

**Grzegorz Grzeczka**  
**Magdalena Karaś**  
**Akademia Marynarki Wojennej**

## **WPLYW TEMPERATURY ELEKTROLITU NA PARAMETRY AKUMULATORÓW STOSOWANYCH NA OKRĘTACH PODWODNYCH**

### **STRESZCZENIE**

Najczęściej podawanymi w literaturze parametrami eksploatacyjnymi akumulatorów kwasowych są gęstość elektrolitu oraz napięcie ogniwa. Tymczasem na wartości tych parametrów oraz wielu innych znaczący wpływ ma temperatura pracy ogniwa. W oparciu o instrukcje eksploatacyjne akumulatorów TGF 36 i typu 38UR9 oraz doświadczenia eksploatacyjne przedstawiono wpływ temperatury elektrolitu na procesy zachodzące w akumulatorach stosowanych na okrętach podwodnych.

### **WSTĘP**

Przy przepływie prądu przez elektrolit, a więc w czasie ładowania i rozładowywania, wydziela się pewna ilość ciepła, która powiększona zostaje jeszcze przez ciepło wydzielone w wyniku reakcji chemicznych zachodzących w akumulatorze. Szczególnie duża ilość ciepła wydziela się przy ładowaniu, gdyż elektrolit o dużej gęstości wydzielany w porach masy czynnej łączy się na zewnątrz płyt z elektrolitem o bardzo niskiej gęstości, czemu towarzyszy duża ilość ciepła (rozpuszczanie kwasu siarkowego w wodzie) [6].

W czasie rozładowania akumulatora masa czynna w procesie reakcji zamienia się w siarczan ołowiu, któremu to zjawisku towarzyszy pobieranie ciepła. Toteż podczas rozładowania ilość wydzielonego ciepła jest bardzo mała i ma wpływ na temperaturę elektrolitu (wzrost lub spadek), jednak wzrost temperatury elektrolitu występuje tylko przy dużych prądach rozładowania [6].

Jako znamionową temperaturę elektrolitu akumulatorów okrętów podwodnych podaje się 30 °C i do niej odnosi się podawana pojemność i gęstość elektrolitu.

Ze względu na trwałość elementów akumulatora i przebieg procesów chemicznych dla akumulatorów kwasowych temperatura elektrolitu nie powinna przekraczać 40 – 45 °C [6]. Temperatura 55 °C akumulatorów 38UR9 może się utrzymywać maksymalnie 5 godzin i nie częściej niż raz w roku [5]. Temperatura akumulatorów TGF 36 podczas ładowań pełnych i wyrównawczych może utrzymywać się między 45 a 55 °C, ale nie dłużej niż 250 h rocznie [2].

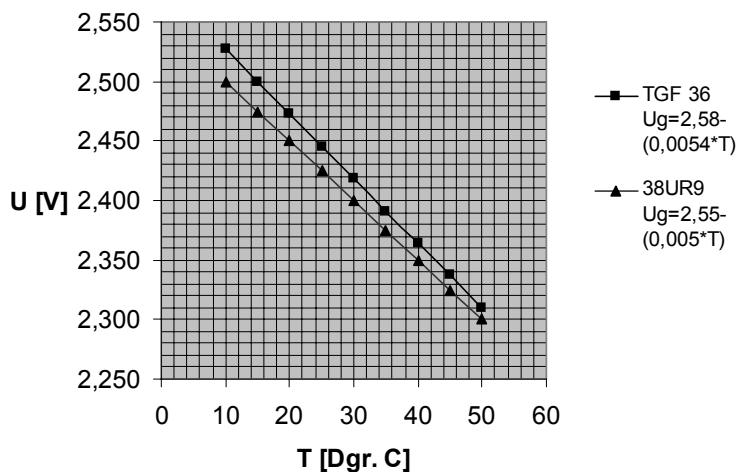
Z tego wynika, że utrzymująca się długotrwale temperatura powyżej 45 °C pogarsza stan i właściwości baterii i może spowodować trwałe uszkodzenia akumulatora, a nawet jego gwałtowne zniszczenie. Temperatura elektrolitu ma wpływ na:

- napięcie gazowania;
- gazowanie;
- gęstość elektrolitu;
- poziom elektrolitu;
- pojemność akumulatora;
- intensywność samorozładowania.

Samorozładowanie ogniwa w normalnych warunkach eksploatacyjnych jest minimalne. Jedną z przyczyn tego zjawiska jest reakcja kwasu na gąbczasty ołów płyty ujemnej, jednak intensywność tej reakcji gwałtownie wzrasta dopiero przy wyższych temperaturach elektrolitu. Przeciętnie na samowyładowanie ogniwo traci około 0,5 – 1% pojemności na dobę. Uniknąć tego można poprzez prawidłową eksploatację baterii, np. bateria nie powinna stać przez dłuższy czas nieładowana [1].

## **WPLYW TEMPERATURY ELEKTROLITU NA NAPIĘCIE GAZOWANIA**

Napięcie gazowania jest związane z ładowaniem baterii akumulatorów. Podczas ładowania następuje początkowo wolny, później szybszy wzrost napięcia. Po przekroczeniu pewnego progu napięcia, zwanego napięciem gazowania, następuje intensywny rozkład wody na wodór i tlen (gazowanie). Aby określić napięcie gazowania w stosunku do zmian temperatury elektrolitu, czyli napięcie końca I stopnia ładowania oraz podczas II stopnia ładowania (rys. 2.), korzysta się z wykresu temperatura – napięcie gazowania (rys. 1.). Nie należy przekraczać napięcia gazowania. Chroni to przed nadmiernym gazowaniem ogniwa baterii akumulatorów.



Rys. 1. Zależność granicznego napięcia gazowania ogniwa od temperatury elektrolitu wg producentów Exide Sonnax SA i Varta AG

Przy wzroście temperatury w II stopniu ładowania obniża się wartość napięcia (poprzez obniżenie prądu ładowania) stosownie do przebiegu tego wykresu. Jako temperaturę przyjmuje się średnią temperaturę elektrolitu ogniw kontrolnych. Jeżeli w jakimś ogniwie kontrolnym temperatura elektrolitu przekroczy 50 °C, to należy zredukować prąd ładowania o połowę [2].

Jak widać, temperatura ma znaczny wpływ na napięcie ładowania, tzn. im jest wyższa, tym niższe napięcie – i odwrotnie. Aby można było porównać zmierzone wartości napięć, muszą one zostać skorygowane do temperatury odniesienia równej 30 °C.

$$U_{\text{skorygowane}} = U_{\text{zmierzone}} + k \cdot \Delta T,$$

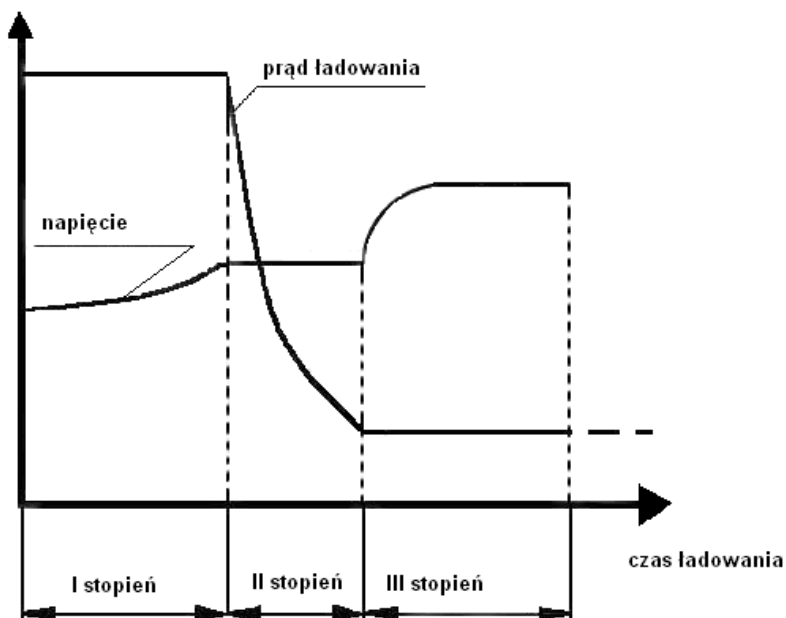
gdzie:  $U_{\text{skorygowane}}$  – skorygowane napięcie ogniw odniesione do temperatury elektrolitu 30 °C;

$U_{\text{zmierzone}}$  – zmierzone napięcie ogniw jako średnia lub pojedyncza wartość;

$k$  – współczynnik korekty temperatury elektrolitu;

$\Delta T = T_{\text{zmierzone}} - 30 \text{ °C}$ .

Dla baterii typu 38UR9  $k = 0,005$  i przy  $T = 50 \text{ °C}$   $U_{\text{zmierzone}} = 2,3\text{V}$ , to przy obniżeniu do 30 °C napięcie będzie wynosiło 2,4 V, dlatego tak ważne jest postępowanie według instrukcji eksploatacyjnej.



Rys. 2. Przebieg ładowania baterii akumulatorów na okrętach podwodnych

## WPLYW TEMPERATURY ELEKTROLITU NA PROCES GAZOWANIA

Z baterii akumulatorów w czasie ładowania, rozładowania oraz w czasie bezczynności (naładowanej lub częściowo rozładowanej) wydzielają się gazy. Podstawowym składnikiem wydzielających się gazów jest wodór i tlen. Najbardziej intensywne wydzielanie się wodoru występuje przy końcu ładowania i osiąga swoje maksimum w okresie przeladowania, gdy cały prąd ładowania praktycznie jest zużywany na rozkład wody z elektrolitu na tlen i wodór. Wodór wydzielany się również intensywnie jeszcze przez jakiś czas po zakończeniu ładowania akumulatorów na skutek ulatniania się gazów pozostałych w porach masy czynnej płyt i między płytami. Wydzielanie wodoru wzrasta przy wzroście temperatury. Na każde 10 °C wydzielanie wodoru wzrasta dwukrotnie [7]. Stężenie wodoru nie może przekroczyć 1,5%. Przy udziale objętościowym wodoru w powietrzu powyżej 3,8% mieszanina powietrze-wodór staje się wybuchowa. Poprawność działania systemu wentylacji i chłodzenia elektrolitu ma tu istotne znaczenie dla bezpieczeństwa załogi.

## WPLYW TEMPERATURY ELEKTROLITU NA GĘSTOŚĆ ELEKTROLITU

Gęstość elektrolitu zależy od temperatury i wraz z jej zmianą ulega również zmianie. Dlatego przy podawaniu gęstości znamionowej dla akumulatora odnosi się ją do temperatury 30 °C. Gęstość elektrolitu, sprowadzona do temperatury 30 °C w sprawnych i całkowicie naładowanych ogniwach, powinna być równa wartości znamionowej, podanej w formularzu baterii z dopuszczalną różnicą +/- 0,005 [7].

Jeżeli przy końcu dwóch kolejnych ładowań gęstość elektrolitu w niektórych ogniwach po sprowadzeniu do temperatury 30 °C będzie wyższa od normalnej o więcej niż 0,01, wówczas należy obniżyć ją do wartości znamionowej [7].

Korektę temperaturową oblicza się według wzoru:

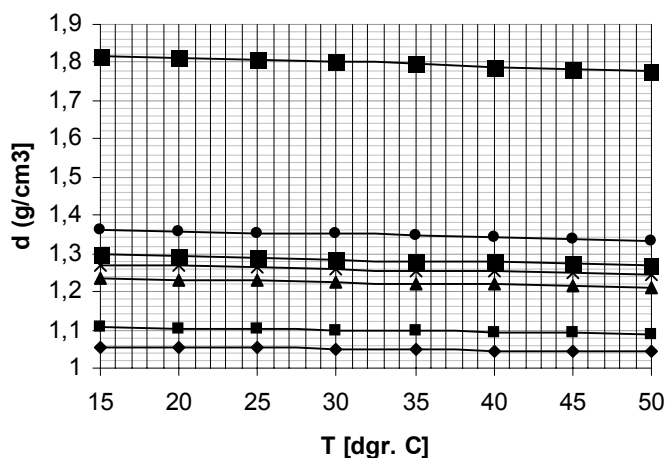
$$d_{30} = d_T + (T - 30) * 0,0007 [4],$$

gdzie:  $d_{30}$  – gęstość elektrolitu odniesiona do temperatury 30 °C [g/cm<sup>3</sup>];  
 $d_T$  – zmierzona gęstość elektrolitu w danej temperaturze T [g/cm<sup>3</sup>];  
T – zmierzona temperatura elektrolitu.

Najczęściej używa się jednak wzoru korekcyjnego skorygowanego w stosunku do poziomu i temperatury elektrolitu – gdyż uwzględnia on od razu te dwie zależności.

Zależność gęstości od temperatury przedstawia się w tabelach. Fragment takiej tabeli przeniesionej na wykres d-T pokazuje rysunek 3. Wykres obrazuje, jak zmienia się gęstość elektrolitu w funkcji temperatury. Widać tu, że ze zmianą temperatury elektrolitu o 1 °C gęstość elektrolitu w granicach gęstości 1,300 – 1,220 zmienia się o 0,0007[g/cm<sup>3</sup>], a w granicach gęstości 1,200 – 1,150 o 0,0006 – 0,0005 [g/cm<sup>3</sup>] [4].

Gęstość nie tylko zmienia się wraz z temperaturą. W procesie rozładowania i ładowania następuje zmiana gęstości elektrolitu. Do wyrównania gęstości w całym ogniwie służy urządzenie do mieszania elektrolitu włączane według reguł eksploatacyjnych, tak żeby przy pomiarze gęstości nie dochodziło do błędnych wyników.



Rys. 3. Zależność temperatury i gęstości elektrolitu wg Varta AG

### WPLYW TEMPERATURY ELEKTROLITU NA POZIOM ELEKTROLITU

Wielkość poziomu elektrolitu w ogniwie jest wartością zmienną, zależną od kilku czynników, które niejednokrotnie występują jednocześnie. Jednym z tych czynników jest temperatura elektrolitu.

Maksymalny i minimalny poziom elektrolitu nad szklami ochronnymi, przy temperaturze elektrolitu 30 °C dla różnych typów ogniw akumulatorowych, nie powinien przekraczać wartości podanych w formularzu baterii [7].

Obniżenie się poziomu elektrolitu w ogniwach następuje wskutek parowania wody i dlatego wymaganą ilość elektrolitu w ogniwach, przy ich normalnej eksploatacji, należy utrzymywać przez okresowe dolewanie wody destylowanej, chłodzonej do temperatury poniżej 30 °C [7].

W czasie eksploatacji baterii niewłaściwe jest dolewanie wody do ogniw powyżej maksymalnego poziomu elektrolitu. Poziom elektrolitu zależy od temperatury, dlatego przed dolaniem wody należy ustalić maksymalny poziom elektrolitu przy danej temperaturze [2]. Korektę temperaturową poziomu elektrolitu ogniwa typu 38UR9 oblicza się ze wzoru:

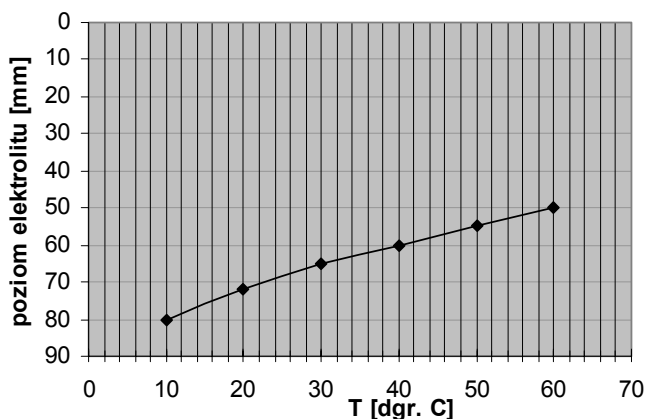
$$PE_{koryg} = PE_{zmier} - (T - 30^{\circ}C) \times 0,3,$$

gdzie:  $PE_{koryg}$  – poziom elektrolitu skorygowany do temperatury 30 °C;  
 $PE_{zmiarz}$  – poziom elektrolitu zmierzony w temperaturze T.

Ze wzoru wynika, że przy wzroście temperatury elektrolitu o 10 °C jego poziom zwiększy się o 3 mm, i odwrotnie – przy spadku temperatury poziom elektrolitu obniży się o 3 mm. Dolanie 1,0 l wody destylowanej w rozpatrywanym ogniwie powoduje wzrost poziomu elektrolitu o 5 mm.

W ogniwach typu TGF 36 korzysta się z wykresu zależności poziomu elektrolitu od temperatury (rys. 4.). Normalny stan poziomu elektrolitu to 65 mm poniżej górnej krawędzi otworu obsługowego. Wzrost temperatury o 10 °C powoduje wzrost poziomu elektrolitu o 5 – 8 mm, z kolei dolanie 0,5 l wody destylowanej powoduje wzrost poziomu o 5 mm.

Na obydwu typach ogniw granicznym poziomem elektrolitu w ogniwie jest 30 mm powyżej i poniżej poziomu normalnego. Nie można dopuścić do spadku poziomu elektrolitu poniżej minimalnego, gdyż grozi to odsłonięciem separatorów i ich korozją. Należy także uważać na poziom elektrolitu niepracujących baterii, ponieważ obniża się on znacznie w wyniku ostudzenia; wtedy należy dolać wodę do osiągnięcia poziomu 10 mm poniżej stanu normalnego. Powrót do poziomu normalnego może nastąpić nawet po dwóch tygodniach eksploatacji.



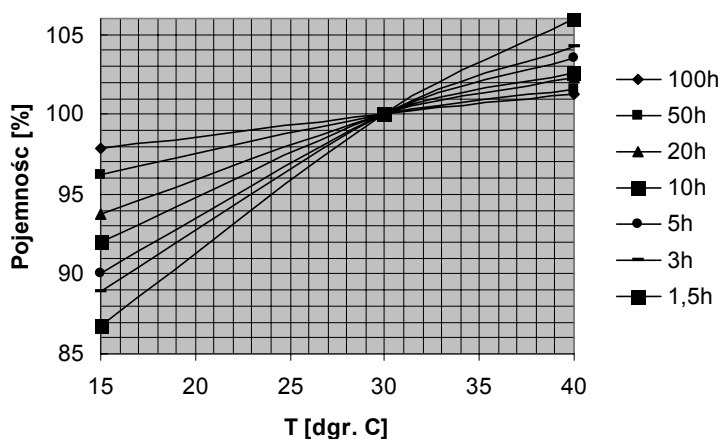
Rys. 4. Zależność poziomu elektrolitu od temperatury w ogniwach typu TGF 36 wg Exide Sonnax SA

Z powyższego widać, że należy rozważnie podejmować decyzje o dolaniu wody destylowanej do elektrolitu, mając na uwadze nie tylko temperaturę, ale zarówno obecny, jak i przewidywany stan eksploatacyjny.

## WPŁYW TEMPERATURY ELEKTROLITU NA POJEMNOŚĆ AKUMULATORA

Pojemnością akumulatora przy danym prądzie rozładowania nazywa się ilość energii elektrycznej, wyrażoną w amperogodzinach, którą można otrzymać z pełni naładowanego akumulatora przy nieprzerwanym rozładowaniu (prądem o stałym natężeniu) do napięcia końcowego. Pojemność akumulatora kwasowego zależy od bardzo wielu czynników. Pojemność wyprodukowanego już akumulatora zależy od czynników eksploatacyjnych, a mianowicie: od prądu rozładowania, gęstości elektrolitu, temperatury, czasu pracy baterii (od wieku) oraz zawartości domieszek w elektrolicie. Przy wyrażeniu wartości pojemności akumulatora należy podawać, dla jakiego prądu rozładowania jest ona aktualna [6].

Pojemność ogniwa można zdefiniować jako zdolność do przenoszenia określonej wartości prądu w określonym czasie, zanim ogniwo osiągnie napięcie końcowe. Dlatego pojemność dyfuzyjna wzrasta, gdy prąd rozładowania maleje. Dyfuzja jest także łatwiejsza przy wyższych temperaturach. Na wykresie (rys. 5.) pojemność ogniwa przy określonym prądzie rozładowania wzrasta wraz ze wzrostem temperatury.



Rys. 5. Wykres zależności pojemności baterii od temperatury elektrolitu przy różnych prądach rozładowania wg producenta Exide Sonnak SA

Dla maksymalnego prądu rozładowania, tj. dla prądu 1,5 h, dozwolone napięcie końcowe jest najniższe. Wraz ze zmianą obciążenia zmienia się napięcie



ogniów. Baterię można więc rozładowywać danym prądem do odpowiadającego mu napięcia końcowego. Następnie należy zmniejszyć prąd rozładowania, aby napięcie wzrosło powyżej napięcia końcowego dla danego prądu i dalej rozładowywać baterię do napięcia końcowego. W ten sposób można rozładować baterię do końca, tj. do momentu wyładowania się z niej 100% pojemności [6].

## PODSUMOWANIE

Przepisy eksploatacyjne wymagają ciągłej kontroli temperatury elektrolitu. Od niej między innymi zależy przebieg ładowania i rozładowania akumulatorów oraz obsługa systemów wspomagających te procesy. Od czasu eksploatacji w podwyższonej temperaturze bardzo drastycznie zależy żywotność baterii, a więc podstawowy parametr określający jej jakość.

Zmienność temperatury nie jest korzystnym zjawiskiem, jednak bardzo trudno w okrętowych warunkach eksploatacyjnych utrzymać temperaturę elektrolitu równą 30 °C. Przy sprawnym działaniu systemu chłodzenia elektrolitu i systemu mieszania elektrolitu (wyrównanie gęstości = wyrównanie temperatur) jest ona utrzymywana poniżej tej temperatury, co wpływa korzystnie na trwałość akumulatora niż stan powyżej temperatury odniesienia.

W specyficznej eksploatacji okrętu podwodnego dobra znajomość negatywnych i pozytywnych skutków zmian temperatury może pomóc w efektywniejszej eksploatacji baterii. Na przykład, przy niższych temperaturach można ładować baterie do wyższych napięć ogniów, ponadto intensywność samorozładowania i wydzielania się wodoru jest mniejsza. Z drugiej strony wyższe temperatury powodują, że gęstość elektrolitu jest mniejsza, co wpływa na większą pojemność ogniwa. Także poziom elektrolitu zwiększa się i nie ma zagrożenia, iż zbyt niski poziom odsłoni płyty akumulatora. Wykorzystanie tych i podobnych zależności opisanych w niniejszym artykule może pomóc w świadomym postępowaniu w sytuacjach awaryjnych.

Pomimo znacznego rozwoju alternatywnych źródeł zasilania, nadal na okrętach podwodnych głównym elementem systemu elektroenergetycznego są akumulatory kwasowe wymagające troskliwej obsługi załogi, i to od niej zależy poprawność eksploatacji oraz bezpieczeństwo okrętu i ludzi.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Czerwiński A., *Akumulatory, baterie, ogniwa*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005.
- [2] *Instructions for acid lead batteries TGF36*, Manufacturer: Exide Sónnak AS, Norway 2002.
- [3] Januszewski S., Sagan T., Szczucki F., Świątek H., *Eksploatacja urządzeń elektrycznych i energoelektronicznych*, Instytut Technologii Eksploatacji, Radom 1999.
- [4] *Lead Acid Batteries, Training Course – KOB BEN – OCT 2006*, Manufacturer: Sunlight, Greece.
- [5] *Opis techniczny i instrukcja eksploatacji baterii akumulatorów typu 37UR7*, Varta Batterie AG, DMW, Gdynia 1995.
- [6] *Podręcznik elektryka okrętu podwodnego*, DMW, Gdynia 1986.
- [7] *Zasady eksploatacji baterii akumulatorów na okrętach*, MON – DMW, Gdynia 1990.

## ABSTRACT

Density of electrolyte and voltage of cell are operating parameters of acid batteries most often mentioned in literature. However, it is work temperature of cell that has significant effect on magnitudes of these parameters. Operating manuals for batteries TGF 36 and 38UR9 were used to present the effect of electrolyte temperature on processes occurring in batteries used in submarines.

Recenzent dr hab. inż. Bogdan Żak, prof. AMW