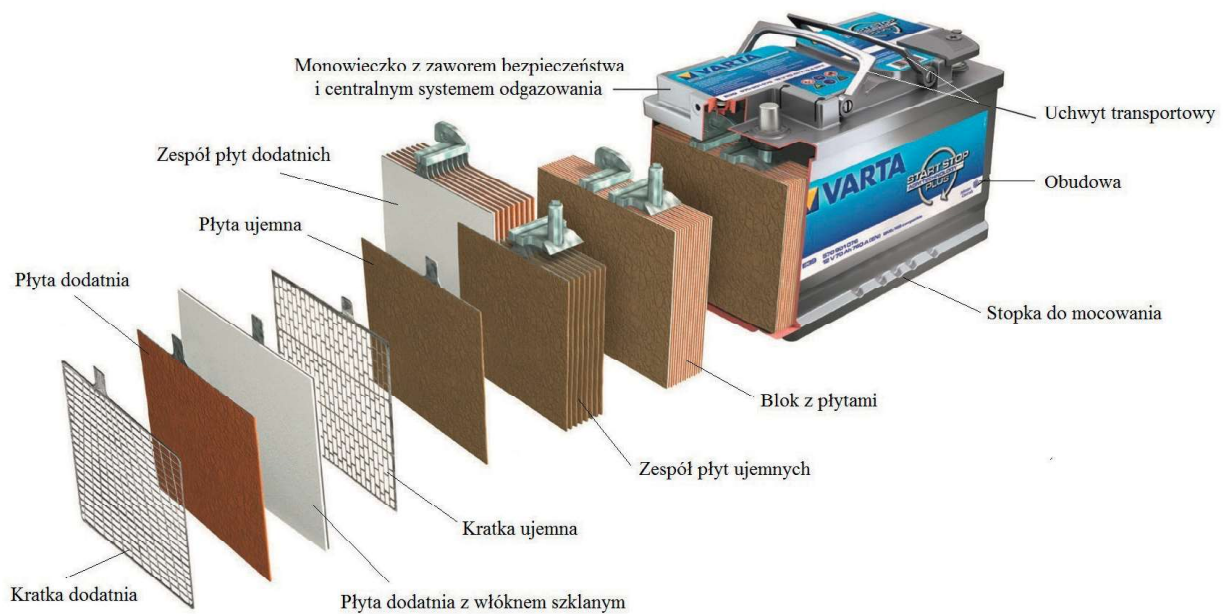
Innymi typami akumulatorów kwasowo-ołowiowych są akumulatory EFB i AGM.

Akumulatory EFB (ang. *Enhanced Flooded Battery*) różnią się od klasycznych tym, że ich płyty dodatnie pokryte są dodatkową powłoką z poliestru, co zwiększa stabilność masy czynnej płyty oraz jej odporność na pracę cykliczną (tj. częste rozładowywanie i ładowanie prądem o dużym natężeniu).

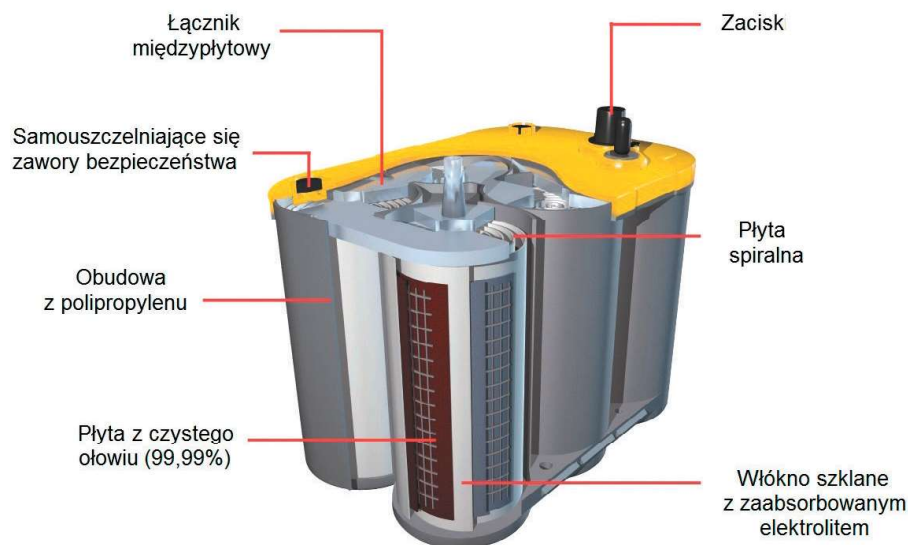
Akumulatory AGM (ang. *Absorbent Glass Matt*) – rys. 4.5, mają między płytami specjalne włókno szklane o dużej porowatości, które całkowicie absorbuje (wchłania) elektrolit. Powstające podczas ładowania gazy odprowadzane są porami we włóknie do elektrody ujemnej, gdzie następuje ich rekombinacja i zamiana w wodę. Dzięki temu w akumulatorach AGM praktycznie nie ma ubytku elektrolitu. Akumulatory tego typu mają mniejszą rezystancję własną niż akumulatory standardowe, dlatego na ich zaciskach można uzyskać nieco wyższe napięcie, są też bardziej odporne na głębokie rozładowanie.

Wymienione rodzaje akumulatorów instalowane są w samochodach z systemem Start-Stop (patrz rozdział 5). Akumulatory EFB wykorzystuje się w najprostszym rozwiązaniu tego systemu, natomiast akumulatory AGM – w systemach z odzyskiwaniem energii hamowania.

Bardzo ciekawym rozwiązaniem są akumulatory kwasowo-ołowiowe, których ogniwa mają postać cienkich płyt, wykonanych z czystego ołowiu (99,99%) oraz włókna szklanego absorbującego elektrolit (AGM) zwinięte razem z nimi w rulon – spiralę (rys. 4.6). Tego



Rys. 4.5. Budowa akumulatora w technologii AGM



Rys. 4.6. Budowa akumulatora z ogniwami spiralnymi

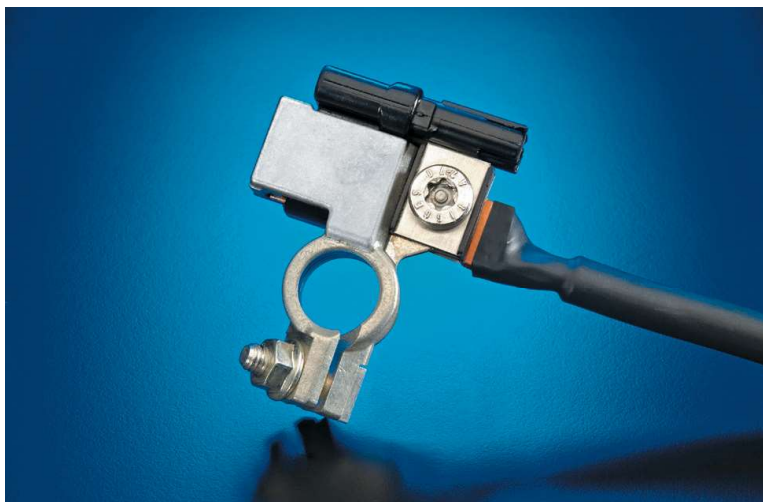
typu akumulatory charakteryzują się znacznie mniejszą rezystancją wewnętrzną, dlatego mogą oddawać znacznie większe ilości prądu oraz gromadzą więcej ładunku przy podobnych (zblizonych) do akumulatorów standardowych wymiarach.

W samochodach o napędzie hybrydowym oraz w najbardziej technicznie zaawansowanych pojazdach z silnikiem spalinowym wprowadzono **czujniki stanu naładowania akumulatora** (rys. 4.7 s. 80). Są one montowane na klemie ujemnej (–) akumulatora (zazwyczaj pełnią wtedy jednocześnie funkcję sterownika systemu zarządzania akumulatorem, czyli energią). Bardzo precyzyjnie mierzą wartość napięcia akumulatora, natężenie pobieranego prądu oraz temperaturę otoczenia. Na podstawie tych parametrów określany jest między innymi stopień naładowania akumulatora. Czasami pomiar napięcia akumulatora wykonuje

się na zacisku dodatnim (+) akumulatora, a pomiar prądu i temperatury – w sterowniku systemu zarządzania akumulatorem (energją).

Sterownik systemu zarządzania energją za pośrednictwem magistrali CAN lub LIN otrzymuje dane z innych czujników (np. czujnika temperatury silnika, temperatury otoczenia, prędkości obrotowej wału korbowego silnika) oraz informacje o czasie postoju samochodu. Na podstawie tych i innych danych system zarządzania akumulatorem (energją):

- steruje momentem i wartością obciążenia alternatora (czasowe opóźnianie załączania alternatora do pracy, np. podczas rozruchu silnika, ograniczanie energii wytwarzanej przez alternator przez obniżenie jego napięcia czy ograniczanie pobieranej mocy lub wyłączanie niektórych odbiorników energii, np. ogrzewania szyby tylnej i przedniej oraz podgrzewania foteli podczas przyspieszania pojazdu – w celu zmniejszenia zużycia paliwa);
- ogranicza stopień rozładowania akumulatora, aby nie był on niższy niż założona wartość graniczna (progowa), poniżej której rozruch silnika jest niemożliwy; w tym celu przy spadku stopnia naładowania akumulatora poniżej określonych progów system wyłącza niektóre odbiorniki energii (w pierwszej kolejności systemy informacji i rozrywki, w dalszej – niektóre odbiorniki układu komfortu);
- pełni funkcje diagnostyczne.



Rys. 4.7. Czujnik stanu naładowania akumulatora IBS (ang. *Intelligent Battery Sensor*)

PYTANIA I POLECENIA

1. Jakie zadania spełnia akumulator?
2. Podaj podstawowe elementy składowe akumulatora.
3. Wymień składniki elektrolitu.
4. W jaki sposób można odróżnić zaciski akumulatora (dodatni i ujemny)?
5. Jakie parametry akumulatora znajdują się na tabliczce znamionowej?
6. O czym informuje oznaczenie 40 Ah umieszczone na tabliczce znamionowej akumulatora?
7. Wyjaśnij, co oznacza wartość 450 A (EN) podana na tabliczce znamionowej akumulatora.
8. Jakie są różnice w budowie akumulatora klasycznego i bezobsługowego?
9. Czym różnią się akumulatory EFB i AGM od standardowego akumulatora bezobsługowego?
10. W jakim celu stosuje się czujnik stopnia naładowania akumulatora oraz system zarządzania akumulatorem (energją)?

4.2

Diagnozowanie
akumulatora**W TYM ROZDZIALE DOWIESZ SIĘ:**

- jakimi metodami można ocenić stan techniczny akumulatora
- jak postąpić z urządzeniami do diagnozowania akumulatora
- jakich informacji o stanie akumulatora dostarcza metoda konduktancji
- w jaki sposób powinno się interpretować wyniki pomiarów diagnostycznych

Akumulator pojazdu należy skontrolować:

- w razie jakichkolwiek trudności podczas uruchamiania silnika, aby wykluczyć go jako przyczynę tych problemów;
- w celu sprawdzenia, czy nie wymaga podładowania, zwłaszcza po długim okresie nieużywania pojazdu lub jego eksploatacji na krótkich odcinkach w ruchu miejskim.

Oceny stanu technicznego akumulatora można dokonać dwoma metodami: **organoleptyczną** i **przyrządową**.

Ocena organoleptyczna stanu technicznego akumulatora obejmuje kontrolę czystości (brak osadów) i stanu zacisków (brak wypaleń, wykruszeń materiału), kontrolę zamocowania akumulatora w samochodzie oraz sprawdzenie podłączenia przewodów. W wypadku akumulatorów starszego typu, z wykręcanyimi korkami otworów wlewowych do poszczególnych cel lub zdejmowaną listwą (pokrywą), ocena stanu technicznego obejmuje również sprawdzenie poziomu elektrolitu w celach – powinien on sięgać minimum 10–15 mm powyżej górnej krawędzi płyt.

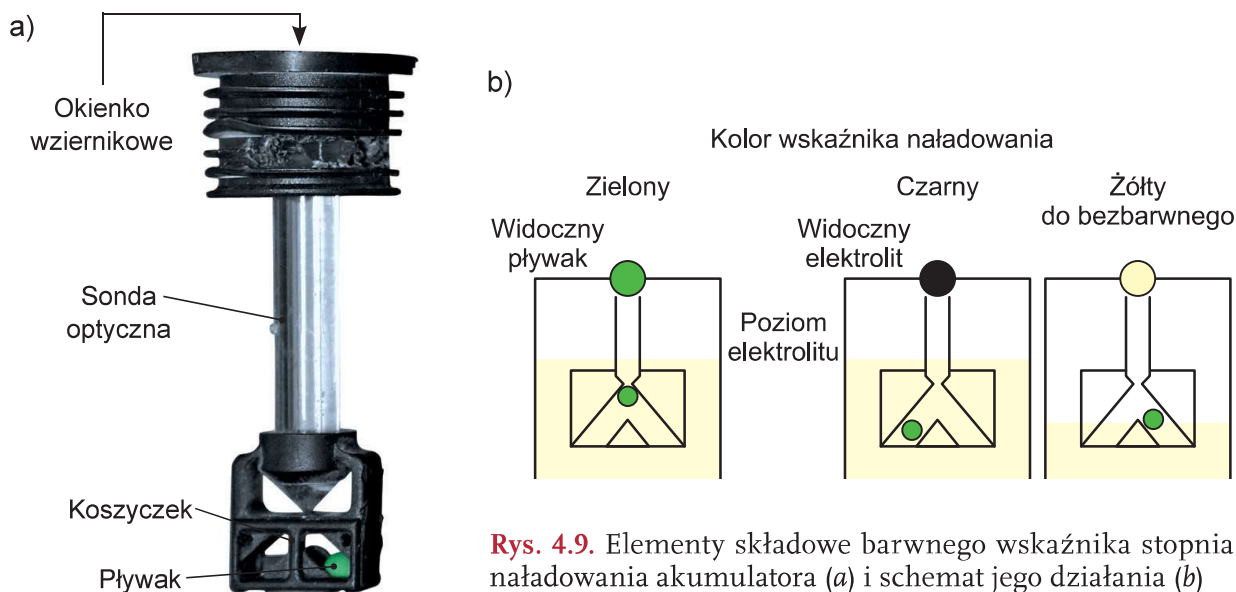
Najpopularniejszym parametrem diagnostycznym akumulatora z dostępem do cel jest gęstość elektrolitu, która dostarcza informacji o stopniu naładowania akumulatora. Istnieje kilka metod jego wyznaczenia za pomocą pomiaru gęstości elektrolitu.

Najprostszą z nich jest **sprawdzenie koloru wskaźnika naładowania akumulatora** – tzw. magicznego oczka (ang. *magic eye*), umieszczonego w obudowie niektórych akumulatorów bezobsługowych (rys. 4.8). Może to wykonać każdy użytkownik. Wymontowany z akumulatora wskaźnik i schemat jego działania pokazano na rysunku 4.9.

Optyczny wskaźnik naładowania akumulatora składa się okienka wziernikowego, sondy optycznej (szklanej rurki) zakończony przewężeniem oraz koszyczka z tworzywa sztucznego (rys. 4.9a s. 82). Wewnątrz koszyczka znajduje się pływak koloru zielonego.



Rys. 4.8. Wskaźnik naładowania bezobsługowego akumulatora pojazdu (tzw. magiczne oczko)



Rys. 4.9. Elementy składowe barwnego wskaźnika stopnia naładowania akumulatora (a) i schemat jego działania (b)

Gdy poziom elektrolitu w akumulatorze jest właściwy i stopień naładowania akumulatora przekracza 65% (gęstość elektrolitu powyżej $1,22 \text{ g/cm}^3$), siła wyporu działająca na pływak powoduje jego przemieszczenie do górnej części koszyczka, pod przewężenie szklanej rurki. Patrząc przez okienko wziernikowe w głąb akumulatora, widzimy kolor zielony (pływak).

Jeżeli stopień naładowania akumulatora jest niższy niż 65% (gęstość elektrolitu poniżej $1,22 \text{ g/cm}^3$), siła wyporu działająca na pływak jest zbyt mała i przemieszcza się on na dół koszyczka. Wówczas w okienku wziernikowym widzimy kolor czarny.

Gdy poziom elektrolitu spadnie poniżej poziomu przewężenia szklanej rurki, w okienku wziernikowym widzimy kolor żółty (lub nie widzimy żadnego koloru).

Kolor zielony wskaźnika oznacza dostatecznie naładowany akumulator (choć nieznanym jest rzeczywisty stopień jego naładowania), kolor czarny, że akumulator jest rozładowany i wymaga doładowania, a kolor żółty (lub brak koloru) informuje o zbyt niskim poziomie elektrolitu. Może wtedy dojść do tzw. zasiarczania, czyli trwałej utraty zdolności akumulatora do gromadzenia energii i spadku jego rzeczywistego ładunku.

W niektórych akumulatorach kolory wskaźnika mogą być inne (zależy to od koloru pływaka) i wówczas na obudowie akumulatora umieszczona jest zwykle odpowiednia nalepka, informująca o kolorze wskaźnika dla trzech stanów akumulatora.

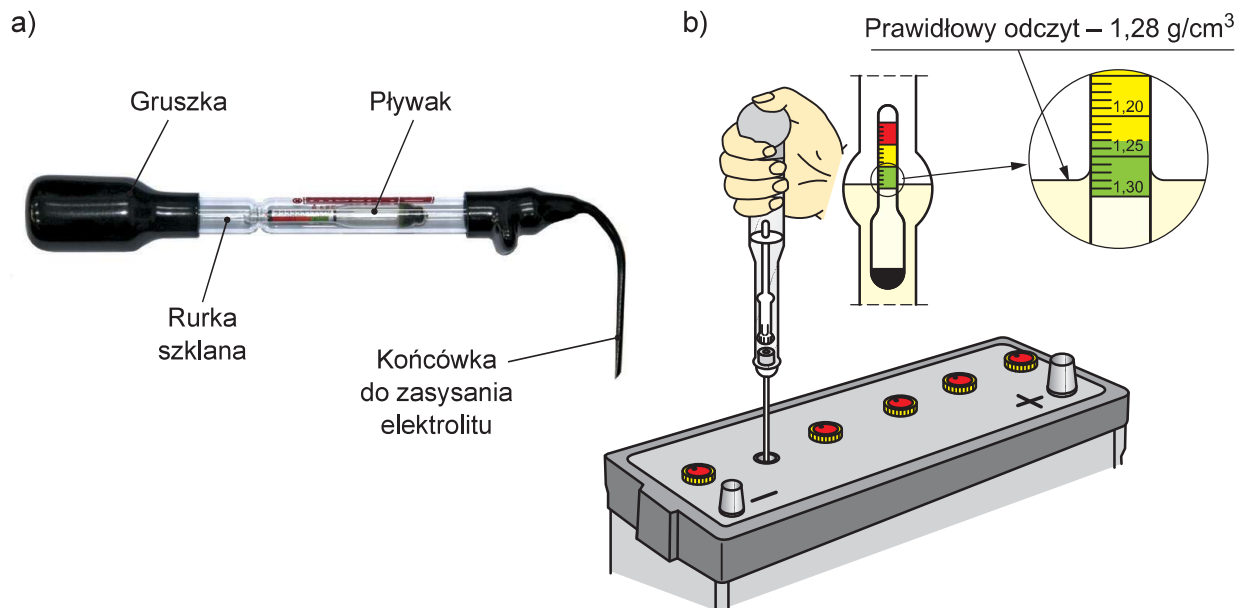
Wadą takiego wskaźnika jest jednak to, że w praktyce stopień naładowania akumulatora na podstawie jego barwy możemy określić tylko w ogniwie, w którym jest umieszczony. Stan naładowania pozostałych ogniw może się znacznie różnić.

Kolejną jego wadą jest również to, że pomiar gęstości elektrolitu następuje w jego górnej warstwie. Elektrolit, zwłaszcza w akumulatorze nieużytkowanym (nieładowanym), ulega rozwarstwieniu – w dolnej części jest gęstszy, a w górnej (pomiarowej) rzadszy, co może zafałszować wskazania (kolor wskaźnika będzie wtedy czarny, a nie zielony).

Wartość gęstości elektrolitu można także wyznaczyć za pomocą areometru lub refraktometru, ale taki pomiar jest możliwy jedynie w akumulatorach, w których da się skontrolować poziom elektrolitu w poszczególnych celach.

Pomiar gęstości elektrolitu za pomocą areometru (rys. 4.10):

1) wykręcamy korki umieszczone w otworach wlewowych poszczególnych cel akumulatora (rys. 4.10b);



Rys. 4.10. Wygląd areometru (a) oraz sposób pomiaru i odczytu wartości gęstości elektrolitu (b)

- 2) zanurzamy końcówkę poboru areometru w elektrolicie badanego ogniwa, po czym zasysamy go przez naciśnięcie gruszki i jej odpuszczenie; wypełnienie szklanej rurki elektrolitem powinno umożliwić podniesienie się pływaka pomiarowego pod wpływem siły wyporu, jednak ilość elektrolitu w areometrze nie może być zbyt duża, aby górna część pływaka nie zablokowała się na gruszce pomiarowej, gdyż zafałszowałoby to wynik pomiaru; areometr w chwili pomiaru powinien być ustawiony pionowo, a pływak nie może dotykać ścianek szklanej rurki (rys. 4.10a);
- 3) ze skali umieszczonej na pływaku odczytujemy wartość gęstości elektrolitu (z dokładnością $\pm 0,005 \text{ g/cm}^3$), wskazywaną przez poziom elektrolitu; podczas odczytu należy uwzględnić menisk wklęsły w rurce (rys. 4.10b);
- 4) z powrotem wlewamy elektrolit do celi i dokonujemy pomiaru w pozostałych celach akumulatora;
- 5) mierzymy temperaturę elektrolitu w dowolnej celi.

Ponieważ wartość gęstości elektrolitu odczytana ze skali pływaka areometru zależna jest od jego temperatury, pomiary te należy skorygować, uwzględniając temperaturę odniesienia (25°C), jeżeli temperatura elektrolitu w chwili pomiaru nie mieści się w granicach $20\text{--}30^\circ\text{C}$. Korekcji dokonujemy według wzoru:

$$\rho_{25^\circ\text{C}} = \rho_{\text{pom}} - 0,0007 \cdot (25^\circ\text{C} - t) \quad [\text{g/cm}^3],$$

w którym: ρ_{pom} – zmierzona wartość gęstości elektrolitu [g/cm^3],
 t – temperatura elektrolitu [$^\circ\text{C}$],

0,0007 – poprawka wartości gęstości elektrolitu w funkcji temperatury na każdy jeden stopień Celsjusza zmiany temperatury elektrolitu w porównaniu do temperatury odniesienia [$\text{g}/(\text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$].

Przykładowo, jeżeli w chwili wykonywania pomiaru temperatura elektrolitu $t = 11^\circ\text{C}$, a odczytana ze skali pływaka areometru wartość gęstości $\rho_{\text{pom}} = 1,23 \text{ g/cm}^3$, to poprawka wyniesie $0,0007 [\text{g}/(\text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C})] \cdot 14 [^\circ\text{C}] = 0,01 \text{ g/cm}^3$, a skorygowana do temperatury odniesienia wartość gęstości elektrolitu będzie wynosiła $1,23 - 0,01 = 1,22 \text{ g/cm}^3$.

Pomiar gęstości elektrolitu będzie miarodajny, gdy wykonamy go dopiero po 30 minutach od zakończenia ładowania akumulatora oraz po 24 godzinach od uzupełnienia

poziomu elektrolitu. Interpretacji uzyskanego wyniku pomiaru dokonujemy na podstawie danych podanych w tabeli 4.1 oraz koloru okienka wskaźnika stopnia naładowania akumulatora.

Tabela 4.1. Zależność stopnia naładowania akumulatora od gęstości elektrolitu

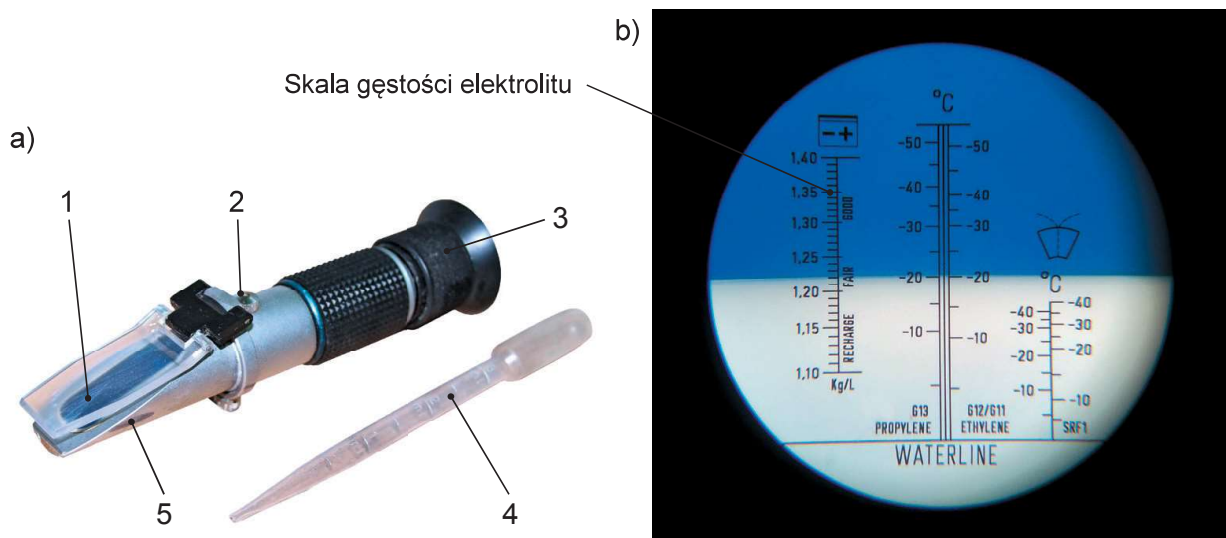
Gęstość elektrolitu [g/cm³]	1,28	1,24	1,20	1,15	1,10
Stopień naładowania [%]	100	75	50	25	0

Pomiar gęstości elektrolitu refraktometrem (testerem optycznym) – rys. 4.11:

- 1) kroplę elektrolitu pobranego z badanej celi nanosimy pipetą na pryzmat przyrządu (rys. 4.11a);
- 2) zamykamy pokrywę, aby elektrolit został rozproszony na całej powierzchni pryzmatu, po czym na skali przyrządu odczytujemy jego gęstość; jest ona wskazywana jako granica między dwoma polami (ciemnym – niebieskim oraz białym) na skali refraktometru (po lewej stronie na rys. 4.11b); położenie tej granicy na skali przyrządu zależy od współczynnika załamania światła, a więc stężenia kwasu siarkowego w elektrolicie; wynik pomiaru gęstości elektrolitu za pomocą refraktometru nie wymaga korekcyjnej do temperatury odniesienia, jeżeli pomiaru dokonujemy, gdy temperatura elektrolitu mieści się w przedziale 5–30°C.

Prawidłowość wskazań refraktometru sprawdzamy, umieszczając na pryzmacie przyrządu kroplę wody destylowanej. Granica między strefami (ciemną i jasną) powinna się wtedy pokrywać z poziomą linią oznaczoną WATERLINE (rys. 4.11b), widoczną w okularze przyrządu. Jeżeli nie pokrywa się z tą linią, dokonujemy korekty położenia skali, przesuwając ją za pomocą wkrętu kalibracyjnego.

Podczas pomiaru gęstości elektrolitu należy zachować ostrożność, aby płyn nie dostał się do oczu, na skórę, ubranie czy lakier samochodu. Zaleca się zakładanie przed pomiarem rękawic, fartucha i okularów ochronnych. W razie dostania się elektrolitu do oczu należy natychmiast przepłukać je dużą ilością czystej wody, a potem skontaktować się z lekarzem. Skórę lub ubranie trzeba zneutralizować wodnym roztworem mydła i obficie spłukać wodą.



Rys. 4.11. Wygląd refraktometru (a) oraz obraz widziany w okularze przyrządu podczas pomiaru (b) – gęstość elektrolitu 1,22 g/cm³

1 – pokrywa pryzmatu, 2 – wkręt kalibracyjny, 3 – okular, 4 – pipeta, 5 – pryzmat

Pośredni pomiar gęstości elektrolitu

Jeżeli mamy akumulator bezobsługowy (tj. bez dostępu do poszczególnych cel), gęstość elektrolitu można wyznaczyć pośrednio, **mierząc siłę elektromotoryczną akumulatora** (tj. napięcie nieobciążonego akumulatora) **miernikiem uniwersalnym** (multimetrem). Przewody pomiarowe multimetru uniwersalnego przykładamy do odpowiednich zacisków akumulatora (dodatni do zacisku /+/, ujemny do zacisku /-/, rys. 4.12a).

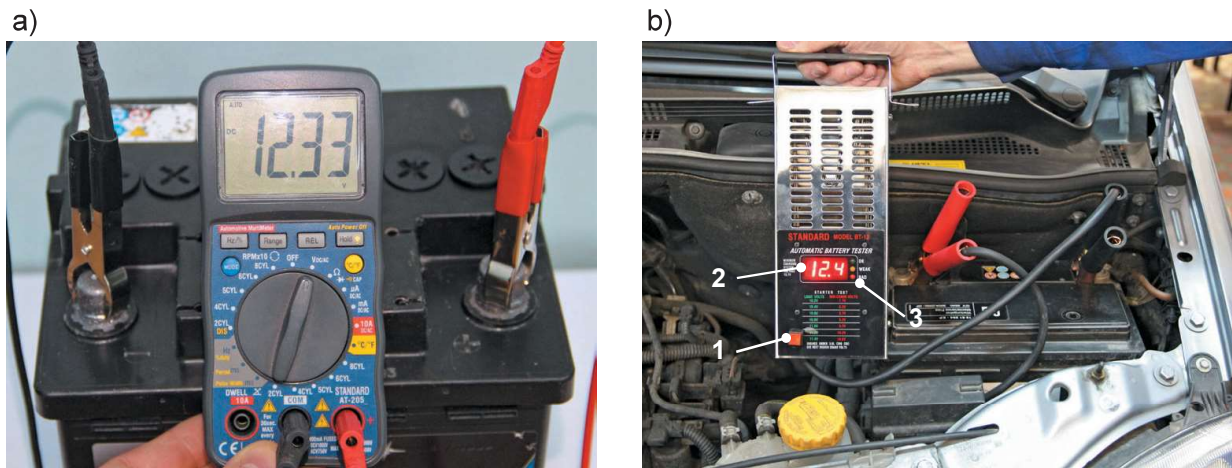
Do wyznaczenia przybliżonej, średniej gęstości elektrolitu we wszystkich celach akumulatora stosujemy następujący wzór:

$$\rho_{\text{śr}} = \frac{E}{6} - 0,84 \quad [\text{g/cm}^3],$$

w którym E – zmierzona wartość siły elektromotorycznej w V.

Przykładowo, jeżeli zmierzona wartość siły elektromotorycznej akumulatora wynosi 12,6 V, to gęstość elektrolitu będzie miała wartość 1,26 g/cm³.

Pomiaru siły elektromotorycznej akumulatora możemy dokonać dopiero po kilku godzinach od zakończenia jego ładowania, musi być on także odłączony od instalacji pokładowej.



Rys. 4.12. Sposób pomiaru: a) siły elektromotorycznej akumulatora za pomocą miernika uniwersalnego, b) napięcia pod obciążeniem za pomocą automatycznego obciążeniowego testera akumulatora 1 – przycisk włączania testu, 2 – wyświetlacz, 3 – diody sygnalizacyjne

Pomiar napięcia nieobciążonego akumulatora nie jest wiarygodną metodą oceny jego stanu technicznego, ponieważ duża rezystancja własna (wewnętrzna) multimetru nie pozwala wykryć niesprawności połączeń wewnętrznych, które ujawniają się podczas poboru dużego prądu (np. przy obciążeniu rozrusznikiem). Na podstawie tego pomiaru nie można też wnioskować o ilości energii zgromadzonej w akumulatorze.

Pewniejszą metodą oceny stanu technicznego akumulatora jest **pomiar jego napięcia pod obciążeniem**. Możemy je zmierzyć **multimetrem uniwersalnym**, przyłączonym do zacisków akumulatora w samochodzie podczas próby uruchamiania silnika. Wartość prądu obciążającego akumulator zależna jest wówczas od warunków rozruchowych (tj. temperatury otoczenia i stanu cieplnego silnika), dlatego podczas interpretacji zmierzonej wartości napięcia (uzyskanej wartości minimalnej) należy uwzględnić te czynniki.

Do warsztatowego **pomiaru napięcia akumulatora pod obciążeniem** służą specjalne **testery** (rys. 4.12b), umożliwiające obciążenie akumulatora prądem o natężeniu 100 A. Urządzenia tego rodzaju samoczynnie wyłączają załączone do akumulatora obciążenie po 10 sekundach od rozpoczęcia pomiaru, aby chronić go przed nadmiernym rozładowaniem.

Pomiaru napięcia pod obciążeniem dokonujemy, gdy silnik jest wyłączony, a odbiorniki energii elektrycznej zasilane z akumulatora samochodu są od niego odłączone. Robimy to w następujący sposób:

- 1) podłączamy zaciski krokodyłowe testera: czerwony do zacisku dodatniego (+) akumulatora, czarny do zacisku ujemnego (-);
- 2) uruchamiamy test pomiarowy – w wypadku testera pokazanego na rys. 4.12b naciskamy przycisk 1;
- 3) po zakończeniu testu odczytujemy wartość napięcia akumulatora, która określa stopień naładowania akumulatora; przy interpretacji wyniku pomiaru możemy skorzystać z wartości kontrolnych podanych w tabeli 4.2; niektóre przyrządy (testery) automatycznie interpretują wynik pomiaru; przyrząd pokazany na rys. 4.12b posiada odpowiednie diody sygnalizacyjne, które świecą po pomiarze w zależności od zmierzonej wartości napięcia.

Tabela 4.2. Stopień naładowania akumulatora w zależności od wartości napięcia pod obciążeniem

Stopień naładowania akumulatora [%]	0–25	25–50	50–75	75–100
Napięcie akumulatora pod obciążeniem [V]	< 9,3	9,3–10,2	10,2–11,1	>11,1

Pomiaru napięcia pod obciążeniem można również dokonać przyrządami mniej zaawansowanymi technicznie, na przykład tzw. **widełkami obciążeniowymi**. Sposób postępowania się nimi jest podobny do sposobu korzystania z testera. Polega on na podłączeniu widełek do odpowiednich zacisków akumulatora oraz uruchomieniu pomiaru przez załączenie przepływu prądu z akumulatora rezystorem obciążeniowym, umieszczonym między końcówkami pomiarowymi. Rezystor obciążeniowy o wartości 23 mΩ stosujemy do akumulatorów o ładunku $Q_{20} \leq 100$ Ah, a o wartości 12 mΩ do akumulatorów o większym ładunku. Interpretacji wyniku pomiaru dokonujemy na podstawie tabeli 4.2 lub korzystając z pomocniczych barwnych skal umieszczonych na obudowie widełek.

Pomiar napięcia pod obciążeniem, tak samo jak pomiar gęstości, umożliwia określenie stopnia naładowania akumulatora. Nie dostarcza to jednak wprost informacji o właściwościach rozruchowych akumulatora, tj. o jego zdolności do oddawania dużej wartości prądu podczas rozruchu, kiedy obciążenie akumulatora jest największe.

Ocena stanu technicznego akumulatora za pomocą testera konduktancji/rezystancji

Obecnie najczęściej stosowaną metodą oceny stanu technicznego akumulatora jest **test** z wykorzystaniem urządzeń wyznaczających **konduktancję wewnętrzną akumulatora** (tj. mierzących przewodność elektrolitu – rys. 4.13a) lub **rezystancję wewnętrzną akumulatora** (odwrotność konduktancji wewnętrznej – rys. 4.13b).

Pierwsza z tych metod (rys. 4.13a) polega na wysłaniu przez tester akumulatora zmiennego sygnału napięciowego, a następnie zarejestrowaniu zmian natężenia przepływającego przez akumulator prądu, będących efektem zastosowania sygnału testowego. Na tej podstawie wyznaczana jest konduktancja wewnętrzna akumulatora.

Druga metoda (rys. 4.13b) polega na krótkotrwałym (ok. 1 ms) obciążeniu akumulatora prądem o natężeniu ok. 100 A. Zmiany napięcia (akumulatora nieobciążonego i obciążonego) pozwalają określić wartość jego rezystancji wewnętrznej.

Niezależnie od zastosowanej metody pomiarowej **podstawową wielkością określającą stan techniczny akumulatora**, wyznaczoną przez tester na podstawie pomiaru (konduktancji lub rezystancji wewnętrznej akumulatora), **jest wartość prądu rozruchowego**.

parametrów charakteryzujących badany akumulator, wyznaczonych testerem, pokazano na rysunku 4.15.

Elektroniczne testery umożliwiają także przybliżoną ocenę akumulatora dzięki pomiarowi napięcia przy obciążeniu go wartością prądu pobieranego przez rozrusznik. Pomiar ten różni się od pomiaru wykonanego testerem elektronicznym (rys. 4.14) lub testerem

a)

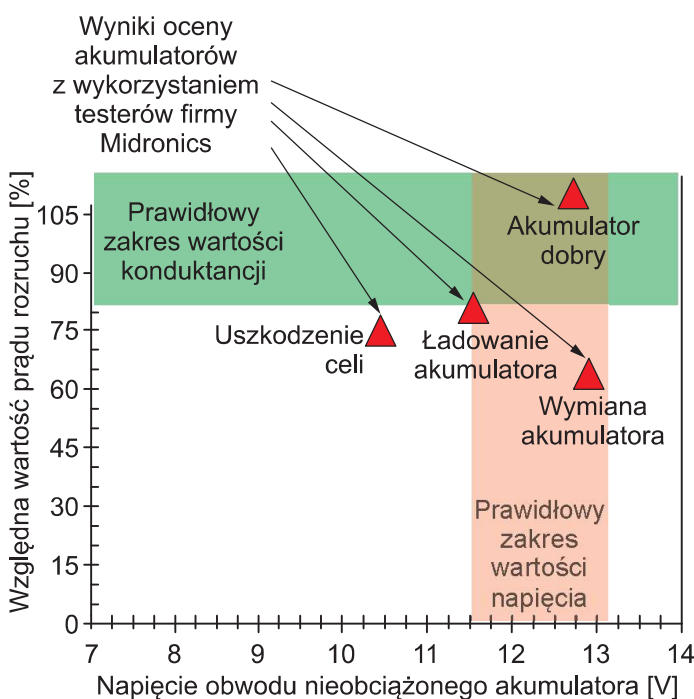


b)

WYDRUK RAPORTU TEST AKUMULATORA	
STANDARDOWY	← 1
SOC: 12.72 V	← 2
CCA NOMIN 420 EN	← 3
CCA FAKT. 371 EN	← 4
AKUMULATOR DOBRY	← 5
STAN TECHN. AKUM.	
■■■■■■■■■■□□ 88%	← 6
STAN NAŁADOWANIA	
■■■■■■■■■■■■■■ 100%	← 7

Rys. 4.14. Sposób oceny stanu technicznego akumulatora z wykorzystaniem pomiaru konduktancji/rezystancji (a) oraz przykładowy wydruk z wynikami pomiarów (b)

1 – typ badanego akumulatora, 2 – zmierzone napięcie nieobciążonego akumulatora, 3 – nominalna wartość prądu rozruchu CCA według normy EN (z tabliczki znamionowej akumulatora), 4 – wyznaczona wartość prądu rozruchu CCA według normy EN określona podczas pomiaru, 5 – ocena akumulatora, 6 – zdolność oddawania energii przez akumulator (procentowo w porównaniu do wartości nominalnej prądu CCA), 7 – stopień naładowania określony na podstawie pomiaru napięcia (procentowo w porównaniu do wartości nominalnej)



Rys. 4.15. Sposób interpretacji wyników oceny stanu technicznego akumulatora przez tester mierzący konduktancję akumulatora; oś pionowa przedstawia względną (w porównaniu do wartości odniesienia) wartość prądu zimnego rozruchu, oś pozioma – napięcie nieobciążonego akumulatora

obciążeniowym (patrz rys. 4.12b) tym, że obciążenie badanego akumulatora (a więc także wartość prądu obciążającego akumulator) jest zmienne i zależne od oporów rozruchowych silnika. W pomiarze tego rodzaju dużą rolę odgrywa stan cieplny silnika i jego zużycie.

Podczas pomiaru tester podłączamy do zacisków akumulatora zamontowanego w samochodzie. Uruchamiamy odpowiedni tryb działania urządzenia, podejmujemy próbę uruchomienia silnika pojazdu, a po zakończeniu testu odczytujemy zmierzoną wartość napięcia (minimalną). Uzyskanie wartości poniżej 10,2–10,5 V wskazuje na znaczne rozładowanie akumulatora (jeżeli obwód rozruchowy jest sprawny).

Diagnostykę akumulatora oraz systemu zarządzania akumulatorem (energiją) można przeprowadzić za pomocą niektórych testerów diagnostycznych. Omówiono to na przykładzie akumulatora pojazdu z systemem Start-Stop w rozdziale 5.3.



PYTANIA I POLECENIA

1. Wymień metody oceny stanu technicznego akumulatora.
2. Podaj charakterystyczne wartości gęstości elektrolitu odpowiadające różnym poziomom naładowania akumulatora.
3. Jakich informacji o stanie technicznym akumulatora dostarcza pomiar gęstości elektrolitu?
4. Co oznaczają kolory: zielony, czarny i żółty optycznego wskaźnika naładowania akumulatora (*magic eye*)?
5. Czym różni się wyznaczenie gęstości elektrolitu areometrem i refraktometrem?
6. Podaj sposób korekty gęstości elektrolitu do temperatury odniesienia przy pomiarze areometrem.
7. Jak sprawdzamy poprawność wskazań refraktometru?
8. Omów sposób pomiaru napięcia akumulatora pod obciążeniem.
9. Jaka jest różnica między konduktancją wewnętrzną a rezystancją wewnętrzną (własną) akumulatora?
10. Jakie parametry stanu technicznego akumulatora możemy wyznaczyć za pomocą elektronicznych testerów akumulatora?
11. Zinterpretuj następujące wyniki pomiaru stanu akumulatora o nominalnej wartości prądu CCA 450 A (EN): 12,56 V, 360 A (EN).