

Michał FILIPIAK\*, Damian GŁUCHY\*, Maksymilian GODEK

## WPLYW TECHNOLOGII STOSOWANYCH W ŁADOWARKACH BEZPRZEWODOWYCH NA PROCES ŁADOWANIA URZĄDZEŃ MOBILNYCH

W pracy podjęto tematykę ładowania bezprzewodowego urządzeń mobilnych. Opisano zasadę działania bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej oraz standard Qi Wireless Charging określający parametry pracy urządzeń. Ponadto przedstawiono technologie Quick Charge oraz USB Power Delivery w odniesieniu do współpracy z ładowarkami indukcyjnymi. Przeprowadzono pomiary procesu ładowania dla urządzeń korzystających z wcześniej opisanego standardu i technologii. Wykonano charakterystyki przedstawiające zmiany mocy i temperatury w trakcie procesu ładowania dla różnych wariantów pomiarowych.

SŁOWA KLUCZOWE: ładowanie bezprzewodowe, indukcja elektromagnetyczna, Quick Charge, USB Power Delivery, urządzenia mobilne.

### 1. WPROWADZENIE

Od kilku lat rynek urządzeń mobilnych wykazuje tendencję nasycenia. Sprawia to, że kolejne modele produktów zostają wyposażone w innowacyjne udogodnienia mające na celu przyciągnąć nowych użytkowników. Jednym z takich usprawnień jest możliwość ładowania urządzeń mobilnych w sposób bezprzewodowy. Takie rozwiązanie pozwala na uzupełnienie niezbędnej do pracy energii, pomijając mechaniczne, często zawodne połączenie z zasilaniem. Ciągły rozwój technologii ładowania bezprzewodowego powoduje wzrost jej sprawności przy jednoczesnym implementowaniu innych rozwiązań szybkiego ładowania.

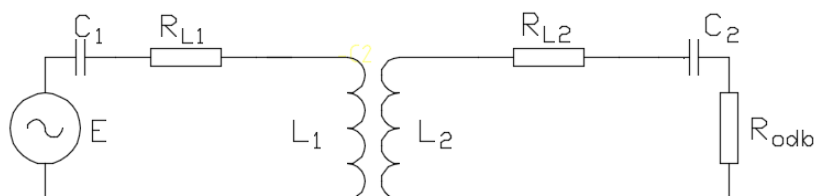
### 2. BEZPRZEWODOWY PRZESYŁ ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Energię elektryczną przesyła się za pomocą połączenia galwanicznego lub bezprzewodowego. Połączenie szeregowo jest szeroko stosowane z uwagi na dostępność, prostotę w implementacji oraz możliwość przesyłu dużych mocy przy stosunkowo niewielkich stratach. Przesył bezprzewodowy natomiast może

---

\* Politechnika Poznańska

być realizowany na wiele sposobów. Zalicza się do nich systemy wykorzystujące między innymi promienie świetlne, fale dźwiękowe, indukcję elektromagnetyczną lub mikrofałe. W urządzeniach mobilnych małej mocy najczęściej wykorzystywane jest zjawisko indukcji elektromagnetycznej. Wymaga ono zastosowania dwóch cewek powietrznych lub z rdzeniem ferromagnetycznym. Jedną z nich jest cewka nadawcza, natomiast drugą cewka odbiorcza. Budowa układu zasilania bezprzewodowego jest bardzo zbliżona do transformatora energetycznego. Mechanizm ten funkcjonuje jednak z wyższą częstotliwością oraz z większą szczelnością powietrzną, gdyż cewki umieszczone są w różnych elementach wchodzących w skład całego systemu (ładowarka indukcyjna oraz urządzenie mobilne). Istotną cechą tych układów, która zwiększa sprawność przesyłu energii elektrycznej, jest zastosowanie rezonansu po stronie nadajnika oraz kompensacji po stronie odbiornika. Przykładowy układ przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat układu z rezonansem szeregowym po stronie nadajnika i z kompensacją strony odbiornika [1]

Nadajnik zasilany jest zmiennym w czasie napięciem o częstotliwości od kilkudziesięciu do kilkuset kHz. Prąd przemienny w uzwojeniu pierwotnym powoduje powstanie zmiennego strumienia magnetycznego w cewce nadawczej. Jeżeli cewka odbiorcza zostanie sprzężona magnetycznie z cewką nadawczą, to zostanie na niej wyindukowane napięcie zgodne z prawem indukcji elektromagnetycznej. Jeśli podłączy się odbiornik, to popłynie w nim prąd o zwrocie zgodnym z regułą Lenza [2].

W zastosowaniach do zasilania urządzeń z wykorzystaniem zjawiska indukcji elektromagnetycznej bardzo dużą rolę odgrywa dobroć cewki nadajnika i odbiornika. Jest ona wyznacznikiem strat w cewce. Teoretycznie dobroć cewki może być dowolnie większa od zera. W praktyce bardzo trudno jest osiągnąć dobroć cewki większą od 1000, natomiast w zastosowaniach komercyjnych dobroć cewki oscyluje w granicach  $Q = 100$ . Dobroć jest uzależniona od rozmiarów cewki, grubości drutu oraz materiału, z jakiego została wykonana. Są to główne parametry dla cewek powietrznych, które w większości są stosowane w urządzeniach bezprzewodowego ładowania.

W celu zwiększenia dobroci można [3]:

- zwiększyć średnicę cewki – największą dobroć uzyska się w przypadku, gdy średnica cewki jest zbliżona do podwójnej długości uzwojenia,

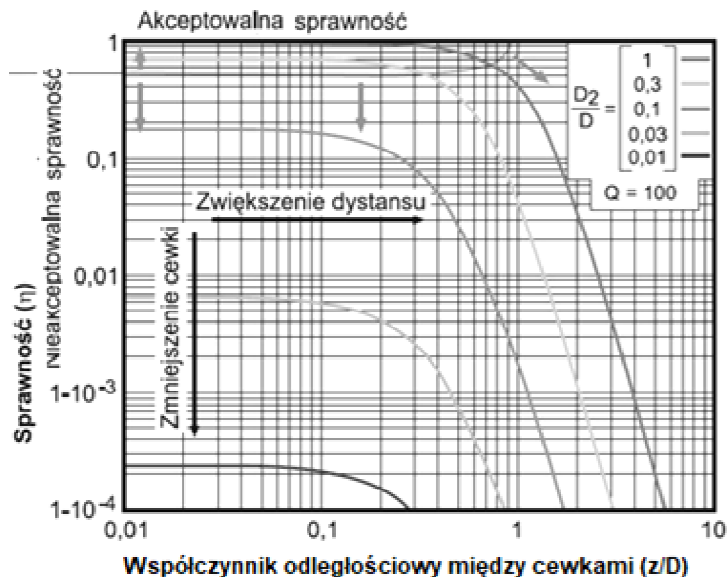
- użyć cewki z innego materiału (dla cewek w układach wysokich częstotliwości) np. srebrzanki,
- stosować cewki o dużej średnicy drutu (układy wysokich częstotliwości i dużych mocy),
- zastosować bardzo małe średnice drutu, co spowoduje przepływ prądu całym jego przekrojem, stosować przewód licowy zamiast litego.

Zależność strat energii od dobroci ( $Q$ ) i współczynnika sprzężenia ( $k$ ), gdzie współczynnik strat można określić jako  $\frac{P_{we}-P_{wy}}{P_{wy}}$ , przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Charakterystyka ilości strat w zależności od jakości sprzężenia i dobroci [3]

Podobnie, w formie charakterystyki przedstawić można zmianę sprawności układu dla optymalnej dobroci równej 100, w funkcji współczynnika odległościowego, co przedstawiono na rysunku 3. Współczynnik odległościowy został zapisany jako stosunek odległości między cewkami ( $z$ ) do średnicy cewki  $L_1$  ( $D$ ). Akceptowalna sprawność transmisji energii bezprzewodowo dla zależności  $\frac{D_2}{D}$  (średnic cewek odbiorczej do nadawczej) zawiera się między 0,3, a 1, gdzie odległość jest mniejsza od jedności. Należy zauważyć, że na zwiększenie sprawności, bardzo duży wpływ ma odległość jak również średnica cewek będących w sprzężeniu rezonansowym.



Rys. 3. Charakterystyka sprawności w funkcji współczynnika odległościowego[1]

### 3. TECHNOLOGIA ŁADOWANIA BEZPRZEWODOWEGO URZĄDZEŃ MOBILNYCH

Zastosowanie indukcji elektromagnetycznej do przesyłu energii elektrycznej w urządzeniach mobilnych stało się możliwe po wprowadzeniu w 2009 roku standardu „Qi Wireless Charging”. Określa on parametry urządzeń wykorzystujących bezprzewodowe zasilanie do ładowania baterii. Został on opracowany przez Wireless Power Consortium [1]. Głównymi elementami składowymi systemu są: stacja bazowa będąca nadajnikiem oraz urządzenie odbiorcze. W celu osiągnięcia maksymalnej sprawności urządzenia wyróżniono możliwość mechanicznego pozycjonowania urządzenia przenośnego w stosunku do stacji bazowej. Oznacza to, że urządzenie mobilne jest umieszczane w jednej konkretnej pozycji na podstawce. Określono również sposób automatycznego dostosowania ładowarki do położenia urządzenia mobilnego. Podstawka zawiera większą liczbę cewek indukcyjnych podłączonych do sterownika, który wyszukuje najlepszą konfigurację do przesyłu energii. W standardzie wyróżniono dwie grupy ładowarek o:

- małej mocy do 5 W, pracujące w zakresie częstotliwości od 110 do 205 kHz,
- średniej mocy do 120 W, pracujące w zakresie częstotliwości od 80 do 300 kHz.

Standard określa maksymalną odległość między urządzeniem bazowym, a odbiornikiem do 40 mm [1, 4].

Technologia ładowania bezprzewodowego w seryjnie produkowanych smartfonach pojawiła się początkowo jedynie w modelach flagowych. W kolejnych latach zainteresowanie urządzeniami wyposażonymi w tę technologię wzrosło, co doprowadziło do jej stosowania w znacznie szerszym asortymencie produktów. Wygodny sposób ładowania został doceniony przez użytkowników i spowodował dalszy rozwój tej technologii, co zaowocowało pojawieniem się na rynku np. ładowarek bezprzewodowych pełniących funkcję wygodnej podstawki czy też stacji dokującej umożliwiającej np. przejście smartfona w wybrany przez użytkownika określony tryb pracy.

Równolegle do rozwoju ładowania bezprzewodowego, doskonalone są inne technologie dotyczące modernizacji sposobu szybkości ładowania. Wynika to przede wszystkim ze wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną, który przewyższa tempo rozwoju w obszarze ogniw elektrochemicznych. Choć pojemności akumulatorów są sukcesywnie zwiększane, to rozwiązanie to zawsze prowadzi do zwiększania wagi urządzeń mobilnych.

Jednym ze sposobów radzenia sobie z niedoborami energii jest technologia szybkiego ładowania Quick Charge, która szerzej została opisana w pracy [5]. Ma ona na celu skrócenie czasu potrzebnego do naładowania akumulatora poprzez zwiększenie wartości prądu i napięcia, co ma bezpośredni wpływ na ilość przesyłanej energii. Jednocześnie standard ten wykorzystuje stosowane od wielu lat złącze micro USB [6, 7].

Najnowszą technologią szybkiego ładowania urządzeń mobilnych jest USB Power Delivery, wykorzystująca złącza USB typu C [8]. Rozwiązanie to niesie za sobą szereg udogodnień i zalet względem wykorzystywanych od wielu lat wtyczek USB typu A oraz micro USB. USB typu C eliminuje konieczność implementacji w odbiorniku oraz źródle dodatkowych układów, komunikujących się liniami transmisji danych, w celach zwiększenia przesyłanej mocy. Charakteryzuje się uniwersalnością, służy bowiem do ładowania nie tylko smartfonów/tabletów, ale również urządzeń wymagających większych mocy np. laptopów. Ładowarki obsługujące USB Power Delivery mogą dostarczać odbiornikom do 100 W mocy, operując na kilku predefiniowanych poziomach napięć (5 V / 9 V / 15 V / 20 V) oraz na wartościach prądu do 5 A [9].

Sukces obu wcześniej wymienionych technologii spowodował możliwość łączenia wielu standardów np. standard Qi może korzystać z Quick Charge. Wymaga to odpowiedniego zaimplementowania technologii w poszczególnych elementach infrastruktury zasilania. Ładowarki bezprzewodowe wyposażone w Qi oraz Quick Charge mogą być zasilane ładowarką sieciową wspierającą Quick Charge i w ten sposób dostarczyć do ładowanego urządzenia znacznie większą ilość energii. Limit będzie stanowił ładowane urządzenie, również korzystające z technologii Qi, które będzie miało określoną ilość energii, jaką jest w stanie odbierać.

## 4. BADANIE TECHNOLOGII ŁADOWANIA BEZPRZEWODOWEGO

### 4.1. Procedura badawcza

Procedura badawcza dotyczyła dwóch ładowarek bezprzewodowych, z których jedna była wyposażona tylko w badaną technologię indukcyjną (w dalszej części pracy określana jako "ładowarka standardowa"), natomiast druga wykorzystywała Quick Charge 3.0 (określana dalej jako "Quick Charge 3.0"). Analizowane ładowarki indukcyjne wymagały dodatkowego zasilacza umożliwiającego podłączenie ich do sieci. Pierwsza z badanych ładowarek bezprzewodowych wymagała zasilania o napięciu 5 V i natężeniu prądu do 1,5 A, co zrealizowano stosując ładowarkę sieciową 12 W (5 V / 2,4 A). Drugi obiekt, z uwagi na obecność technologii Quick Charge 3.0, obsługuje napięcie wejściowe 5/12 V i natężenie prądu do 1,5 A, co spełniono stosując ładowarkę sieciową o maksymalnej mocy 18 W (3,6-20 V / 3 A), również wykorzystującą wspomnianą technologię szybkiego ładowania.

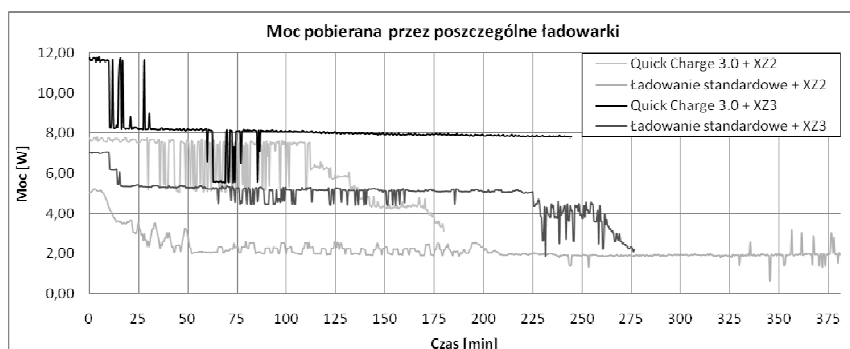
Każdą z ładowarek bezprzewodowych przebadano dla dwóch wariantów odbiorników, którymi były smartfony Sony Xperia XZ2 oraz Sony Xperia XZ3 (dalej określane jako XZ2 oraz XZ3). Obydwa urządzenia posiadały zbliżoną pojemności baterii, na poziomie około 3200 mAh oraz oryginalnie zaimplementowane ładowanie indukcyjne Qi [10, 11]. Z uwagi na praktycznie nowe egzemplarze smartfonów, w badaniach pominięto ewentualne spadki pojemności baterii spowodowane wcześniejszym ich użytkowaniem. Jednocześnie poszczególne modele różniły się od siebie rodzajem wykorzystywanej technologii ładowania. Zgodnie ze specyfikacją producenta XZ2 korzysta z Quick Charge 3.0, natomiast XZ3 z USB Power Delivery.

Badanie polegało na ładowaniu urządzeń od 2% do 100% ich całkowitej pojemności wskazywanej przez system smartfona. W trakcie ładowania, w każdym z wariantów, mierzone były: napięcie oraz prąd na wyjściu ładowarki sieciowej oraz prąd ładowania, napięcie i temperatura baterii wskazywane przez specjalistyczne oprogramowanie zainstalowane na badanych telefonach. Wskazywane przez aplikację parametry dotyczyły wartości na akumulatorze, co spowodowało konieczność określenia ilości energii pobieranej przez telefony na potrzeby własne. W tym celu przeprowadzono odpowiednie badania kalibracyjne bez ładowania.

### 4.2. Wyniki badań

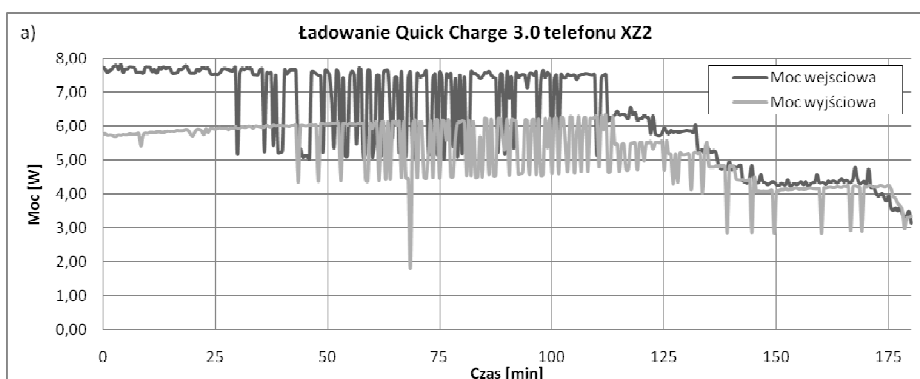
Zarejestrowane pomiary pozwoliły wyznaczyć charakterystyki zmienności mocy wejściowej i wyjściowej z ładowarek bezprzewodowych dla ładowania poszczególnych modeli telefonów. Należy zauważyć, że proces ładowania

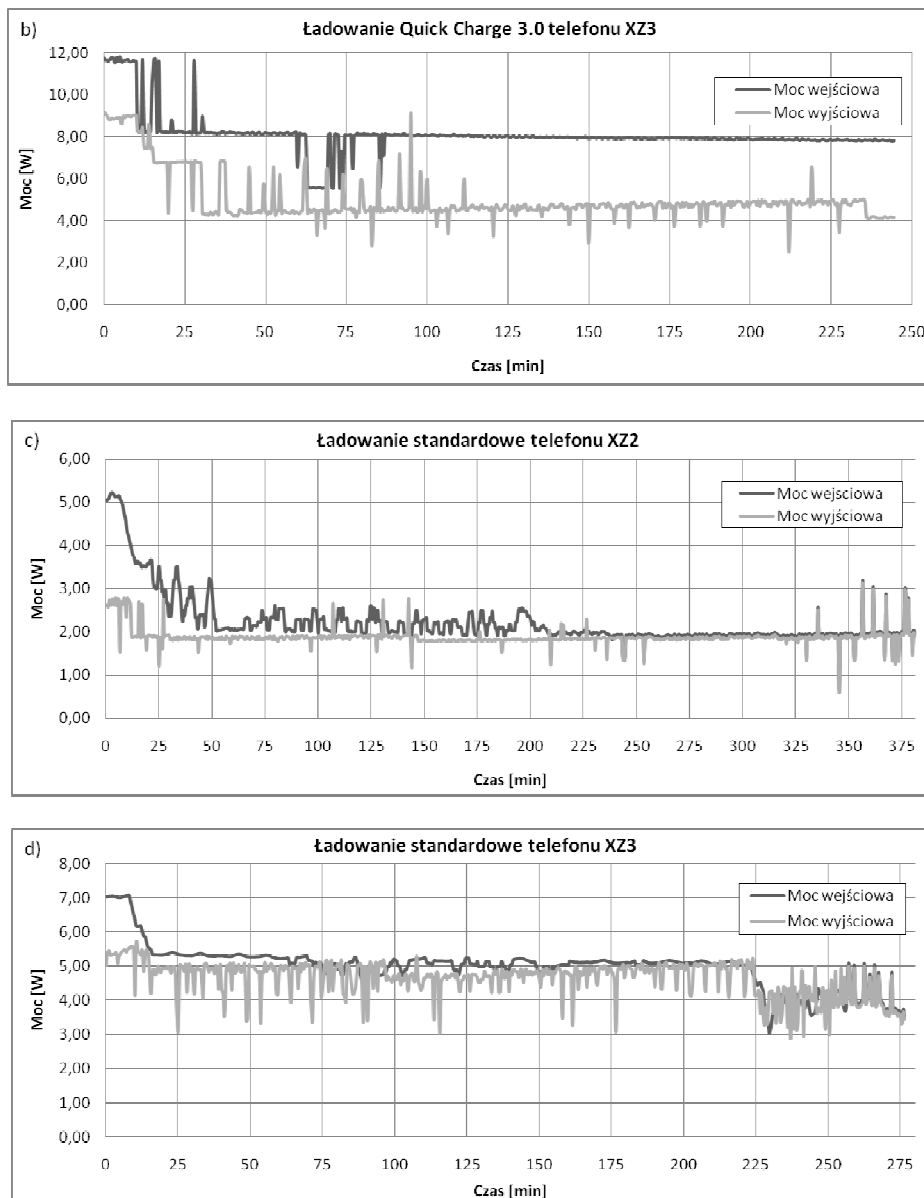
z wykorzystaniem Quick Charge 3.0 pomimo, że dopuszcza możliwość zmian wartości napięcia, to w przypadku prowadzonych badań odbywał się ze stałą różnicą potencjałów równą 12 V. Charakterystyki zmian mocy wejściowej dla poszczególnych przypadków badań pojedynczego cyklu ładowania zostały przedstawione na rysunku 4. Można na nich zauważyć, że ładowanie Quick Charge niezależnie od modelu odbiornika jest szybsze od ładowania standardowego.



Rys. 4. Porównanie charakterystyk zmian mocy wejściowej dla ładowania Quick Charge i standardowego dla wybranych modeli smartfonów

Na rysunku 5 przedstawiono przebieg zmian mocy wejściowej i wyjściowej dla poszczególnych przypadków ładowania każdego z odbiorników. Ładowarka wykorzystująca technologię Quick Charge 3.0, pomimo współpracy ze standardem Qi, ma wyraźnie zaznaczoną pierwszą fazę ładowania stałoprądowego oraz drugą fazę ładowania stałonapięciowego. W przypadku ładowarek standardowych zauważalna jest praca z praktycznie stałą, lecz stosunkowo niewielką mocą. Ponadto, porównując wykresy z podpunktu b) i d) oraz a) i c), można zauważyć wzrost skuteczności przesyłu energii dzięki wprowadzeniu standardu USB Power Delivery, jednak tylko w przypadku ładowania standardowego.



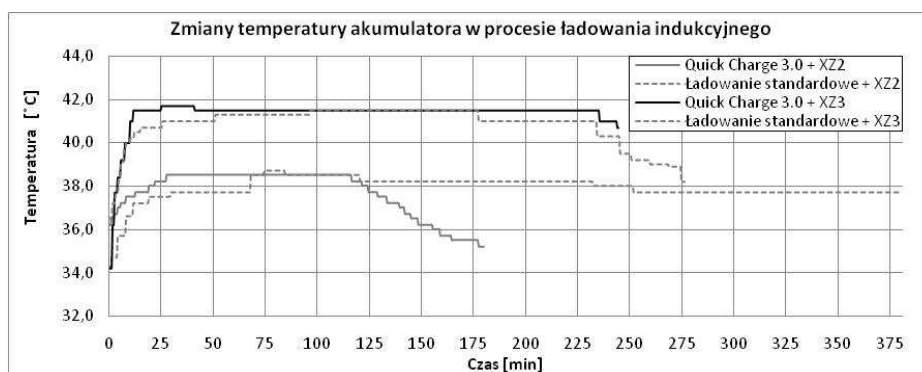


Rys.5. Charakterystyki zmian mocy wejściowej i wyjściowej w procesie ładowania bezprzewodowego dla: a) Quick Charge z XZ2, b) Quick Charge z XZ3, c) ładowanie standardowe z XZ2, d) ładowanie standardowe z XZ3

Wykonane badania pozwoliły wyznaczyć sprawność procesu ładowania bezprzewodowego w zakresie od 2% do 60% stanu naładowania (część stałoprądowa). Dla technologii Quick Charge 3.0 wykorzystywanej w ładowarce



indukcyjnej do zasilania smartfonów XZ2 i XZ3, sprawność procesu wynosiła odpowiednio 78% i 82%. Ładowanie standardowe XZ2 i XZ3 odznaczało się wyższą sprawnością, odpowiednio 82% i 85%, co potwierdza uzależnienie szybkości i mocy ładowania od rodzaju ładowarki i typu odbiornika. Jednocześnie niższe moce chwilowe podczas ładowania standardowego przekładają się na mniejszy wzrost temperatury akumulatorów urządzeń mobilnych, co przedstawiono na rysunku 6.



Rys.6. Charakterystyka zmian temperatury akumulatora w procesie ładowania indukcyjnego

## 5. PODSUMOWANIE

W pracy opisana została technologia ładowania bezprzewodowego i możliwości jej współpracy z innymi technologiami wykorzystywanymi w przesyłaniu energii do urządzeń mobilnych. Przeprowadzone badania wykazały istotny wpływ na poziom przesyłanej mocy oraz sprawność procesu ładowania, zarówno rodzaju ładowarek bezprzewodowych jak i typu odbiornika oraz zaimplementowanej w nim technologii.

Technologia Quick Charge, której rozwój podporządkowany był standardowi USB A i micro USB, umożliwia ładowanie urządzeń z nieosiągalną nigdy wcześniej mocą. Niestety, jej wykorzystanie wymaga użycia w całym torze zasilania wyspecjalizowanych układów komunikujących się między sobą i zmieniających parametry ładowania. Użycie jednego modułu, nie wykorzystującego technologii Quick Charge, powoduje przejście do podstawowej, "wolnej" koncepcji przesyłu energii.

Przebadane warianty ładowania indukcyjnego dla poszczególnych odbiorników wykazały zadowalającą sprawność z zakresu od 78% do 85%. Ponadto, studium literaturowe pokazało również wzrost sprawności tych układów na przestrzeni ostatnich lat. Jednocześnie przewidywany jest dalszy rozwój technologii i jej implementacji w szerokim spektrum odbiorników, w tym także tych o dużej mocy np. w autobusach. Przeprowadzone badania eksperymentalne

szczególnie zwracają uwagę na problematykę pozycjonowania odbiornika względem ładowarki. Nawet niewielka zmiana wzajemnego położenia urządzeń powodowała rozsynchronizowanie komunikacji oraz chwilowe bądź trwałe przerwanie ładowania.

W wyniku przeprowadzonych badań na odbiornikach w postaci XZ2 z technologią Quick Charge 3.0 oraz XZ3 z USB Power Delivery wykazano wyższe moce ładowania dla drugiego przypadku. Choć standard ten prowadzi do osłabienia pozycji powszechnie stosowanego micro USB, to jednocześnie wychodzi naprzeciw tworzenia złącza symetrycznego, znacznie bardziej uniwersalnego i kompatybilnego z urządzeniami o różnym zapotrzebowanym poziomie mocy. Aktualnie, producenci urządzeń mobilnych (głównie smartfonów, tabletów oraz laptopów) coraz częściej decydują się na zaimplementowanie w swoich produktach złącza USB typu C, już nie tylko we flagowych modelach. Co więcej, wraz z nowym standardem rozwijana jest technologia USB Power Delivery, która ma za zadanie rozwiązać w przyszłości wszelkie problemy nie tylko z kompatybilnością, ale także z optymalnymi (możliwie najwyższymi) parametrami ładowania.

## LITERATURA

- [1] <http://www.wirelesspowerconsortium.com>, (dostęp 17.03.14).
- [2] Bolkowski S.: Teoria Obwodów Elektrycznych, WNT, Warszawa 2003.
- [3] <http://radioinfo.pl/pracownia-radio/>, (dostęp 17.03.14).
- [4] [http://elektronikab2b.pl/-\(„zasilanie-bez-przewodow”\)](http://elektronikab2b.pl/-(„zasilanie-bez-przewodow”)), (dostęp 17.03.14).
- [5] Burzyński D., Głuchy D., Godek M.: Analysis of the impact of Quick Charge technology on the charging process parameters of the lithium-ion storage at various temperatures, ITM Web of Conferences 19, nr 01025, 2018.
- [6] Fan H., USB Port and power delivery: An overview of USB port interoperability, 2015 IEEE Symposium on Product Compliance Engineering (ISPC), 2015.
- [7] 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), (dostęp 12.12.2017).
- [8] <https://www.usb.org/usb-charger-pd>, (dostęp 08.12.2017).
- [9] <http://www.usb.org/developers/powerdelivery/>, (dostęp 08.12.2017).
- [10] [https://www.sonymobile.com/pl/products/phones/xperia-xz2/specifications/Specyfikacja\\_smartfona\\_Sony\\_Xperia\\_XZ2](https://www.sonymobile.com/pl/products/phones/xperia-xz2/specifications/Specyfikacja_smartfona_Sony_Xperia_XZ2)(dostęp 7.01.2019),
- [11] [https://www.sonymobile.com/pl/products/phones/xperia-xz3/specifications/Specyfikacja\\_smartfona\\_Sony\\_Xperia\\_XZ3](https://www.sonymobile.com/pl/products/phones/xperia-xz3/specifications/Specyfikacja_smartfona_Sony_Xperia_XZ3) (dostęp 7.01.2019).

**THE IMPACT OF TECHNOLOGIES USED IN WIRELESS CHARGERS  
ON THE PROCESS OF CHARGING MOBILE DEVICES**

The paper deals with wireless charging technologies for mobile devices. The principles of wireless charging have been described, as well as Qi Wireless Charging standard which utilizes it. Moreover, the paper also presents the cooperation of Quick Charge technology and USB Power Delivery with wireless chargers. The parameters of the charging process with mentioned technologies were measured. Characteristics showing changes of power and temperature during the charging process for various measurement variants were made.

*(Received: 14.02.2019, revised: 04.03.2019)*

