

Krzysztof Jankowski

# Sprawność energetyczna akumulatora samochodowego w warunkach rozładowywania rozruchowego

JEL: L97 DOI: 10.24136/atest.2019.047

Data zgłoszenia: 15.12.2018 Data akceptacji: 08.02.2019

W artykule omówiono zostało zagadnienie wpływu dużych wartości prądu pobieranego z akumulatora samochodowego na jego sprawność energetyczną. Sformułowane zostało pojęcie sprawności energetycznej rozruchowej.

**Słowa kluczowe:** car battery, ampere-hour efficiency, energy efficiency .

## Wstęp

Akumulator wraz z alternatorem tworzą samochodowy obwód zasilania instalacji elektrycznej pojazdu.

W instalacji elektrycznych współczesnych samochodów są stosowane ołowiowe akumulatory rozruchowe (kwasowe) o napięciu znamionowym 12V.

Historycznie funkcja akumulatora w instalacji elektrycznej samochodu zmieniała się wraz z jej rozwojem. W początkowym okresie duża wartość pojemności znamionowej akumulatora pozwalała, przy małym wydatku prądowym najpierw prądnicy a później alternatora, zasilać z niego nie tylko rozrusznik ale również, w czasie jazdy, inne odbiorniki występujące w instalacji elektrycznej.

Obecnie funkcja akumulatora w samochodzie ulega zmianie. Aktualnie najważniejszym zadaniem akumulatora jest zasilanie rozrusznika podczas uruchamiania silnika oraz zasilanie, podczas jazdy, coraz większej liczby odbiorników „impulsowych” to znaczy takich, które pobierają relatywnie duże wartości prądu często oraz przez krótki okres czasu (np. elektryczne wspomaganie układu kierowniczego) [5]. Jest to spowodowane tym, że silnie obciążony alternator nie zawsze może przejąć w pełni takie dodatkowe obciążenie.

Rozładowywany impulsowo akumulator jest w podobny sposób doładowywany. W samochodach wyposażonych w systemy start-stop dodatkowo dochodzi duża częstotliwość załączania rozrusznika, w szczególności podczas jazdy miejskiej. W takich pojazdach stosowane są akumulatory wykonane w technologii EFB (Enhanced Flooded Battery) i AGM (Absorbent Glass Mat). Pierwszy rodzaj akumulatorów stosowany jest głównie w samochodach z układami start-stop, natomiast drugi w pojazdach z układami odzyskiwania energii podczas hamowania.

Niezależnie od konstrukcji akumulatora duża częstotliwość rozładowań i ładowań uzasadnia postawienie jako ważnego problemu sprawności elektrycznej i energetycznej akumulatora. Energia elektryczna wytwarzana przez alternator z paliwa jest bowiem bardzo droga [3, [4].

## 1. Podstawowe parametry samochodowych akumulatorów rozruchowych

Samochodowe akumulatory rozruchowe są charakteryzowane przez różne ich parametry [1], [2], [5], [8], [9], [10]. Z eksploatacyjnego punktu widzenia za ważne należy uznać [4], [5], [11], [12]:

- napięcie znamionowe akumulatora,
- pojemność akumulatora,
- prąd rozruchowy.

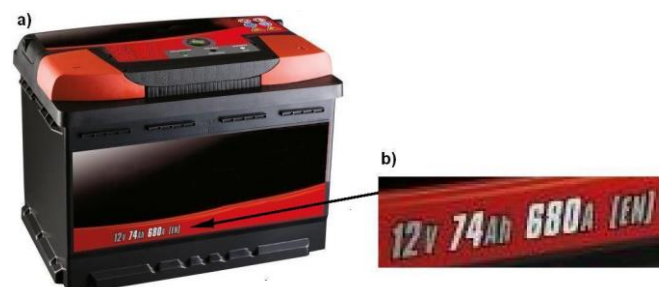
Napięcie znamionowe akumulatora określa jego przydatność do instalacji o określonym napięciu znamionowym (6, 12, 24, 36 czy 48 V). Typowe napięcia znamionowe akumulatorów to 6V i 12V zatem dla instalacji o wyższym napięciu znamionowym są one łączone szeregowo. Wartość pojemności oraz prąd rozruchowy akumulatora określają jego przydatność odpowiednio do powolnego i szybkiego (rozruchowego) jego rozładowania.

Należy pamiętać, że pojemność akumulatora i jego prąd rozruchowy, umieszczane na obudowach są wartościami znamionowymi i dotyczą akumulatorów nowych oraz w pełni naładowanych.

W przypadku akumulatorów wyeksploatowanych, bądź nie w pełni naładowanych, rzeczywiste wartości tych parametrów będą niższe.

Sposób wyznaczania tych parametrów określają normy [8], [9].

Wygląd typowego samochodowego rozruchowego akumulatora kwasowego pokazano na rys. 1.



**Rys.1.** Kwasowy samochodowy akumulator rozruchowy a) wygląd zewnętrzny, b) parametry akumulatora standardowo umieszczone na jego obudowie

Wymienione powyżej parametry to nie jedyne służące do określania własności oraz właściwości współczesnych rozruchowych akumulatorów samochodowych. Występująca obecnie w samochodach znacznie większa częstotliwość cykli rozładowanie - ładowanie oraz ich „impulsowość” skłaniają do zadania pytania jaka jest sprawność takich procesów [3], [4], [5], [6], [12].

Zagadnienie to we wcześniejszych okresach było traktowane jako całkowicie nieistotne.

## 2. Sprawność akumulatorów samochodowych

Wśród parametrów charakteryzujących akumulator samochodowy ważnym zagadnieniem jest sprawność zachodzących w nim procesów elektrochemicznych podczas jego ładowania i rozładowania. Obecnie rozróżnia się dwa rodzaje sprawności akumulatora: **sprawność elektryczną i sprawność energetyczną** [2], [5], [10].

**Sprawność elektryczną  $\eta_{el}$**  akumulatora określa stosunek ładunku elektrycznego  $Q_w$  pobranej z naładowanego akumulatora, przy wyladowaniu w określonych warunkach, do ładunku elektrycznego  $Q_l$  potrzebnej do jego ponownego całkowitego naładowania [5], [10], [12]:

$$\eta_{el} = \frac{Q_w}{Q_l} = \frac{I_w t_w}{I_l t_l} \quad (1)$$

gdzie:

- $I_w$  - prąd wyładowania akumulatora,
- $t_w$  - czas wyładowania,
- $I_l$  - prąd ładowania akumulatora,
- $T_l$  - czas ładowania.

**Sprawność energetyczną**  $\eta_{en}$  akumulatora określa stosunek ilości energii  $W_w$  pobranej z naładowanego akumulatora, przy wyładowaniu w określonych warunkach, do ilości energii  $W_l$  potrzebnej do jego ponownego naładowania [5], [10], [12]:

$$\eta_{en} = \frac{W_w}{W_l} = \frac{U_w I_w t_w}{U_l I_l t_l} \quad (2)$$

zaś po uwzględnieniu wzoru (1):

$$\eta_{en} = \frac{Q_w U_w}{Q_l U_l} = \eta_{el} \frac{U_w}{U_l} \quad (3)$$

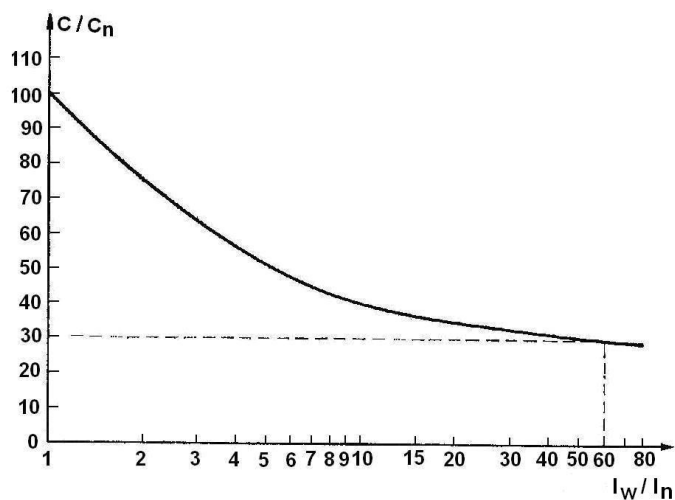
Sprawność akumulatora zależy od jego stanu zużycia, rodzaju płyt oraz natężenia prądów: wyładowania i ładowania.

Przy określaniu obu sprawności nie unormowane są:

- prąd wyładowania  $I_w$ ,
- temperatura elektrolitu podczas wyładowania  $T$ ,
- stan naładowania akumulatora (pojemność  $C$ ).

Standardowo obie sprawności, określone zależnościami (1) oraz (2), są wyznaczane dla prądu znamionowego (dwudziestogodzinnego), końcowego napięcia wyładowania 10,5 V (1,75 V /ogniwo) oraz temperatury elektrolitu w przedziale 20 ÷ 25 °C. W takich warunkach pomiarowych, sprawność elektryczna  $\eta_{el}$ , waha się - dla przeciętego, standardowego akumulatora - w granicach 85 ÷ 95 %, natomiast sprawność energetyczna  $\eta_{en}$  - w przedziale 65 ÷ 75 % [5], [10].

Na rys. 2 pokazano wpływ prądu wyładowania akumulatora na jego rzeczywistą pojemność [5], [10].



**Rys. 2.** Zmiana pojemności akumulatora w zależności od prądu wyładowania

$I_n$  - prąd znamionowy akumulatora (dwudziestogodzinnny),  $C$  - pojemność akumulatora (w danym stanie elektrochemicznym i określonym naładowaniu),  $C_n$  - pojemność znamionowa akumulatora

Przydatność praktyczna tak określonych sprawności: elektrycznej  $\eta_{el}$  i energetycznej  $\eta_{en}$  jest ograniczona, gdyż we współczesnych samochodach rozładowanie akumulatorów tak małymi prądami w praktyce nie występuje.

Z rysunku 2 jasno wynika niecelowość prób określania sprawności elektrycznej akumulatora dla wartości stosunku  $I/I_n$  poniżej 60, ponieważ wtedy każdej niewielkiej zmianie wartości prądu obciążenia akumulatora towarzyszy duża zmiana jego rzeczywistej pojemności a tym samym i obliczonej sprawności.

W celu osiągnięcia poprawności metodologicznej oraz zbliżenia się do wartości rzeczywistych prądów pobieranych z akumulatora w warunkach rozruchu autor proponuje [5] przyjęcie, do określania sprawności akumulatorów, prądu  $I = 3C_n$ , co odpowiada stosunkowi  $I/I_n = 60$  - rys.2.

### 3. Sprawność rozruchowa akumulatorów samochodowych

Analogicznie do pojęcia sprawności elektrycznej akumulatora  $\eta_{el}$  i sprawności energetycznej  $\eta_{en}$  [10] zasadne wydaje się wprowadzenie pojęć: **sprawności elektrycznej rozruchowej**  $\eta_{elr}$  oraz **sprawności energetycznej rozruchowej**  $\eta_{enr}$  [5].

W odniesieniu do akumulatorów stosowanych w obecnie produkowanych samochodach posługiwanie się wyłącznie dotychczas stosowanymi parametrami sprawności elektrycznej  $\eta_{el}$ , oraz sprawności energetycznej  $\eta_{en}$  traci techniczny sens.

Wynika to z faktu występowania dużej częstotliwości cykli: rozładowanie - ładowanie oraz dużych wartości prądów towarzyszących tym procesom.

Konieczność nowego spojrzenia na zagadnienie sprawności akumulatorów pojawiła się wraz z wprowadzaniem do samochodów układów start - stop oraz zastępowaniem systemów wspomagania mechanicznego wspomaganiami elektrycznymi.

Zdaniem autora określanie obu **sprawności rozruchowych winno odnosić się do ładunku i energii pobieranych podczas cyklicznego rozruchowego rozładowania akumulatora odnoszonych do ubytku jego pojemności.**

W artykule [5] autor zaproponował sposób wyznaczania tak sformułowanej sprawności elektrycznej rozruchowej  $\eta_{elr}$  - w warunkach cyklicznego rozładowania rozruchowego.

**Określenie sprawności elektrycznej rozruchowej akumulatora pozwala ocenić jak wartość prądu obciążenia akumulatora wpływa na jego przydatność do celów częstych rozruchów.**

Podstawowym metodologicznym zagadnieniem jest, w tym przypadku, określenie:

- wartości prądu pobieranego podczas prób,
- czasu pojedynczego rozruchu,
- przerw czasowych pomiędzy kolejnymi rozruchami (częstotliwość rozruchów),
- końcowej wartości napięcia pod obciążeniem oraz
- temperatury elektrolitu w akumulatorze (temperatury otoczenia).

#### 3.1. Elektryczna sprawność rozruchowa akumulatorów samochodowych

Polska norma [6] określa prąd rozruchowy akumulatora w temperaturze (-)18 °C przy obciążeniu go przez 10 s do minimalnego napięcia  $U_w = 7,5$  V. Zarówno temperatura akumulatora jak i czas rozładowania nie oddają typowych, rzeczywistych warunków jego obciążenia, szczególnie podczas cyklicznych wyładowań.

Po analizie typowych warunków pracy akumulatorów w stanach rozruchowych, w szczególności w samochodach wyposażonych w akumulatory wykonane w technologii AGM (Absorbent Glass Mat) i EFB (Enhanced Flooded Battery) i w układy start-stop, **autor proponuje określanie sprawności rozruchowej za pomocą procedury cyklicznego rozładowywania akumulatora prądem**

$I_r \approx 3C_n$ , przez 5s, w cyklu 30-sekundowym, do chwili osiągnięcia przez akumulator pod obciążeniem napięcia 7,5V, w temperaturze 20 °C.

W pracy [5] autor sformułował pojęcie **sprawności elektrycznej rozruchowej**  $\eta_{elr}$  wyrażanej stosunkiem ładunku pobranego podczas cyklicznego rozładowania rozruchowego  $Q_r$  do ładunku  $Q_i$  potrzebnej do jego ponownego całkowitego naładowania:

$$\eta_{elr} = \frac{Q_r}{Q_i} \quad (4)$$

We wzorze (4)  $Q_r$  określa ładunek pobrany z akumulatora w czasie sprawdzania jego cyklicznej zdolności rozruchowej (w Ah), określa zależność [2], [5]:

$$Q_r = \frac{5}{3600} \sum_{i=1}^n I_{ri} \quad (5)$$

gdzie:

$I_{ri}$  - średni prąd pobrany z akumulatora w i-tym pomiarze w A.  
n - liczba wykonanych cykli obciążenia akumulatora.

Stała 5/3600 we wzorze (5) wynika z przeliczenia czasu załączenia obciążenia, wyrażonego w sekundach, na godziny.

Procedura badań oraz sposób wyznaczania wartości ładunku  $Q_r$  zostały szczegółowo określony w pracy [5].

### 3.2. Energetyczna sprawność rozruchowa akumulatorów samochodowych

Analogicznie do wzoru (2) autor proponuje sformułować nowe pojęcie **sprawności energetycznej rozruchowej**  $\eta_{enr}$  wyrażonej stosunkiem energii pobranej podczas cyklicznego rozładowania rozruchowego  $W_r$  do energii  $W_i$  potrzebnej do jego ponownego naładowania [5], [10]:

$$\eta_{enr} = \frac{W_r}{W_i} = \frac{Q_r U_{wr}}{Q_i U_i} \quad (6)$$

gdzie:

$U_i$  - średnia wartość napięcia podczas ładowania akumulatora.

Analogicznie jak przy określaniu sprawności elektrycznej rozruchowej wartość ładunku  $Q_r$  można określać za pomocą wzoru (5).

We wzorze (6)  $U_{wr}$  jest średnią wartością napięcia na zaciskach akumulatora pod obciążeniem wyznaczoną na podstawie n pomiarów ze wzoru:

$$U_{wr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_{wri} \quad (7)$$

gdzie:

$U_{wri}$  - wartość napięcia na zaciskach akumulatora pod obciążeniem podczas n-tego cyklu rozładowania (pomiarowego),  
n - ilość cykli rozładowania.

W analogiczny sposób może być wyznaczana średnia wartość napięcia  $U_i$  podczas ładowania akumulatora.

W uproszczonych obliczeniach sprawności energetycznej rozruchowej, według wzoru (6), wartości napięć  $U_{wr}$  oraz  $U_i$  można przyjąć jako średnie z minimalnych i maksymalnych ich wartości, zmierzonych podczas badań.

Po uwzględnieniu zależności (4) wzór (6) przyjmie postać:

$$\eta_{enr} = \eta_{elr} \frac{U_{wr}}{U_i} \quad (8)$$

Ze wzoru (8) wynika jednoznacznie, że wartość **sprawności energetycznej rozruchowej**  $\eta_{enr}$  jest znacznie niższa niż wartość **sprawności energetycznej**  $\eta_{en}$  wyznaczonej za pomocą wzoru (2). Wynika to z faktu, że wartości  $U_{wr}$  są znacznie niższe od wartości  $U_i$  występujących we wzorze (8).

Dotychczas, przy określaniu sprawności elektrycznej i sprawności energetycznej - wzory (1) i (2) - nie określano stanu początkowego naładowania akumulatora [5], [8], [9], [10]. Należy przyjąć (w domniemaniu), że pomiary te mogły być wykonane dla dowolnego początkowego stanu naładowania akumulatora. Stan końcowego rozładowania też mógł być dowolny [5], [10].

Takie podejście wydaje się autorowi metodologicznie niepoprawne. Badanie winno być prowadzone dla w pełni naładowanego akumulatora i do takiego samego stanu akumulator winien być przywracany podczas ładowania. Dotyczy to zarówno określania **sprawności elektrycznej rozruchowej jak i sprawności energetycznej rozruchowej, zważywszy na końcową wartość napięcia pod obciążeniem, która będzie zależna od stanu naładowania akumulatora.**

### 3.3. Sprawność rozruchowa akumulatorów samochodowych w temperaturze (-)18°C

Według normy [8] prąd rozruchowy jest to prąd wyladowania  $I_{cc}$ , określony przez producenta, jaki akumulator jest w stanie dostarczyć w temperaturze -18 °C przez 10 s do minimalnego napięcia  $U_w = 7,5$  V. Przed takim badaniem akumulator jest umieszczany w komorze chłodniczej z wymuszonym obiegiem powietrza, w temperaturze  $(-18 \pm 1)$  °C, tak długo, aż temperatura w jednym ze środkowych ogniw nie osiągnie temperatury  $(-18 \pm 1)$  °C. Przyjmuje się, że wymagana temperatura zostaje osiągnięta po minimum 24 godzinach przebywania akumulatora w takiej komorze.

W praktyce na rynku występują akumulatory, które prąd rozruchowy jest określany według różnych norm - tab.1.

Tab. 1. Sposób określania prądu rozruchu  $I_{cc}$  wg różnych norm [5]

Norma	DIN	IEC	EN1	SAE	JIS
Temp. akumulatora podczas pomiaru	- 18°C	- 18°C	- 18°C	- 18°C	- 15°C
Czas pomiaru	30s (150s)	60s	10s	30s	10s/300A 30s/150A
Minimalne napięcie końcowe wyladowania	9 V (6V)	8,4 V	7,5 V	7,2 V	6V

Przez analogię do sposobu określania prądu rozruchowego akumulatora [8], [9], [10] **można rozważyć również wprowadzenie do procedury określania sprawności elektrycznej rozruchowej oraz sprawności energetycznej rozruchowej badań w temperaturze (-)18°C.**

Takie podejście może prowadzić do większej spójności metodologicznej określania tych sprawności. Biorąc pod uwagę wartość końcowego napięcia rozładowania, przy określaniu prądu rozruchowego akumulatora w obowiązującej normie EN1 [8] przyjęcie przez autora napięcia końcowego prób przy określaniu sprawności elektrycznej rozruchowej oraz sprawności energetycznej rozruchowej wydaje się całkowicie zasadne.

## Podsumowanie

Sformułowany przez autora i przedstawiony w artykule problem **sprawności energetycznej rozruchowej**  $\eta_{enr}$  jest kolejnym etapem analiz i badań zagadnienia sprawności akumulatorów samochodowych, rozpoczętych przez autora w pracy [5].

Sprawność elektryczna rozruchowa jak i sprawność energetyczna rozruchowa są nowymi pojęciami, które pozwalają w bardziej obiektywny, niż dotychczas, oceniać przydatność akumulatorów do współpracy z nowoczesnymi instalacjami stosowanymi we nowych samochodach.

Kontynuowanie badań w tym obszarze wynika z przekonania autora, że zwiększające się funkcje samochodowych akumulatorów rozruchowych we współczesnych samochodach nakazują dokładniej przyglądać się sprawności procesów ładowania i wyładowania w aspekcie zarówno ich trwałości jak i szeroko rozumianych kosztów eksploatacji.

W ostatnich latach producenci akumulatorów wprowadzili nowe materiały do konstrukcji płyt czynnych, wdrażając do produkcji akumulatory wykonane w technologiach EFB (Enhanced Flooded Battery) i AGM (Absorbent Glass Mat). Akumulatory te są jednak znacznie droższe od akumulatorów „klasycznych” (odpowiednio około dwu- i trzykrotnie). Działania te pozwoliły znacząco podnieść ich trwałość, szczególnie w pojazdach wyposażonych w układy start-stop.

Rosnący, z roku na rok, pobór prądu z alternatora na doładowywanie akumulatora prowadzi do wzrostu mocy alternatorów, zużycia paliwa i poziom emisji szkodliwych składników spalin. Podnosi to jednak znacząco koszty produkcji i eksploatacji takich samochodów.

Zagadnienia te odnoszą się w analogiczny sposób zarówno do pojazdów hybrydowych jak i pojazdów z napędem elektrycznym, mimo stosowania w tych samochodach akumulatorów odmiennej konstrukcji.

Zdaniem autora, obie zaproponowane w niniejszym artykule oraz w pracy [5] sprawności pozwalają oceniać pod tym kątem również inne rodzaje konstrukcje akumulatorów stosowanych w samochodach (baterii litowo-jonowych czy niklowo-metalowo-wodorkowych).

Procedury oraz graniczne wartości prądów i napięć dla takich baterii będą jednak inne niż dla klasycznych akumulatorów rozruchowych.

Obowiązująca norma [8] nie odnosi się do tego zagadnienia.

## Bibliografia

1. Czerwiński A.: Akumulatory baterie ogniwa. WKiŁ, Warszawa 2005.
2. Jankowski K.: Elektrotechnika samochodowa. Ćwiczenia laboratoryjne. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej 2010.
3. Jankowski K.: Napięcie znamionowe samochodowych instalacji elektrycznych a ochrona środowiska. III Ogólnopolska Konferencja naukowo - techniczna „Pojazd a środowisko”, Jedlnia Letnisko, 5-6. 06.2001, s.161-164.
4. Jankowski K.: Power losses in car wiring systems. XII Konferencja – Computer systems aide science and engineering work In transport, mechanics and electrical engineering - „Transcomp 2008”, Zakopane, 1- 4.12.2008, s.197-202.
5. Jankowski K.: Sprawność elektryczna akumulatora samochodowego w warunkach cyklicznego rozładowania rozruchowego. Autobusy, nr 12/2016, ss.999-1002.
6. Jankowski K., Orliński P., Orliński S.: Recykling akumulatorów samochodowych wycofanych z eksploatacji. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów nr 1(73)/2009, Politechnika Warszawska, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, s. 41-47.
7. Jankowski K., Zbrowski A.: Electric shock safety in automotive electrical systems. Czasopismo Techniczne Mechanika, Zeszyt 1-M(4), rok 2014 (111), str. 33-39.
8. PN-EN 50342-1:2016-01: Akumulatory ołowiowe rozruchowe - Wymagania ogólne i metody badań.
9. PN-EN 60095-1: Akumulatory ołowiowe rozruchowe. Wymagania ogólne i metody badań. 1999.
10. Ziętkiewicz Z.: Akumulatory samochodowe i motocyklowe. Wyd. 7. WKiŁ, Warszawa 1983.
11. www.akumar.pl.
12. www.akumulator.pl.

---

### Energy efficiency and ampere-hour efficiency of car battery during periodical starting discharges

Paper discussed the problem of influence value load current on the starting efficiency of the car batteries. Author defines concept two new types of starting efficiency of the car batteries.

---

**Keywords:** car battery, ampere-hour efficiency, energy efficiency.

#### Autor:

dr inż. **Krzysztof Jankowski** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu, Wydział Mechaniczny, Instytut Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, e-mail: info@jankowski.biz