

ANALIZA CECH DYNAMICZNYCH OBCIĄŻONEGO AKUMULATORA

Streszczenie

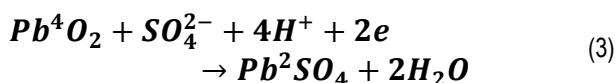
W artykule scharakteryzowano proces powstawania prądu elektrycznego w akumulatorze kwasowym, w którym następuje rozpad cząstek na jony oraz reakcje przebiegające na anodzie i katodzie podczas jego działania. Przedstawiono wyniki badań i tendencje zmian SEM polaryzacji akumulatora w warunkach obciążenia prądowego. Dokonano analizy intensywności jej zmian w funkcji temperatury i natężenia prądu obciążenia podczas wyładowania akumulatora. Porównano wartości stałych czasowych akumulatora obciążonego i po wyłączeniu obciążenia.

WSTĘP

Akumulator ołowiowo-kwasowy stanowią elektrody ołowiowe (Pb i PbO₂) o różnych potencjałach normalnych zanurzone w roztworze wodnym kwasu siarkowego. Różnica potencjałów jest źródłem siły elektromotorycznej akumulatora, a więc czynnikiem powodującym przepływ prądu elektrycznego. Procesy powstawania prądu elektrycznego w akumulatorze kwasowo-ołowiowym poprzedzone są reakcjami chemicznymi związanymi z rozpadem cząstek kwasu na jony. Pod wpływem pola elektrycznego cząsteczki wody powodują rozrywanie cząstek kwasu siarkowego H₂SO₄ na jony wodoru H⁺ oraz reszty kwasowej SO₄²⁻. Rozpad cząstek na jony nosi nazwę *dysocjacji*. Jony otoczone są cząsteczkami wody tworząc tzw. *hydraty*. Reakcję chemiczną opisującą mechanizm powstawania jonów zapisano w postaci wyrażenia (1) [1].



Jeżeli w elektrolicie, którym jest wodny roztwór kwasu siarkowego wytworzone zostanie pole elektryczne poprzez zanurzenie w nim elektrod mających różne potencjały normalne, jony będą się przemieszczać. Jony wodoru dążą wówczas do katody natomiast reszty kwasowej do anody. W związku z tym jony wodoru nazywa się kationami, a reszty kwasowej anionami. Przepływowi prądu w elektrolicie towarzyszą przemiany chemiczne, które dla anody zapisano w postaci wyrażenia (2), a dla katody (3):



Zatem na anodzie następuje proces utleniania ołowiu, a na katodzie jego redukcja. Produkty reakcji osadzają się na elektrodach lub przechodzą do elektrolitu w wyniku tego prąd elektryczny powoduje rozpad chemiczny elektrolitu. Opis ilościowy procesów elektrolizy, zarówno w odniesieniu do masy przetworzonych substancji, jak i ilości uzyskanego ładunku elektrycznego szczegółowo zawierają pierwsze i drugie prawa Faradaya [1].

Ruch jonów w pobliżu płyt zanurzonych w elektrolicie jest jednym z czynników powodujących powstawanie siły elektromotorycznej polaryzacji, w wyniku zmiany gęstości elektrolitu. Znana jest zależność siły elektromotorycznej akumulatora od gęstości elektrolitu. Drugim czynnikiem powodującym powstanie SEM polaryzacji jest wytworzenie się na elektrodach warstwy ładunku. Siła ta przeciwstawia się pobieraniu ładunku elektrycznego z akumulatora obniżając napięcie na jego biegunach w warunkach wyładowania. Zapobiega to przed nadmiernym wyładowaniem akumulatora. Pod-

czas ładowania SEM polaryzacji przeciwstawia się pobieraniu ładunku przez akumulator zwiększając napięcie na jego zaciskach.

Akumulator kwasowo-ołowiowy w warunkach obciążenia prądowego wykazuje więc znaczne cechy dynamiczne, które mogą być interpretowane jako powstawanie SEM polaryzacji lub zmiany rezystancji wewnętrznej. Sposób wyznaczania siły elektromotorycznej polaryzacji oraz cech dynamicznych akumulatora podano w pracy [3]. W pracy [2] scharakteryzowano właściwości dynamiczne akumulatora w stanie po wyłączeniu obciążenia. W warunkach istniejącego obciążenia prądowego akumulatora właściwości dynamiczne są bardziej złożone oraz trudniejszy jest proces ich wyznaczania. Wynika to przede wszystkim z faktu, że po włączeniu obciążenia stan warstwy elektrolitu w pobliżu elektrod ulega ciągłym zmianom, zarówno wskutek trwającego procesu rozładowania, jak też wystąpienia procesów dyfuzji elektrolitu. To powinno spowodować zauważalne spowolnienie zmian siły elektromotorycznej polaryzacji względem stanu akumulatora po wyłączeniu obciążenia.

Poznanie charakteru zmian cech dynamicznych w warunkach obciążenia prądowego pozwoli na analizę jej wpływu na pracę rozrusznika podczas napędzania wału korbowego silnika spalinowego. Dla tego przypadku istnieje potrzeba dodatkowego opisu siły polaryzacji w warunkach zmienności obciążenia.

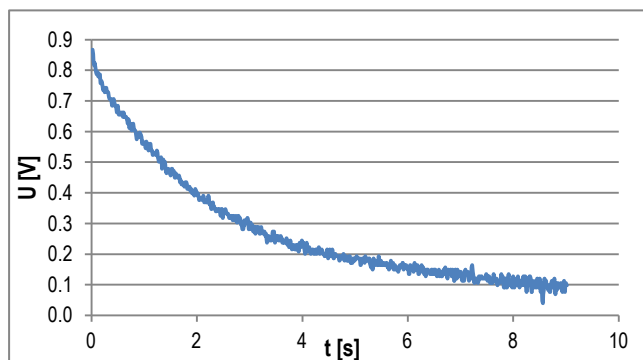
W artykule dokonano analizy zmian siły elektromotorycznej polaryzacji akumulatora przy założeniu obciążenia stałym natężeniem prądu w funkcji temperatury oraz natężenia prądu wyładowania. Jako miarę intensywności zmian przyjęto wartość stałej czasowej.

1. TENDENCJE ZMIAN SEM POLARYZACJI

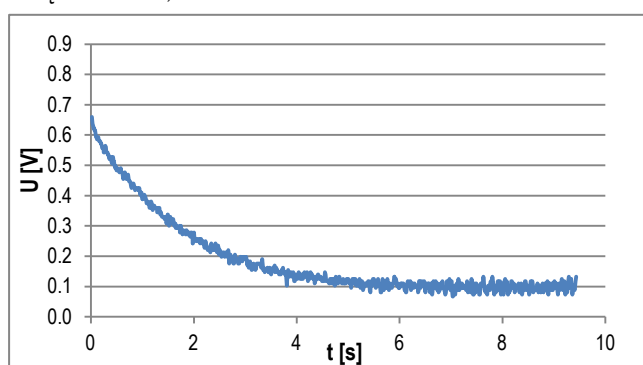
Siła elektromotoryczna polaryzacji powstaje w wyniku przemieszczania się jonów w elektrolicie. W celu określenia jej zmian wykonano badania akumulatora kwasowo-ołowiowego o pojemności 54 Ah przy różnych wartościach temperatury oraz przy zmiennym obciążeniu prądowym. Akumulator umieszczono w komorze klimatycznej, która umożliwiała regulację i utrzymanie stałej, zależnie od założonych warunków badania, wartości temperatury. Do obciążenia akumulatora wykorzystano opornicę rezystorową, która w zależności od połączenia oporników umożliwiała zmianę natężenia prądu obciążenia. Podczas badań rejestrowano natężenie prądu wyładowania oraz odpowiadające mu zmiany napięcia mierzone na zaciskach akumulatora. Przykładowe przebiegi natężenia prądu oraz zmiany napięcia nim wywołane przedstawiono w [2].

Na podstawie zarejestrowanych przebiegów wyodrębniono zależności SEM polaryzacji od czasu dla różnych wartości temperatury badania oraz natężenia prądu wyładowania. Sposób wyznaczania siły elektromotorycznej polaryzacji szczegółowo opisano w pracy [2]. Badania te wykazały, że wartość SEM polaryzacji zmienia się wraz ze zmianą wartości temperatury oraz natężenia prądu obciążenia.

żenia. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono wyodrębnione z przebiegów napięcia podczas obciążania akumulatora, zmiany siły elektromotorycznej polaryzacji w temperaturze $T = -5$ oraz $+10$ °C.

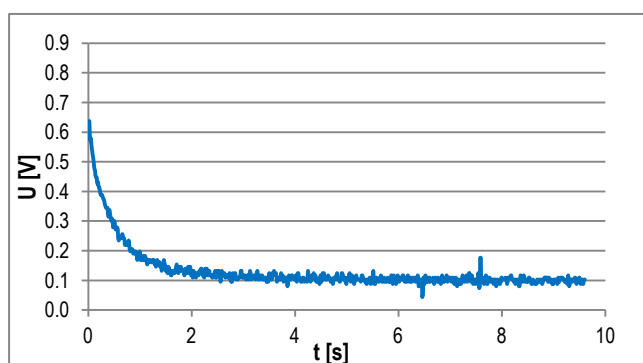


Rys. 1. Przebieg SEM polaryzacji w $T = -5$ °C i natężeniu prądu obciążenia $I = 61,89$ A



Rys. 2. Przebieg SEM polaryzacji w $T = 10$ °C i natężeniu prądu obciążenia $I = 61,89$ A

Jak wynika z rysunków wraz ze wzrostem wartości temperatury maleje wartość siły elektromotorycznej polaryzacji. Temperatura wpływa również na intensywność zmian SEM polaryzacji, co jest związane z zmianą lepkości elektrolitu. Dokładną analizę intensywności zmian SEM polaryzacji w zależności od zmian wartości temperatury przedstawiono w dalszej części opracowania. Ponadto przeprowadzone badania wykazały zależność intensywności zmian SEM polaryzacji od natężenia prądu wyładowania. Zależność tę potwierdzają rysunki 2 oraz 3.



Rys. 3. Przebieg SEM polaryzacji w $T = 10$ °C i natężeniu prądu obciążenia $I = 194,81$ A

Na rysunkach tych przedstawiono przebieg siły elektromotorycznej polaryzacji obserwowanej przy tej samej wartości temperatury dla obu przebiegów a różnej wartości obciążenia prądowego. Na rysunku 2 natężenie prądu obciążenia akumulatora było równe 61,89 A, natomiast podczas rozładowania przedstawionego na

rysunku 3 było równe 194,81 A. Widać na nich wyraźny wzrost intensywności zmian SEM polaryzacji wraz ze wzrostem natężenia prądu obciążenia.

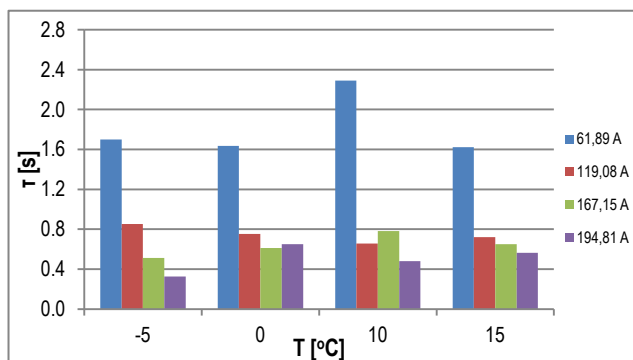
Szybkość zmian siły elektromotorycznej polaryzacji wyrażono za pomocą stałej czasowej. Do jej wyznaczenia wykorzystano wykładniczą funkcję regresji. Wartość stałej czasowej jest więc miarą intensywności zmian SEM polaryzacji. Jeżeli jej wartość rośnie wówczas intensywność zmian siły elektromotorycznej polaryzacji maleje i na odwrót.

Analizie poddano wartość stałej czasowej wyznaczonej dla zmian SEM polaryzacji przy czterech wartościach temperatury obciążając przy tym akumulator czterema wartościami natężenia prądu w każdej temperaturze. Analizę przeprowadzono dla czterech różnych przedziałów czasu począwszy od chwili włączenia obciążenia w celu poznania charakteru zmian składowej szybko- i wolnozmiennnej SEM polaryzacji w warunkach obciążenia prądowego.

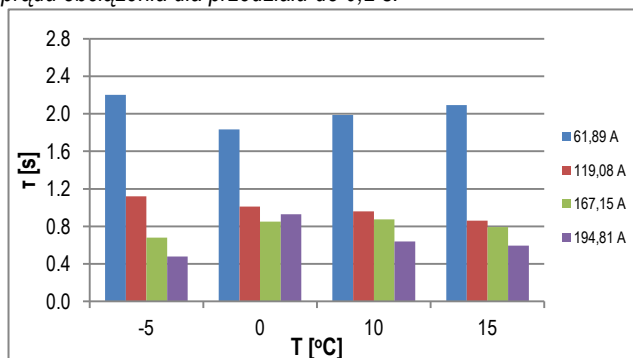
2. ZALEŻNOŚĆ STAŁEJ CZASOWEJ OD TEMPERATURY

Intensywność zmian SEM polaryzacji wzrasta wraz ze wzrostem wartości temperatury. Spowodowane to jest zmniejszaniem się lepkości elektrolitu, przez co wzrasta ruchliwość jonów w elektrolicie oraz prędkość dyfuzji jonów w głąb masy czynnej elektrod. W związku z tym należy spodziewać się spadku wartości stałej czasowej wraz ze wzrostem wartości temperatury.

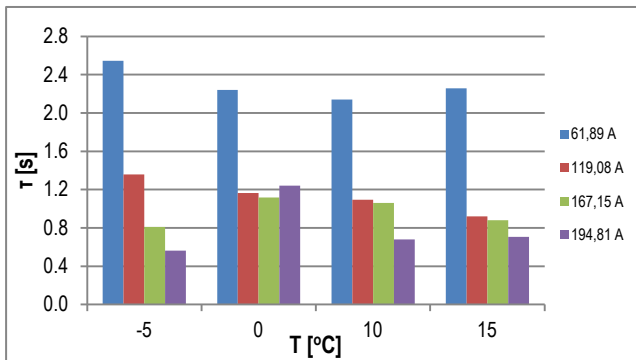
Na rysunkach 4 ÷ 7 pokazano zmiany wartości stałej czasowej w funkcji temperatury elektrolitu. Umieszczono na nich wartości stałej czasowej wyznaczone podczas obciążania akumulatora prądem o różnym natężeniu dla każdej wartości temperatury. Na kolejnych wykresach różne są przedziały czasu, dla którego wyznaczono stałe czasowe w celu wyodrębnienia zmian składowych szybko- i wolnozmiennnej. Podczas analizy wyników badań stwierdzono dużą wrażliwość wyznaczonej wartości stałej czasowej od sposobu wyodrębnienia składowej SEM polaryzacji z przebiegu napięcia obciążonego akumulatora.



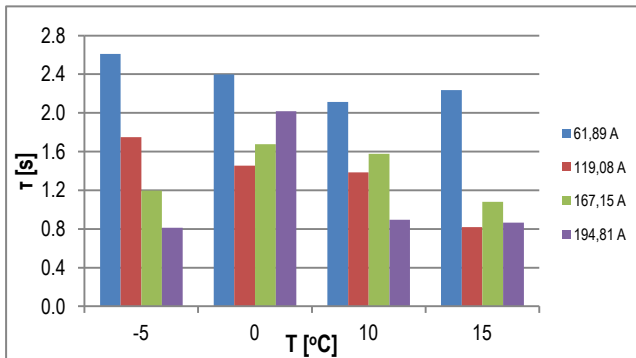
Rys. 4. Stałe czasowe w funkcji temperatury dla różnych wartości prądu obciążenia dla przedziału do 0,2 s.



Rys. 5. Stałe czasowe w funkcji temperatury dla różnych wartości prądu obciążenia dla przedziału czasu do 0,5 s.



Rys. 6. Stałe czasowe w funkcji temperatury dla różnych wartości prądu obciążenia dla przedziału czasu do 1 s.

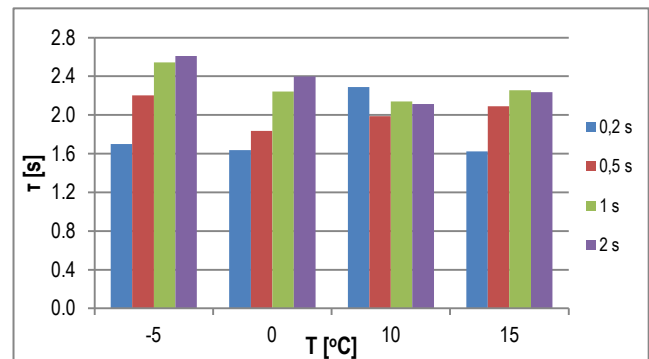


Rys. 7. Stałe czasowe w funkcji temperatury dla różnych wartości prądu obciążenia dla przedziału czasu do 2 s.

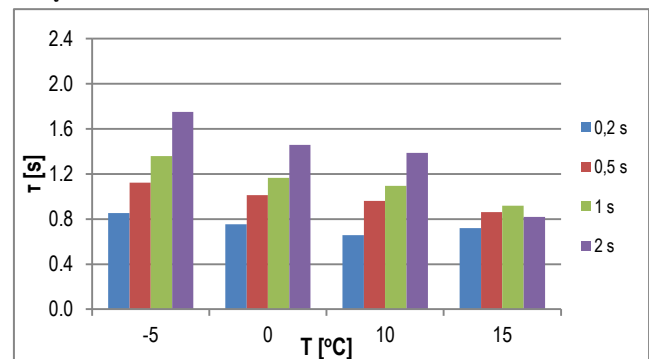
Zmiany stałej czasowej w funkcji temperatury nie są znaczne, stąd niekiedy ich charakter wydaje się nie być regularny. Najmniejsze jej wartości zaobserwowano dla najmniejszego przedziału czasu jej wyznaczania, co wskazuje, że w tym przedziale czasu intensywność zmian SEM polaryzacji jest największa. Ponadto we wszystkich rozpatrywanych wartościach temperatury i niezależnie od przedziału czasu, dla którego przeprowadzano analizę stała czasowa przyjmuje największe wartości dla najmniejszej wartości obciążenia prądowego. Uwidacznia się więc, szczególnie w tym przypadku, związek zmiany wartości stałej czasowej w zależności od natężenia prądu obciążenia realizowanych w stałej temperaturze – wraz ze wzrostem natężenia prądu wyładowania stała czasowa maleje. Obserwowany także nieregularny charakter zmian wartości stałej czasowej i brak związku ze spodziewanym trendem zmian może być spowodowany zarówno tym, że różnice wartości nie są znaczne oraz wspomnianym wyżej sposobem wyodrębniania przebiegów zmian SEM polaryzacji, które posłużyły do wyznaczenia miary intensywności z napięcia obciążonego akumulatora.

Na rysunkach 8 ÷ 11 przedstawiono wartości stałej czasowej w funkcji temperatury dla stałych wartości natężenia prądu wyładowania. Kolejne serie różnią się między sobą przedziałem czasu, dla którego analizowano uzyskane przebiegi. Najmniejsze wartości stała czasowa przyjmuje dla składowej szybkozmiennnej (do 0,2 s), największe natomiast dla składowej wolnozmiennnej. Nieznacznie większe wartości widoczne są dla temperatur ujemnych przy najmniejszych wartościach obciążenia prądowego. Powodem tego jest wzrost lepkości elektrolitu w niskiej temperaturze, przez co intensywność zmian SEM polaryzacji jest mniejsza. Najmniejsze natomiast zaobserwowano dla największego obciążenia prądowego i najmniejszej wartości temperatury. Oznacza to, że w tych warunkach intensywność zmian siły elektromotorycznej polaryzacji jest największa. W tych warunkach największa intensywność zmian SEM polaryzacji jest spowodowana obciążeniem akumulatora prądem o dużej wartości natężenia. Jak wykazano wcześniej i zgodnie

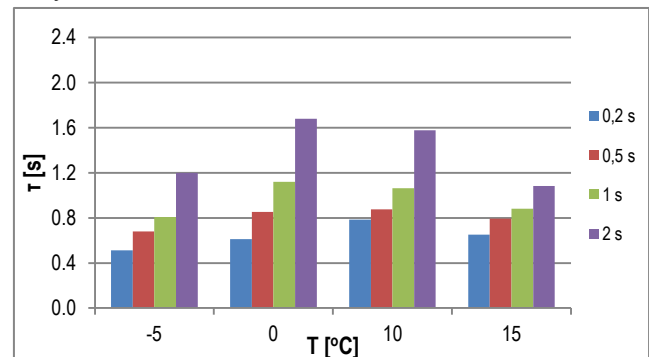
z rysunkiem 3 wyładowanie akumulatora dość dużymi wartościami natężenia prądu powoduje wzrost intensywności zmian SEM polaryzacji.



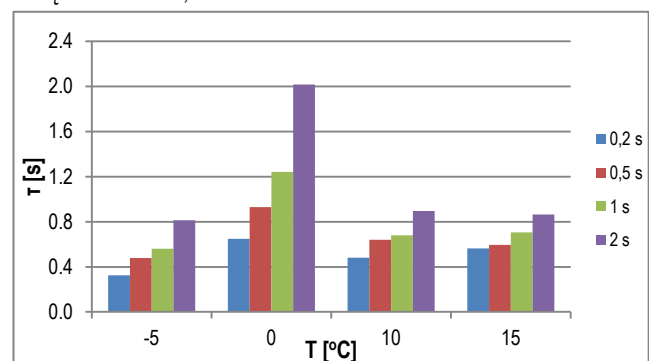
Rys. 8. Stałe czasowe w funkcji temperatury dla natężenia prądu obciążenia $I = 61,89$ A



Rys. 9. Stałe czasowe w funkcji temperatury dla natężenia prądu obciążenia $I = 119,08$ A



Rys. 10. Stałe czasowe w funkcji temperatury dla natężenia prądu obciążenia $I = 167,15$ A

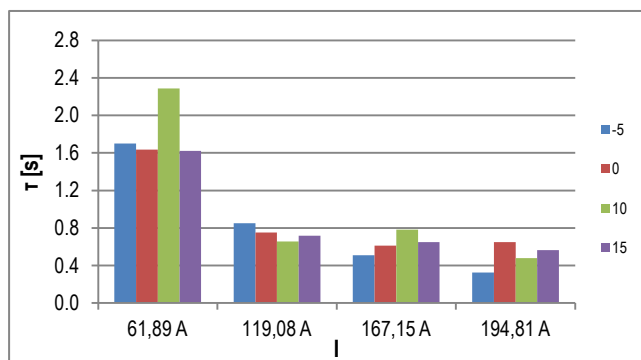


Rys. 11. Stałe czasowe w funkcji temperatury dla natężenia prądu obciążenia $I = 194,81$ A

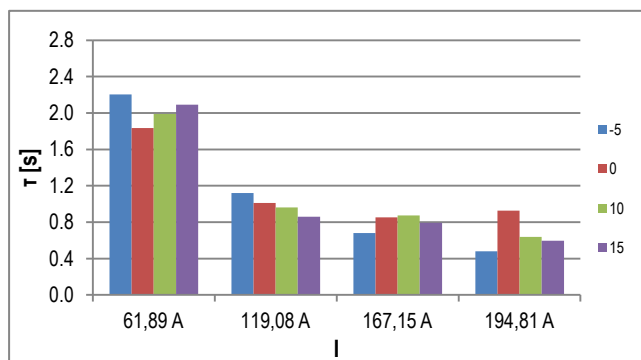
3. ZALEŻNOŚĆ STAŁEJ CZASOWEJ OD NATĘŻENIA PRĄDU OBCIĄŻENIA

Siła elektromotoryczna polaryzacji podczas rozładowania akumulatora zapobiega nadmiernemu jego wyladowaniu wskutek obniżenia napięcia na zaciskach [3], co powoduje ograniczenie poboru ładunku elektrycznego z akumulatora. Intensywność zmian SEM polaryzacji jest zależna od wartości natężenia prądu – im większa jest jego wartość tym intensywność zmian większa. W związku z tym stała czasowa, która jest miarą intensywności cech dynamicznych akumulatora w warunkach dużych wartości natężenia prądu wyladowania będzie przyjmować najmniejsze wartości.

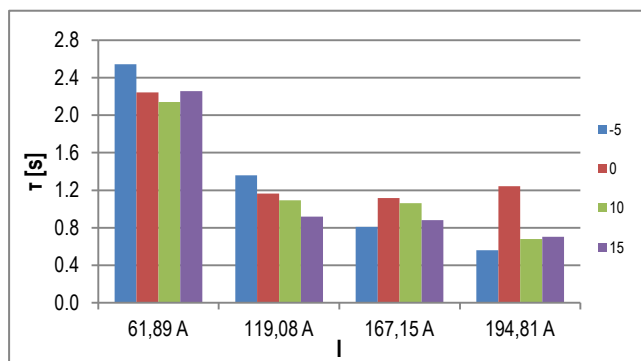
Na rysunkach 12 ÷ 15 przedstawiono zmiany wartości stałej czasowej w funkcji natężenia prądu wyladowania. Serie oznaczone kolorami prezentują dane dla różnych wartości temperatury. Kolejne rysunki przedstawiają zależności dla wzrastających wartości przedziału czasu, w których analizowano wyniki badań.



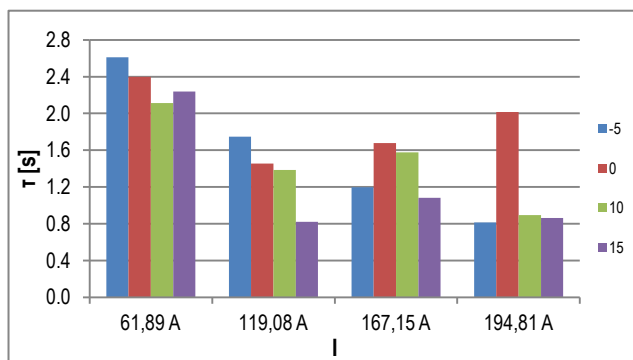
Rys. 12. Stałe czasowe w funkcji natężenia prądu obciążenia dla różnych wartości temperatury dla przedziału czasu do 0,2 s.



Rys. 13. Stałe czasowe w funkcji natężenia prądu obciążenia dla różnych wartości temperatury dla przedziału czasu do 0,5 s.



Rys. 14. Stałe czasowe w funkcji natężenia prądu obciążenia dla różnych wartości temperatury dla przedziału czasu do 1 s.

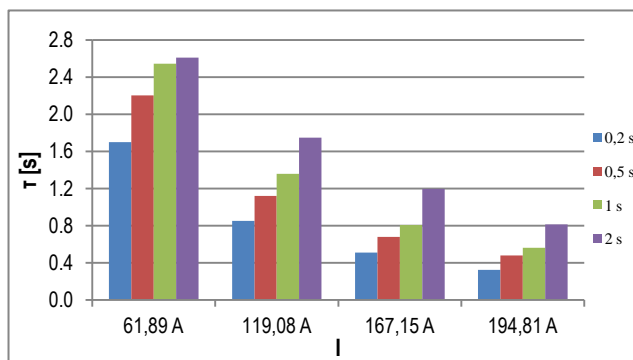


Rys. 15. Stałe czasowe w funkcji natężenia prądu obciążenia dla różnych wartości temperatury dla przedziału czasu do 2 s.

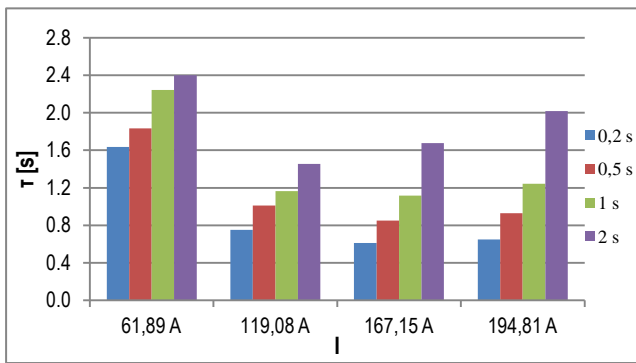
Największe wartości stałej czasowej zaobserwowano dla okresu dominacji składowej wolnozmiennnej SEM polaryzacji, tj. do 2 s. Wartość stałej czasowej jest największa dla najmniejszego obciążenia prądowego (wyjątek stanowi zawyżony wynik dla $I = 194,81$ A, $T = 0$ °C (rysunek 15) – przyczyny błędu nie określono). Największa wartość stałej czasowej dla największego przedziału czasu i najmniejszego obciążenia wskazuje, że intensywność zmian SEM polaryzacji w tym okresie jest najmniejsza. Przyczyną tego może być zmniejszona ilość jonów znajdujących się w obszarze masy czynnej elektrod. W warunkach wyladowania akumulatora dużymi wartościami natężenia prądu redukcji i utlenianiu ulega większa ilość jonów znajdujących się w masie czynnej elektrod. Powoduje to lokalną zmianę stężenia cząstek znajdujących się w elektrolicie wymuszając jednocześnie większą prędkość ich przemieszczania.

Niezależnie od przedziału czasu, dla którego dokonywano analizy, widoczna jest korelacja wartości stałej czasowej z wartością natężenia prądu obciążenia. Potwierdza to wcześniejsze spostrzeżenia dotyczące intensywności zmian SEM polaryzacji wraz ze wzrostem obciążenia prądowego akumulatora. Nieliczne odstępstwa potwierdzają zasadność prowadzenia dalszych badań związanych z charakterem intensywności zmian siły elektromotorycznej polaryzacji w warunkach obciążenia prądowego akumulatora.

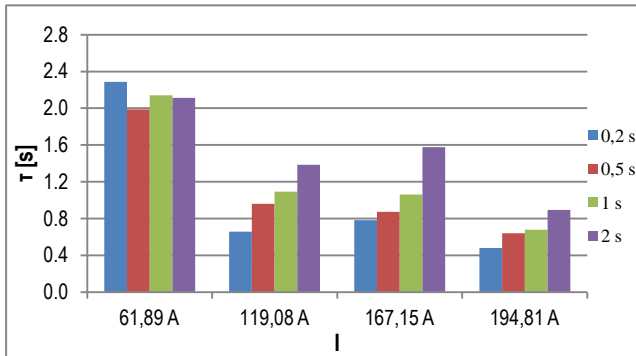
Na rysunkach 16 ÷ 19 przedstawiono zmiany wartości stałej czasowej w funkcji natężenia prądu wyladowania analizowanych przy stałej wartości temperatury. Podobnie jak poprzednio tu również widoczna jest korelacja wartości stałej czasowej i natężenia prądu obciążenia. Zwłaszcza dobrze jest to widoczne dla najmniejszej wartości temperatury. Prawie zawsze stała czasowa największe wartości przyjmuje dla najmniejszych wartości natężenia prądu wyladowania, co świadczy o najmniejszej intensywności zmian SEM polaryzacji w tych warunkach wyladowania. Ponadto największe wartości widoczne są dla najmniejszej wartości temperatury, co dodatkowo może być powodowane wzrostem lepkości elektrolytu.



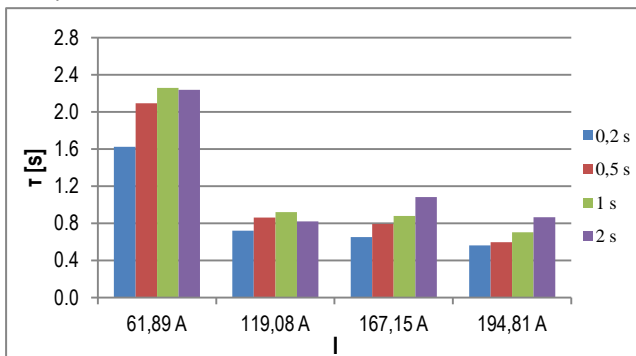
Rys. 16. Stałe czasowe w funkcji natężenia prądu obciążenia w temperaturze -5 °C.



Rys. 17. Stałe czasowe w funkcji natężenia prądu obciążenia w temperaturze 0 °C.



Rys. 18. Stałe czasowe w funkcji natężenia prądu obciążenia w temperaturze 10 °C.



Rys. 19. Stałe czasowe w funkcji natężenia prądu obciążenia w temperaturze 15 °C.

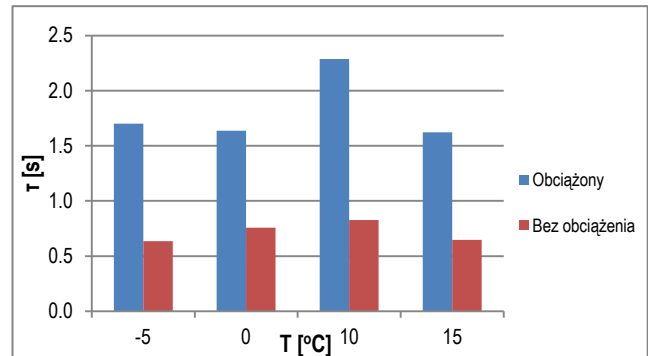
Widoczne jest, że największa intensywność zmian SEM polaryzacji (najmniejsze wartości stałej czasowej) występuje dla największego obciążenia przy ujemnej wartości temperatury. Świadczy to o wpływie lepkości elektrolitu na intensywność zmian. Można zauważyć korelację wartości stałej czasowej z przedziałem czasu, dla którego była wyznaczana. Wynika z tego, że wraz z wzrostem przedziału czasu maleje intensywność zmian SEM polaryzacji.

4. ANALIZA PORÓWNAWCZA STAŁYCH CZASOWYCH OBCIĄŻONEGO AKUMULATORA I PO WYŁĄCZENIU OBCIĄŻENIA

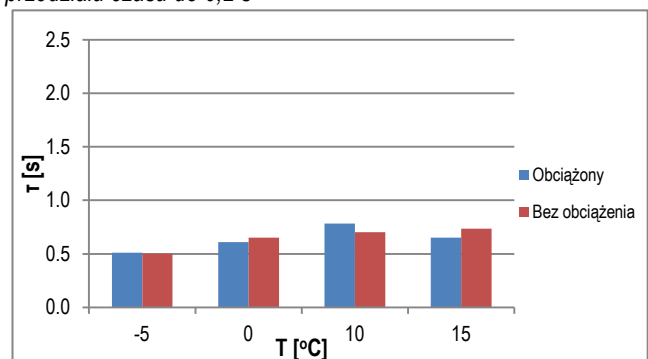
Zarówno temperatura jak i natężenie prądu wyladowania mają istotny wpływ na intensywność zmian SEM polaryzacji. Na rysunkach 20 – 23 przedstawiono wartości stałej czasowej dla akumulatora obciążonego stałą wartością natężenia prądu oraz po wyłączeniu obciążenia. Wykresy prezentują odpowiednio składową szybko- i wolnozmienną dla dwóch wartości natężenia prądu wyladowania.

Widoczne jest, że wartość stałej czasowej dla obciążonego akumulatora jest znacznie większa od wartości wyznaczonej dla okresu po wyłączeniu obciążenia akumulatora dla najmniejszej

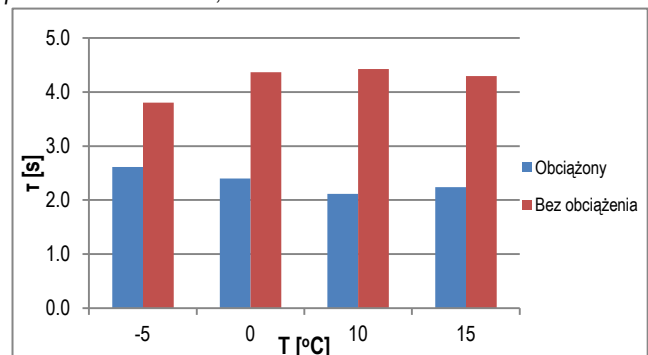
wartości natężenia prądu. W przypadku większej wartości obciążenia prądowego intensywność zmian wzrosła w stosunku do jego mniejszej wartości. Wzrost intensywności zmian SEM polaryzacji dla akumulatora nieobciążonego jest znacznie mniejszy.



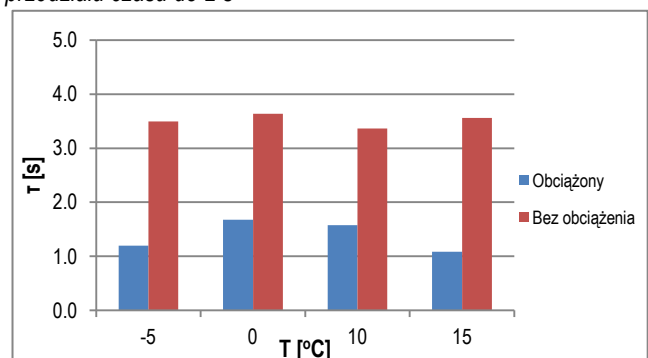
Rys. 20. Stałe czasowe w funkcji temperatury dla I = 61,89 A dla przedziału czasu do 0,2 s



Rys. 21. Stałe czasowe w funkcji temperatury dla I = 167,15 A dla przedziału czasu do 0,2 s



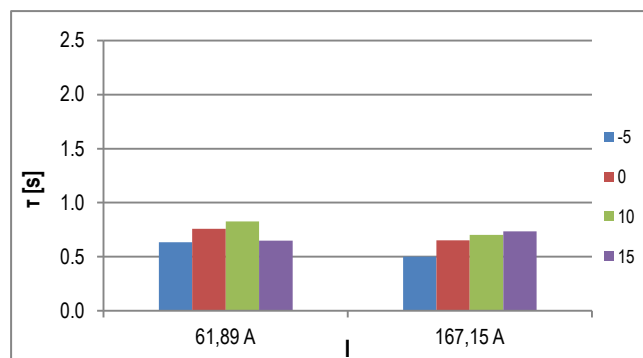
Rys. 22. Stałe czasowe w funkcji temperatury dla I = 61,89 A dla przedziału czasu do 2 s



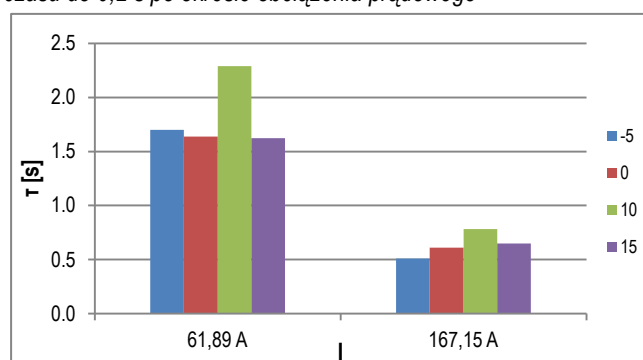
Rys. 23. Stałe czasowe w funkcji temperatury dla I = 167,15 A dla przedziału czasu do 2 s

W przypadku składowej wolnozmiennnej stała czasowa przyjmuje większe wartości dla nieobciążonego akumulatora. Oznacza to, że dla nieobciążonego akumulatora intensywność zmian SEM

polaryzacji będzie mniejsza w porównaniu z akumulatorem obciążonym. Przyczyną tego może być ruch cząstek spowodowany wyładowaniem akumulatora i zmieniająca się w wyniku tego wartością SEM polaryzacji.



Rys. 24. Stałe czasowe w funkcji natężenia prądu w przedziale czasu do 0,2 s po okresie obciążenia prądowego



Rys. 25. Stałe czasowe w funkcji natężenia prądu analizowane w przedziale czasu do 0,2 s w trakcie obciążenia prądowego

Na rysunkach 24 oraz 25 przedstawiono wartość stałej czasowej w funkcji obciążenia prądu wyładowania dla składowych szybkozmiennych SEM polaryzacji. Widoczna jest znacznie większa wartość stałej czasowej dla obciążonego akumulatora natężeniem prądu wyładowania $I = 61,89$ A świadczy o tym, że dla tych warunków intensywność zmian jest mniejsza podczas obciążania akumulatora. Na uwagę zasługuje fakt, że wartość stałej czasowej wyznaczonej dla obciążonego akumulatora jest prawie równa wartości stałej czasowej nieobciążonego akumulatora.

Taki charakter zmian wymaga dalszego prowadzenia badań nad tym zagadnieniem i porównania większej ilości danych w obu przypadkach.

PODSUMOWANIE

Przedstawione wyniki badań wykazały, że w warunkach obciążenia prądowego charakter zmian SEM polaryzacji jest zazwyczaj zgodny z tendencjami stwierdzonymi w warunkach po wyłączeniu obciążenia. Duży wpływ na intensywność zmian SEM polaryzacji ma wartość natężenia prądu obciążenia i procesy zachodzące w akumulatorze związane z jego wyładowaniem. Stwierdzono, że intensywność zmian siły elektromotorycznej polaryzacji jest znacznie większa przy wyładowaniu akumulatora dużymi wartościami natężenia prądu w stosunku do mniejszych wartości w tych samych warunkach temperaturowych.

Analiza otrzymanych wyników wskazuje, że wpływ temperatury na zmiany SEM polaryzacji nie jest znaczny. Nie zauważono tu wyraźnego trendu zmian stałej czasowej siły elektromotorycznej polaryzacji w zależności od temperatury. Jako jedną z przyczyn takiego stanu można upatrywać łączne występowanie procesów

tworzenia (obciążenie prądowe) i zaniku (dyfuzja jonów w elektrolicie) siły elektromotorycznej polaryzacji w tym przypadku.

Konieczna staje się dalsza analiza charakteru i intensywności zmian SEM polaryzacji ze względu na jej wpływ na prędkość obrotową wału korbowego uzyskiwaną podczas napędzania przez rozrusznik elektryczny.

BIBLIOGRAFIA

1. A. W. Astachow, Ju. M. Szirokow: Kurs fizyki. Pole elektromagnetyczne. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 1990.
2. G. Dyga, J. Pszczółkowski: Stała czasowa, jako miara cech dynamicznych akumulatora kwasowego. TTS 12/2015
3. J. Pszczółkowski Opis cech dynamicznych akumulatora kwasowego. PTNSS – 2009 – SC – 106.

ANALYSIS OF THE LOADED BATTERY DYNAMIC CHARACTERISTICS

Abstract

The article describes the process of creating an electric current in the acid battery by disintegration of particles on ions, the reaction proceeding at the anode and the cathode during operation. The results of research and trends of the electromotive force of the battery polarity under current load conditions are presented. The analysis of its changes intensity as a function of temperature and load current during battery discharge is made. There are compared of constant times of the loaded battery and after load switching.

Autorzy:

mgr inż. **Grzegorz Dyga** - Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego, Wydział Mechaniczny: 00-908 Warszawa: ul. Gen. S. Kaliskiego 2. Tel 261 837 102, email: grzegorz.dyga@wat.edu.pl

dr hab. inż. **Józef Pszczółkowski**, prof. WAT - Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego, Wydział Mechaniczny: 00-908 Warszawa: ul. Gen. S. Kaliskiego 2. Tel 261 837 206, email: jozef.pszczolkowski@wat.edu.pl