

Damian BURZYŃSKI\*, Damian GŁUCHY\*, Maksymilian GODEK

## WPLYW TEMPERATURY NA PARAMETRY PROCESU ŁADOWANIA Z WYKORZYSTANIEM TECHNOLOGII QUICK CHARGE ORAZ TRWAŁOŚĆ OGNIW LITOWO-JONOWYCH

W pracy podjęto tematykę wpływu temperatury na parametry procesu ładowania i trwałość ogniw litowo-jonowych ładowanych z wykorzystaniem technologii Quick Charge. Opisano stosowane obecnie techniki szybkiego ładowania oraz procesy starzeniowe zachodzące w ogniwach litowo-jonowych. Przeprowadzono pomiary parametrów ogniwa w trakcie procesu ładowania dla dwóch różnych temperatur. W pracy przedstawiono również wnioski dotyczące przeprowadzonych badań.

SŁOWA KLUCZOWE: ogniwa litowo-jonowe, Quick Charge, urządzenia mobilne.

### 1. WPROWADZENIE

W ostatnich latach dostrzegalny jest stały wzrost zapotrzebowania na urządzenia mobilne takie jak smartfony lub tablety. Wynika on z rosnących możliwości układów mobilnych, przejawiających się w szybkości działania aplikacji, a także wykorzystaniu najnowszych podzespołów elektronicznych. W urządzeniach mobilnych implementowane są matryce światłoczułe i wyświetlacze o coraz większej rozdzielczości. Obok układów typu GPS, Wi-Fi czy Bluetooth pojawiają się nowe rozwiązania, jak czytniki linii papilarnych czy układy ładowania bezprzewodowego. Stosowanie wszystkich tych rozwiązań wiąże się ze zwiększonym poborem energii elektrycznej, a tym samym ze skróconym czasem pracy na baterii przy pełnym jej naładowaniu.

W obszarze ogniw elektrochemicznych rozwój jest znacznie wolniejszy niż w przypadku innych elementów tworzących urządzenia mobilne. Najczęściej stosowane są ogniwa litowo-jonowe oraz litowo-polimerowe. O ile kolejne generacje procesorów nierzadko zwiększają osiągi o ponad 50% w stosunku do swoich poprzedników, o tyle rozwój technologii ogniw jest proporcjonalny do wzrostu zapotrzebowania na energię, co przekłada się na możliwość użytkowania smartfona przez około jeden dzień.

---

\* Politechnika Poznańska

W związku z umiarkowanym postępem technologii dotyczących ogniw producenci urządzeń mobilnych starają się w różny sposób zrekompensować brak znaczącego rozwoju w tej dziedzinie. Najczęstszym obecnie spotykanym zabiegiem jest odpowiednia optymalizacja oprogramowania mająca na celu zmniejszenie zużycia energii. Rozwiązanie to wspierane jest przez stosowanie akumulatora o większej pojemności, co zawsze wiąże się ze wzrostem wagi i wymiarów urządzenia. Znacznie rzadziej producenci decydują się na umożliwienie pracy na dwóch bateriach z ich cykliczną wymianą. Rozwiązanie to jest wykonywane marginalnie z uwagi na brak praktyczności i wymaga ingerowania w fizyczne elementy urządzenia.

Najnowszym sposobem radzenia sobie z niedoborami energii w urządzeniach mobilnych jest szybkie ładowanie baterii. Technologia ta ma na celu skrócenie czasu potrzebnego do naładowania akumulatora, co relatywnie pozwala na dłuższe działanie urządzenia.

## **2. TECHNOLOGIE SZYBKIEGO ŁADOWANIA URZĄDZEŃ MOBILNYCH**

Na przełomie ostatnich lat producenci urządzeń mobilnych, w celu zwiększenia atrakcyjności swoich produktów, wzbogacili je między innymi o technologię oferującą możliwość szybszego, w porównaniu do rozwiązań standardowych, ładowania baterii. Technologie te wymagają fizycznej implementacji zarówno po stronie ładowarek, jak i urządzeń mobilnych czy też magazynów energii typu "power bank". Najczęściej realizacja takiego rozwiązania wymaga zastosowania odpowiedniego układu elektronicznego, pozwalającego na komunikację między elementem zasilającym a zasilanym, wspartego przez zmodyfikowaną infrastrukturę, umożliwiającą pracę przy podwyższonych wartościach prądu i napięcia.

W celu dostarczenia do urządzeń większej ilości energii producenci stosują ładowania oparte na jednym z dwóch dostępnych na rynku rozwiązań. Pierwsza metoda zakłada zwiększanie wartości prądu jakim ładowane jest urządzenie. Przykładem implementacji takiej metody jest smartfon OnePlus 5T [1]. Drugie rozwiązanie bazujące na jednoczesnej skorelowanej modyfikacji napięcia i prądu na wyjściu ładowarki, czego przykładem może być smartfon Sony Xperia XA1 Ultra [2]. Stosowanie wyżej wymienionych metod wymaga od producentów pełnego nadzoru układu elektronicznego poprzez odpowiednią modyfikację jądra systemu operacyjnego tak, aby cały układ zapewniał optymalną wydajność z punktu widzenia trwałości elementów oraz efektywności wynikającej z użytej technologii.

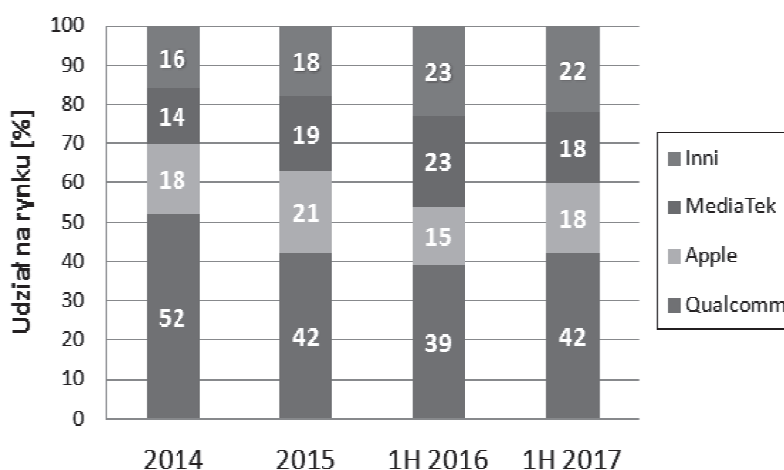
Historycznie, wymienione wcześniej technologie szybkiego ładowania, zapoczątkowały układy zwiększające tylko wartość prądu. W miarę prowadzonych

badania część firm zamiast korzystać ze stałego napięcia ładowania, na poziomie 5 V lub 9 V, korzysta obecnie z układów pozwalających odbiornikowi na komunikację ze źródłem, by dostosować napięcie w danym zakresie np. 6-12 V z przyrostami rzędu 0,2 V lub 0,5 V [3].

Stosowanie szybkiego ładowania obarczone jest ograniczeniem trwałości baterii wynikającym przede wszystkim z podwyższonej temperatury urządzenia podczas ładowania. Obciążenie odbiornika większą mocą wiąże się z większymi stratami w postaci ciepła. Sprawności omawianych układów według producentów sięgają z reguły 85-95% [3]. W związku z tym, poszczególni producenci korzystają z różnych metod na zapewnienie jak najlepszych parametrów swoim ładowarkom i odbiornikom. Wśród nich można wyróżnić technologie takie jak:

- *Dash Charge*, stosowana przez firmę OnePlus i opierająca się na zwiększeniu prądu ładowania do 4 A przy standardowym napięciu 5 V [1],
- *PumpExpress+*, wprowadzona przez firmę MediaTek i polegająca na ładowaniu z wykorzystaniem 5 V lub 9 V przy prądzie 2 A [3],
- *turboPower*, stosowana przez firmę Motorola i oferująca ładowanie przy napięciach: 12 V lub 9 V oraz prądach: 1,2 A lub 1,67 A [5],
- *Quick Charge*, technologia zaprezentowana przez koncern Qualcomm, zawierająca możliwość swobodnego sterowania napięciem, jak i prądem przez kernel (jądro systemu operacyjnego) w bardzo szerokim zakresie w zależności od wersji [6].

Obecnie na rynku technologia Quick Charge jest jedną z najbardziej powszechnych. Wynika to z dominacji podzespołów firmy Qualcomm stosowanych w urządzeniach mobilnych, głównie smartfonach (rys. 1).



Rys. 1. Udział najpopularniejszych dostawców SoC (ang. System-on-a-chip) na rynku światowym w poszczególnych latach [9]

### 3. TECHNIKA ŁADOWANIA QUICK CHARGE™

Omawiana technologia została opracowana oraz wprowadzona przez firmę Qualcomm pod koniec 2012 roku. Jako pierwsze w swoich produktach wykorzystywały ją Sony, Xiaomi oraz HTC, co wynikało bezpośrednio z wcześniejszego stosowania podzespołów SoC tej firmy [7]. Tym samym technologia ta jest rozwijana i promowana przez rosnącą grupę firm współpracujących z Qualcomm w tej dziedzinie. Stanowi ona jedno z ważnych rozwiązań dla przyszłości rynku urządzeń mobilnych. Obecnie technologia Quick Charge wymaga zastosowania odpowiednich modułów w zasilaczach i odbiornikach, które ze sobą ściśle współpracują. Jednocześnie może być ona wykorzystywana przez podmioty trzecie: Qualcomm udostępnia swoje rozwiązania innym producentom wspierając ich na etapie implementacji technologii i wydając odpowiednie certyfikowane poświadczenie o zgodności z normami ich technologii [7]. Istotną cechą zasilaczy i ładowarek wyposażonych w omawiane podzespoły jest ich neutralność wobec urządzeń nie obsługujących Quick Charge, zachowując się jednocześnie jak ładowarki konwencjonalne.

Pierwsza wersja nowej technologii została nazwana Quick Charge 1.0, a opierała się ona jedynie na zwiększeniu prądu ładowania do 2 A przy standardowym napięciu 5 V. Według Qualcomm, pozwalało to na zmniejszenie czasu ładowania o 40% [7]. Co istotne, nie wymagało to użycia ładowarki wyposażonej w tę samą technologię, a jedynie zasilacza o odpowiedniej wydajności prądowej. Algorytm sterowania ładowaniem zaimplementowany był jedynie w urządzeniu odbiorczym. W późniejszym czasie wersja ta nie była już wspierana i stosowana w nowych urządzeniach.

W roku 2014 powstała wersja 2.0 wymagająca stosowania technologii zarówno w odbiorniku jak i w źródle, z uwagi na możliwość zmiany zarówno wartości prądu oraz napięcia ładowania. Ten rodzaj technologii Quick Charge dzieli się na dwie klasy: A oraz B, przy czym klasa A dotyczy urządzeń mobilnych. Według producenta nowa wersja dla klasy A miała zapewnić ładowanie do 75% szybsze od ładowania tradycyjnego [7], pozwalając przekazywać moc sięgającą 18 W. Osiągnięto to przez zwiększenie dopuszczalnego prądu ładowania do 3 A, oraz możliwość określenia napięcia dla trzech różnych wartości: 5/9/12 V [6].

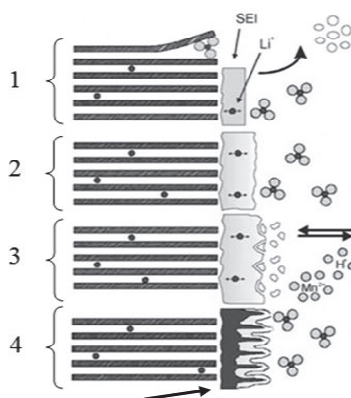
Quick Charge w wersji 3.0 jest efektem dalszej ewolucji technologii i na dzień dzisiejszy jest najbardziej rozpowszechniony. Podczas gdy maksymalna chwilowa moc, jaką jest w stanie dostarczyć ładowarka do odbiornika, nie zmieniła się, modyfikacji uległ algorytm ładowania, co poprawiło wydajność ładowania, a tym samym ilość docierającej energii. Moduły zasilające 3.0 wykorzystują technologię zwaną INOV (ang. Intelligent Negotiation for Optimal Voltage) [7]. Algorytm sterowania, w zależności od otaczających warunków,

koryguje ilość przesłanej energii poprzez zmianę napięcia w szerokim zakresie 3,2-20 V z krokiem 0,2 V wraz z odpowiednim dostosowaniem wartości prądu [7]. Zmiana parametrów ładowania odbywa się w czasie rzeczywistym, a odbiornik, jak i źródło zasilania pozostają w ciągłej komunikacji ze sobą, co tworzy trzon ładowania adaptacyjnego. Płynna zmiana napięcia i prądu pozwala na lepsze dopasowanie mocy dla danego odbiornika. Zwiększa to trwałość takiego układu i zmniejsza straty ciepłne. Według Qualcomm, straty są do 38% mniejsze [7]. Quick Charge w wersji 3.0 (jak i 2.0) jest kompatybilna z wcześniejszymi wersjami standardu.

Pod koniec roku 2016 została wprowadzona wersja 4.0 standardu Quick Charge, obsługująca USB PD (ang. Power Delivery - technologia rozszerzająca funkcje portów USB [8]) oraz Dual Charge (technologii umożliwiającej wykorzystanie i współpracę dwóch układów scalonych kontrolujących dopływ energii w celu zwiększenia wydajności [7]). W porównaniu z 3.0, ta wersja według Qualcomm pozwala na ładowanie do 20% szybsze lub do 30% bardziej wydajne, a także powoduje mniejsze nagrzewanie się urządzeń [7].

#### 4. TRWAŁOŚĆ OGNIW LITOWO-JONOWYCH

Użytkowanie ogniw litowo-jonowych prowadzi nieuchronnie do zaniku ich pojemności użytecznej. Proces zaniku pojemności zachodzi również, gdy z ogniwa nie jest pobierana moc – na skutek głębokiego samorozładowania. Źródłem zaniku pojemności oraz wzrostu rezystancji wewnętrznej ogniwa są procesy starzeniowe zachodzące w szczególności w obszarach styku faz obu elektrod i elektrolitu, jak również w samym elektrolicie [11-13]. Zmiany zachodzące w obszarze anody/katody i elektrolitu na skutek procesów starzeniowych przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Zmiany w obszarze styku faz elektroda-elektrolit na skutek procesów starzeniowych, gdzie 1,2,3,4 to kolejne etapy tego procesu[13]

Jednym z dominujących procesów starzeniowych jest tworzenie warstwy stałej SEI (ang. solid electrolyte interface) na powierzchni elektrod (obszar 1 na rys. 2). Składa się ona z wielu związków chemicznych – w większości z cząstek tlenu, węgla oraz litu. Wraz z czasem eksploatacji ogniwa warstwa się powiększa i rozpuszcza w elektrolicie, co prowadzi do zmniejszenia się czynnej powierzchni elektrody, zdolnej do pochłaniania jonów litu (obszary 2 i 3). Proces ten jest szczególnie widoczny w końcowej fazie ładowania ogniwa, w której gęstość zgromadzonych cząstek litu jest znacznie mniejsza w stosunku do początkowej fazy użytkowania ogniwa. Na zanik pojemności wpływają także defekty mechaniczne struktury porowatej elektrody, takie jak m.in. złuszczenie grafitu (obszar 1), prowadzące do zmniejszenia czynnej powierzchni elektrody (zdolnej do wymiany ładunku). Do kluczowych procesów starzeniowych zalicza się także osadzanie cząstek litu na powierzchni elektrody na stałe (obszar 4). Przebieg tego procesu zależny jest przede wszystkim od warunków pracy ogniwa – temperatury otoczenia, wartości prądów obciążenia/ładowania oraz końcowych wartości napięć rozładowania/ładowania. Ze względu na występowanie zjawiska utleniania na elektrodach należy również uwzględnić proces ich korozji. Procesy starzeniowe zachodzą także w samym elektrolicie, a najważniejsze z nich to dekompozycja chemiczna, ubytek i stratyfikacja elektrolitu [12-13].

Modelowanie procesu zużycia się ogniw litowo-jonowych jest szczególnie trudne, ze względu na konieczność uwzględnienia wyżej wymienionych procesów starzeniowych [11,13]. Co więcej procesy te zachodzą w tym samym czasie, dlatego nie mogą być rozpatrywane oddzielnie, a szybkość ich postępowania jest zależna od kilkunastu czynników związanych z eksploatacją ogniwa. W większości analiz uwzględnia się czynniki mające decydujący udział w procesie zaniku pojemności, czyli: temperaturę otoczenia, aktualny stan zużycia ogniwa oraz parametry pracy cyklicznej (wartości prądów obciążenia/ładowania oraz poziomy ładowania/rozładowania ogniwa). Kolejnym aspektem jest uwzględnienie zaniku pojemności na skutek samorozładowania ogniwa. W przypadku ogniw elektrochemicznych proces ten ma tym większy wpływ na pojemność, im wyższe są temperatura (w której ogniwo jest przechowywane) oraz stan naładowania ogniwa.

## **5. BADANIE OGNIWA LITOWO-JONOWEGO PODCZAS PROCESU ŁADOWANIA W TECHNOLOGII QUICK CHARGE**

### **5.1 Procedura badawcza**

Do badania wykorzystany został smartfon Sony Xperia X Compact. Wykorzystano w nim technologię Quick Charge w wersji 2.0, a także QNOVO. Technologia QNOVO implementowana jest w urządzeniach mobilnych i służy

ona wydłużeniu życia baterii dzięki zachowaniu równowagi pomiędzy optymalną prędkością ładowania stałoprądowego i stałonapięciowego [10]. Badane urządzenie posiada wbudowaną baterię o parametrach przedstawionych w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry badanego ogniwa [4].

Producent	Sony
Numer modelu	US395292H5
Typ baterii	Litowo-jonowa (typu "pouch")
Napięcie znamionowe	3,8 V
Pojemność znamionowa	2700 mAh
Maksymalne napięcie ładowania	4,45 V
Maksymalny prąd ładowania	2790 mA

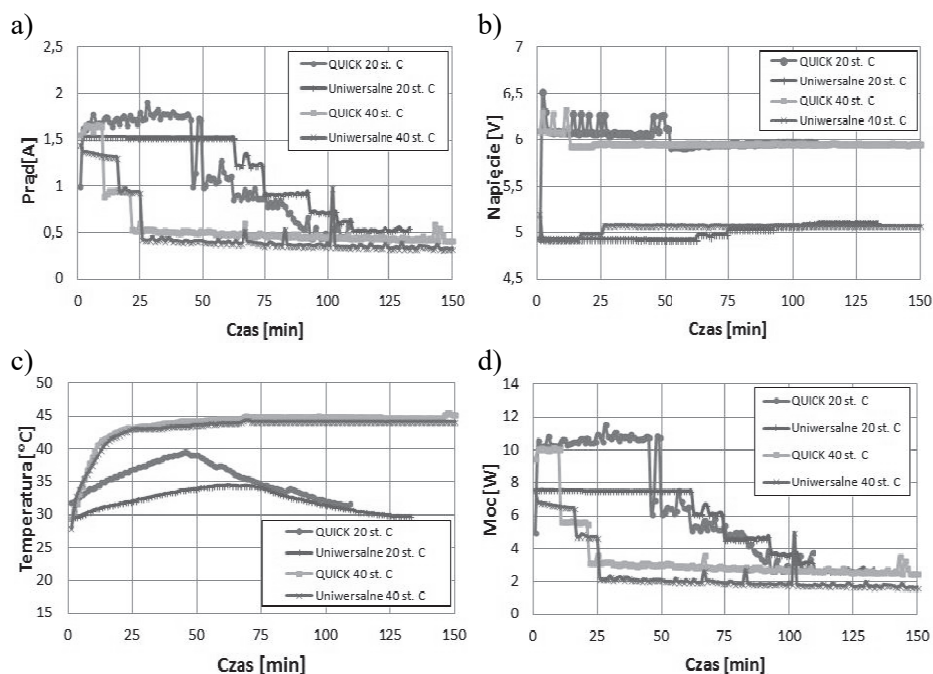
Badany smartfon był rozładowywany do poziomu 5% (pomiar wykonany przez system operacyjny). Po każdym rozładowaniu smartfon był ładowany do poziomu 95% całkowitej pojemności baterii. W badaniach pominięto spadek pojemności baterii wynikający z jej dotychczasowego użytkowania. Procesy ładowania baterii wykonywane były z wykorzystaniem dwóch typów ładowarek: uniwersalnej sieciowej oraz Quick Charge i były powtórzone w dwóch temperaturach. Realizowane warianty badań zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2: Warianty przeprowadzonych badań.

Wariant badań	Parametry wyjściowe ładowarki	Temperatura otoczenia
1	Uniwersalna: 5 V / max. 2.4 A	20°C
2	Quick Charge: 3,2-20 V / 3 A; wersja 3.0 (kompatybilna wstecz)	20°C
3	Uniwersalna: 5 V / max. 2.4 A	40°C
4	Quick Charge: 3,2-20 V / 3 A; wersja 3.0 (kompatybilna wstecz)	40°C

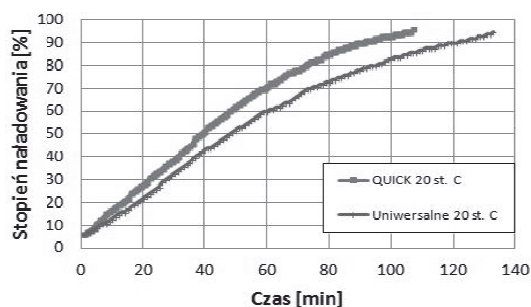
## 5.2 Wyniki badań

Wartości zmierzonych napięć oraz prądów w trakcie procesu ładowania przedstawiono na rys. 3a oraz 3b. Na podstawie tych wartości wyznaczona została moc chwilowa ładowania – rys. 3d. Natomiast na rys. 3c przedstawiono przebieg temperatury ogniwa.



Rys. 3. Charakterystyki parametrów procesu ładowania w funkcji czasu ogniwa litowo-jonowego: prądu (a), napięcia (b), temperatury ogniwa (c) oraz mocy (d)

Charakterystyki stanu naładowania dla ładowania standardowego oraz ładowania w technologii Quick Charge 2.0 przedstawiono na rys. 4.

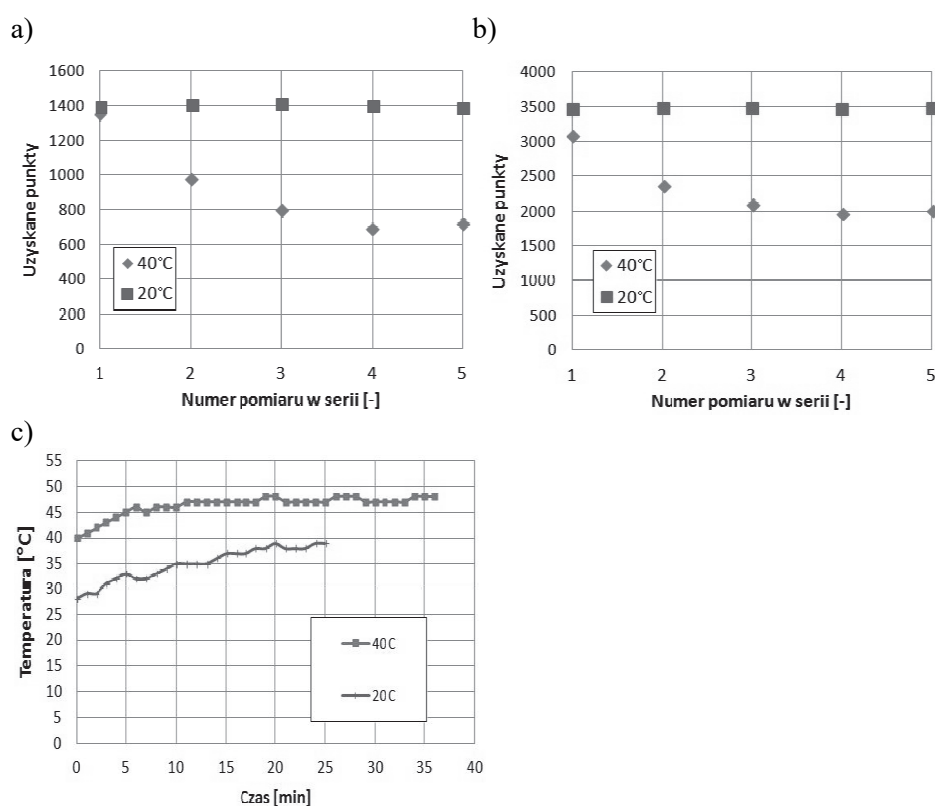


Rys. 4. Charakterystyki stanu naładowania ogniwa w funkcji czasu ładowania

Przeprowadzono badania reakcji systemu na podwyższonej temperaturze. W tym celu wykonano dwie serie badań porównawczych, w temperaturach otoczenia odpowiednio 20°C oraz 40°C. Seria pomiarowa polegała na wykonaniu pięciu testów bez przerwy czasowej.



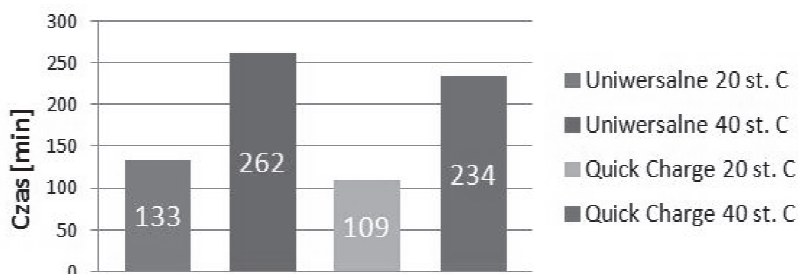
Badanie porównawcze polegało na przetestowaniu maksymalnej mocy obliczeniowej procesora. W rezultacie program przeprowadzający test zwracał wynik pomiaru w postaci punktów dla jednego oraz wielu rdzeni na podstawie stosownych prób, przez które przechodził procesor. Im więcej uzyskanych punktów, tym większa moc obliczeniowa urządzenia. W trakcie testów smartfon monitorował również temperaturę baterii. Otrzymane wyniki zostały zaprezentowane na rysunku 5.



Rys. 5. Badanie porównawcze mocy obliczeniowej procesora

- punkty uzyskane przez test jednego rdzenia w dwóch różnych temperaturach otoczenia;
- punkty uzyskane przez test wielu rdzeni w dwóch różnych temperaturach otoczenia;
- temperatura baterii w poszczególnych seriach pomiarowych

W badaniach zarejestrowano również czas ładowania w poszczególnych wariantach pomiarowych, co przedstawiono na rysunku 6. Najdłużej przebiegało ładowanie w temperaturze otoczenia równej 40°C metodą konwencjonalną.



Rys. 6. Czas ładowania dla poszczególnych wariantów badania

## 6. PODSUMOWANIE

W pracy omówiona została technologia Quick Charge oraz jej wpływ na temperaturę i trwałość baterii. Przeprowadzone badania pozwoliły określić wpływ temperatury na parametry ładowania. Decydującymi czynnikami wpływającymi bezpośrednio na zużycie baterii są: napięcie ładowania, prąd ładowania oraz temperatura towarzysząca temu procesowi.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów oraz danych dotyczących badanego urządzenia możliwe było określenie szybkości, z jaką bateria była ładowana w każdym z wariantów. W wariancie pierwszym oraz drugim średnia szybkość ładowania wyniosła odpowiednio: 0,68 %/min oraz 0,83 %/min. W pozostałych dwóch wariantach to odpowiednio 0,34 %/min i 0,38 %/min. Czas ładowania w temperaturze 40°C był znacznie dłuższy, niż przy ładowaniu w temperaturze 20°C, zarówno przy ładowaniu z użyciem Quick Charge, jak i bez.

Podczas każdej z prób ładowania urządzenia nastąpił wzrost temperatury jego baterii. W przypadku użycia technologii Quick Charge, wzrost temperatury był większy – temperatura wzrosła o 14,6°C oraz o 19,5°C w stosunku do temperatury otoczenia równej 20°C odpowiednio w wariancie pierwszym i drugim badań. W temperaturze 40°C przyrosty wyniosły odpowiednio 4,6°C w wariancie trzecim oraz 5,5°C w wariancie czwartym. Biorąc pod uwagę temperaturę, w jakiej odbywało się ładowanie oraz maksymalną odnotowaną temperaturę baterii, można wyznaczyć jej przyrost dla poszczególnych wariantów względem siebie. W przypadku ładowania standardowego w temperaturze 20°C temperatura baterii wzrosła o 4,9°C w porównaniu z ładowaniem z wykorzystaniem technologii Quick Charge (rys. 3c). W przypadku prób w 40°C różnica ta nie przekroczyła 1°C. Ograniczenie emisji ciepła osiągnięto przez zmniejszenie mocy pobieranej przez smartfon, co bezpośrednio przekłada się na wydłużenie czasu ładowania.

Technologią, w jaką został wyposażony badany smartfon zgodnie z danymi producenta jest Quick Charge 2.0. Badania jednak wskazują jednoznacznie, iż

telefon ten obsługuje technologię Quick Charge w wersji 3.0 – co można wnioskować po wartościach napięć, jakie zostały zmierzone podczas pomiarów laboratoryjnych. Poziomy napięć nie tylko wykluczają wersję 2.0, lecz także krok 0,2 V potwierdza, że obecna w smartfonie jest wersja 3.0. Napięcie było odpowiednio dostosowywane przez badane urządzenie – układ elektroniczny w nim zamieszczony sprowadzał napięcie do wartości niegroźnej dla baterii (niezależnie od napięcia na wyjściu ładowarki).

Wyniki badań porównawczych jednoznacznie wskazują, że wraz ze wzrostem temperatury obniża się moc obliczeniowa procesora. Oznacza to, że podczas korzystania z urządzenia, gdy jego temperatura przekracza wyznaczony próg nie zagraża mu dalsze nadmierne nagrzewanie się komponentów. Również podczas ładowania, gdy jednocześnie urządzenie jest używane, ograniczone zostają pobierana moc oraz wydajność urządzenia celem zapobieżenia wzrostowi temperatury. Wstrzymanie wzrostu temperatury jest widoczne na rysunku 5c.

Technologie szybkiego ładowania negatywnie wpływają na zużycie baterii – wynika to bezpośrednio z wyższej wartości prądu ładowania jak i podwyższonej temperatury baterii w porównaniu do ładowania standardowego. Technika ładowania Quick Charge ma na celu ograniczenie tych negatywnych skutków, poprzez optymalizację zużycia i szybkości ładowania baterii.

Dostarczana energia do urządzenia podlega zmniejszeniu w dwóch przypadkach: w wyniku podwyższonej temperatury baterii (po przekroczeniu progu 40°C, rys. 3c, 3d) lub po osiągnięciu określonego stopnia naładowania (pierwsze spowolnienie następuje przy 60%, rys 3d, rys. 4). Standard Quick Charge ogranicza możliwość osiągnięcia przez baterię zbyt wysokich temperatur, które mogłyby stanowić przyczynę awarii, a nawet eksplozji baterii. Mimo wzrostu temperatury i spowolnienia ładowania technologia ta nadal przesyła urządzeniu więcej energii niż w sytuacji ładowania konwencjonalnego - spełniając tym samym swoją ideę. Swobodna regulacja napięcia oraz prądu na wyjściu ładowarki w czasie rzeczywistym pozwala na dokładniejsze dopasowanie się do warunków ładowania.

## LITERATURA

- [1] Specyfikacja smartfona OnePlus 5T, <https://oneplus.net/pl/5t> (access: 17.01.2018).
- [2] Specyfikacja smartfona Xperia XA1 Ultra, <https://www.sonymobile.com/pl/products/phones/xperia-xa1-ultra/specifications/> (access 10.01.2018).
- [3] Specyfikacja technologii Pump Express, <http://cdn-cw.mediatek.com/Features/Pump%20Express%20Series%20Introduction.pdf>, (access 04.12.2017).
- [4] Wybrane parametry baterii w badanym urządzeniu, [http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/1200000-1299999/001214012-gs-01-en-UL\\_SONY\\_LITHIUM\\_KNOPFZELLE\\_CR\\_1220\\_\\_5ER\\_.pdf](http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/1200000-1299999/001214012-gs-01-en-UL_SONY_LITHIUM_KNOPFZELLE_CR_1220__5ER_.pdf),(access 14.01.2018).

- [5] Specyfikacja ładowarki wyposażonej w technologię turbopower, <https://www.motorola.com/us/products/turbo-power-15-wall-charger>, (access 29.12.2017).
- [6] Liu J., Zhang Y., New technology and optimisation of mobile phone battery, (2016), [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/110646/Liu%20Jian\\_Zhang%20Yixian.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/110646/Liu%20Jian_Zhang%20Yixian.pdf?sequence=1), (access 12.12.2017).
- [7] <https://www.qualcomm.com/solutions/mobile-computing/features/quick-charge>, (access 01.12.2017).
- [8] <http://www.usb.org/developers/powerdelivery/>, (access (08.12.2017).
- [9] <https://www.statista.com/statistics/233415/global-market-share-of-applications-processor-suppliers/>, (access 06.01.2018).
- [10] [http://qnovo.com/wp-content/uploads/2015/12/Qnovo\\_TechWhitePaper\\_v2.4.pdf](http://qnovo.com/wp-content/uploads/2015/12/Qnovo_TechWhitePaper_v2.4.pdf) (access 06.01.2018).
- [11] Omar N. et al., Lithium iron phosphate based battery – assesment of the aging parameters and development of cycle life model. *Applied Energy*, 113 (2014), 1575–1585.
- [12] Vetter J., Novak P., Wagner M. R., Veit C., Möller K.C., Besenhard J. O., Winter M., Wohlfahrt-Mehrens M., Vogler C., Hammouche A., Ageing mechanisms in lithium-ion batteries, *Journal of Power Sources*, 147 (2005), 269–281.
- [13] Santhanagopalan S., Kim G.H., Keyers M., Pesaran A., Smith K., Neubauer J., *Design and Analysis of Large Lithium-Ion Battery Systems*, Artech House (2015), 81–93.

#### **TEMPERATURE INFLUENCE ON THE CHARGING PROCESS PARAMETERS AND LIFESPAN OF LITHIUM-ION CELLS WITH USE OF THE QUICK CHARGE™ TECHNOLOGY**

The paper deals with the issue of temperature influence on the charging process parameters and lifespan of the lithium-ion cells charged with use of the Quick Charge technology. Currently used fast charging techniques and aging processes in lithium-ion cells have been described. The cell parameters during the charging process were measured at two different temperatures. The summary contains conclusions on the impact of the Quick Charge technology and temperature on the parameters of the charging process and the lifespan of the cell.

*(Received: 10.02.2018, revised: 08.03.2018)*