

# Analiza możliwości wykorzystania sensorów zabudowanych w smartfonach w systemach diagnostycznych

Jakub Zielonka, Maciej Sułowicz, Mirosław Czechowski

## 1. Wstęp

Obecnie używane smartfony różnią się między sobą parametrami poszczególnych układów scalonych, między innymi tym, jakie czujniki znajdują się w danym modelu smartfonu. Większość wbudowanych czujników stosowana jest na potrzeby własne telefonu, jak chociażby najpopularniejszy GPS informujący o aktualnej lokalizacji lub czujnik położenia służący do rozpoznawania, w jakiej orientacji znajduje się smartfon.

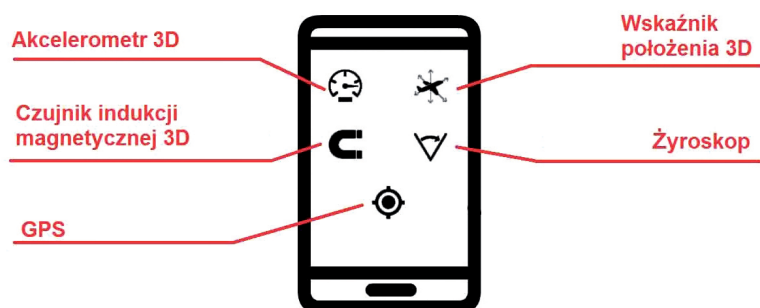
Kluczowe zatem staje się odpowiednie wyselekcjonowanie z szerokiej grupy sensorów tych, które mogą okazać się szczególnie korzystne dla danego zagadnienia. Do zagadnień monitoringu i diagnostyki najbardziej korzystne okazują się takie sensory, jak: akcelerometr (czujnik drgań), czujnik indukcji pola magnetycznego oraz GPS.

Następnym krokiem jest wybranie odpowiednich narzędzi i aplikacji, dzięki którym możliwa będzie akwizycja wielkości fizycznych wybranymi czujnikami, jak również zapisanie tak zebranych danych do plików, które później posłużą do głębszej obróbki i analizy. Istnieje wiele aplikacji mobilnych, które spełniają wymienione założenia, jednak ze względu na duże możliwości

obliczeniowe, transmisje danych za pomocą chmury oraz kompatybilność pomiędzy platformami zdecydowano się wykorzystać oprogramowanie MATLAB dostępne w wersji PC, jak również w wersji mobilnej. Rysunek 1 przedstawia 5 sensorów, które mogą być wykorzystane i sterowane za pomocą wspomnianej aplikacji.

Fizyczny brak któregoś z wymienionych sensorów w danym modelu smartfonu nie powoduje zakłócenia w pracy aplikacji mobilnej.

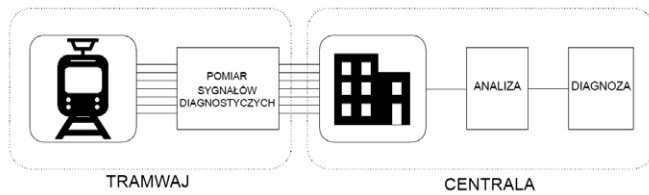
Wraz z postępującym rozwojem technologii dotychczasowe metody akwizycji i monitoringu obiektów przemysłowych muszą być ciągle modernizowane i rozwijane. Ostatnie lata to dominacja układów scalonych: komputerów, kart pomiarowych i różnorodnych czujników. Niewykluczone jest, że w przyszłości do tego grona dołączą smartfony. Wszystko to ma uzasadnienie w dążeniu do jak najefektywniejszych metod poprawienia wydajności układów elektromechanicznych. Konieczna zatem staje się właściwa eksploatacja oraz diagnostyka tych obiektów [1] przy wykorzystaniu wszelkich możliwych metod i środków.



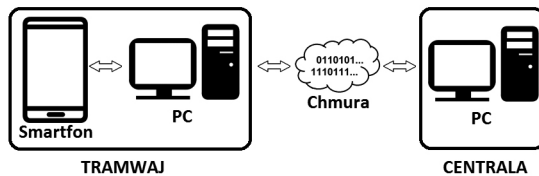
Rys. 1. Obsługiwane sensory smartfonu

**Streszczenie:** Rozwój techniki wprowadza nowe możliwości w zagadnieniach diagnostyki i monitoringu parametrów pojazdów elektrycznych. Do takich nowości zaliczamy telefony komórkowe, które w ostatnich latach znacznie rozwinęły swoje możliwości. Obecne smartfony posiadają w swych podzespołach zestaw czujników, których wykorzystanie w odpowiedni sposób może dostarczyć informacji dla zagadnień diagnostycznych. Artykuł przedstawia system monitorujący wybrane sygnały diagnostyczne za pomocą karty pomiarowej oraz sensorów smartfonu. Badania przeprowadzono na pokładzie tramwaju, gdzie monitorowano pracę silników indukcyjnych klatkowych. Zebrane w ten sposób dane poddano analizie pod kątem użyteczności w aspektach diagnostyki i innych.

**Abstract:** The development of technology introduces new possibilities in the issues of diagnostics and monitoring of electric vehicle parameters. Such novelties include mobile phones, which have significantly expanded their capabilities in recent years. Current smartphones have a set of sensors in their components, the use of which in an appropriate way can provide information for diagnostic issues. The article presents a system that monitors selected diagnostic signals using a measurement card and smartphone sensors. The tests were carried out on board a tram, where the condition of squirrel cage induction motors was monitored. The data collected in this way was analyzed for usefulness in aspects such as diagnostic and other.



Rys. 2. Koncepcja diagnostyki zdalnej



Rys. 3. Schemat blokowy transmisji danych

## 2. Charakterystyka układu pomiarowego

Opracowany przez autorów tego artykułu układ monitorujący parametry pojazdów z napędem elektrycznym składa się z komputera wraz z podłączoną do niego kartą pomiarową, umożliwiającą akwizycję sygnałów diagnostycznych, takich jak prądy i napięcia fazowe oraz sygnał prędkości, wykorzystywanych w układach sterowania silnikami napędowymi. Dodatkowym, a zarazem nietypowym elementem jest smartfon będący częścią opracowanego systemu monitorującego parametry pojazdów elektrycznych. Wykorzystany system wpisuje się w zasady związane z diagnostyką zdalną (rys. 2) [2, 6].

Głównym założeniem było to, aby dostęp do zamontowanego na pojeździe elektrycznym systemu był zdalny. Kontrola komputera odpowiedzialnego za wykonywanie skryptów do akwizycji sygnałów diagnostycznych odbywa się z pośrednictwem bezprzewodowego łącza internetowego – gdzie funkcję routera pełni wspomniany wcześniej smartfon.

Układ dokonuje pomiarów wielkości fizycznych, a następnie przesyła je na komputer, który za pomocą odpowiednich narzędzi dokonuje przetworzenia i analizy zebranych danych. Do tych informacji operator ma dostęp praktycznie cały czas i na bieżąco może obserwować aktualne parametry elektryczne obiektu.

Taka metoda pomiaru jest możliwa dzięki nowoczesnym narzędziom, które pozwalają na wymianę danych między urządzeniami za pośrednictwem chmury – przestrzeni dyskowej na serwerze. MATLAB Mobile jest jednym z tych narzędzi dostępnych na smartfonach, pozwalających na akwizycję sygnałów mierzonych jego sensorami. Dane te są przesyłane do komputera centralnego poprzez wspomnianą wcześniej chmurę (rys. 3).

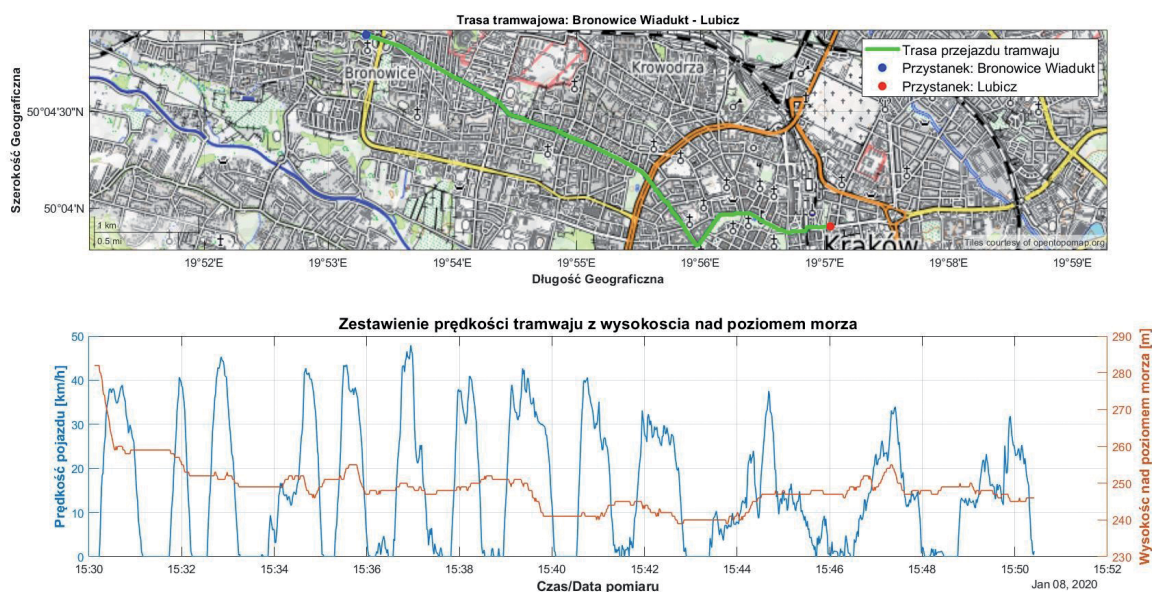
Dzięki wykorzystaniu kompletu narzędzi od jednego producenta uzyskuje się w pełni kompatybilny i synchroniczny system wymiany danych oraz ich analizy.

## 3. Badania z wykorzystaniem smartfonu

Badania przeprowadzono na pokładzie wagonu tramwajowego typu NGT6 wyprodukowanego przez firmę Bombardier, wchodzącego w skład floty przewoźniczej komunikacji miejskiej w Krakowie.

Pierwsze próby miały na celu testowanie możliwości pomiarowych samego smartfonu. Pomiarów wykonano wewnątrz wagonu, gdzie mierzono drgania, wartość indukcji pola oraz dane GPS.

Powyższe dane GPS (rys. 4) można wykorzystać do zagadnień logistycznych, gdzie istotne jest ustalenie optymalnej trasy przejazdu pod względem ekonomicznym oraz mechanicznym dla danego typu tramwaju.



Rys. 4. Dane GPS

Pomiar akcelerometrem (rys. 5) i czujnikiem pola (rys. 6) odbywał się w trzech osiach. Zaobserwowane poziomy drgań nie osiągnęły wartości krytycznych, które wymusiłyby podjęcie jakichkolwiek działań względem elementów tocznych pojazdu czy samego torowiska. Również wartości zarejestrowanej indukcji pola magnetycznego, nieprzekraczającego  $100 \mu\text{T}$ , nie wskazują na szczególne zagrożenie lub wykrycie ewentualnej usterki układów elektrycznych.

#### 4. Badania za pomocą systemu pomiarowego

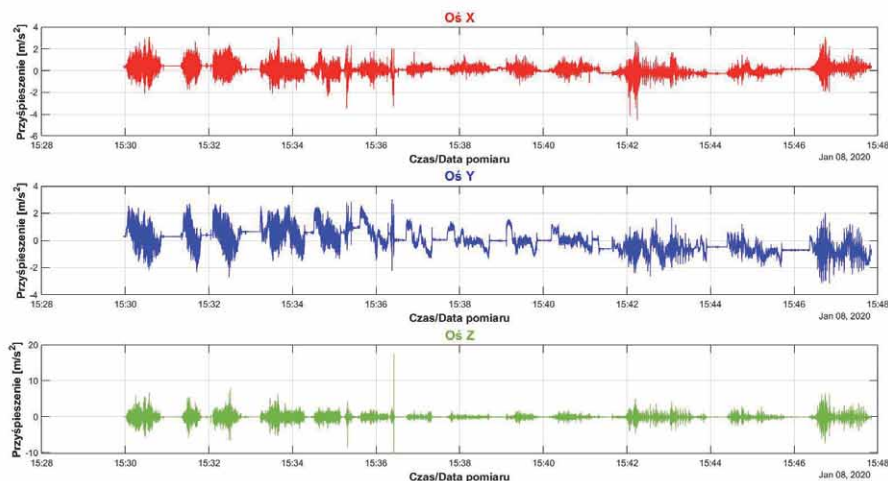
Kolejnym etapem było zaimplementowanie smartfonu do systemu składającego się z karty pomiarowej, komputera PC oraz zestawu czujników LEM – prądowych i napięciowych.

Wspomniany model tramwaju posiada dwa wózki napędowe, z których każdy zawiera po dwa silniki indukcyjne klatkowe. Sygnały diagnostyczne, jakie podane zostały kontroli, to: napięcia i prądy fazowe zasilające silniki, prąd w obwodzie rezystora hamowania, sygnały prędkości wału silnika oraz sygnał referencyjny pochodzący od kół tocznych pojazdu. Sumarycznie z jednego wózka napędowego pozyskuje się 18 sygnałów [7]. Dodatkowo wykorzystuje się te same sensory smartfonu co w rozdziale 3 z tą różnicą, że smartfon tym razem znajduje się na dachu wagonu tramwajowego.

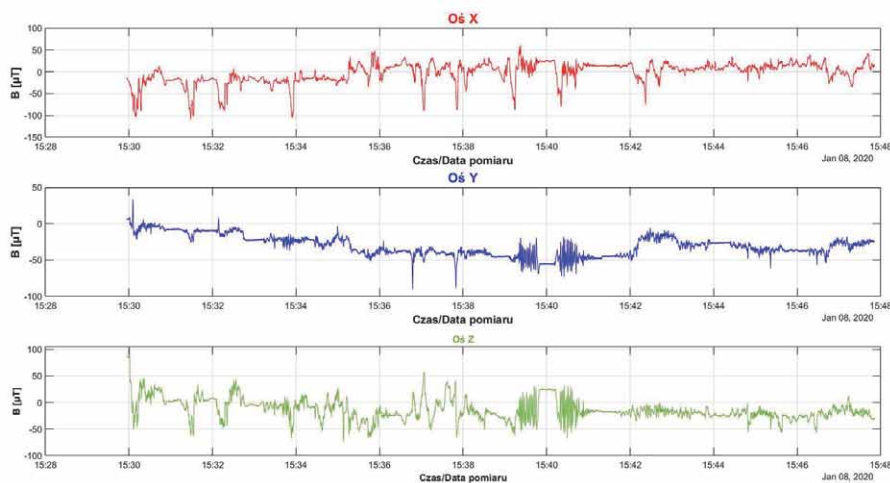
Najwięcej uwagi poświęcono zmierzonym sygnałom prądów fazowych. Jak wskazuje wiele pozycji literatury, w sygnale prądu fazowego silnika indukcyjnego zawarta jest znaczna część informacji, mogących pomóc w ocenie aktualnego stanu badanego silnika [3, 4, 5].

Poniżej przedstawiono wykresy wybranych sygnałów z dwóch różnych tras przejazdowych oznaczonych jako trasa A i B. Rysunki 7, 8 przedstawiają przebieg prądu fazowego fazy L1 zasilającej jeden z silników napędowych tramwaju, zaś rysunki 9, 10 obrazują analizę widmową FFT tych sygnałów.

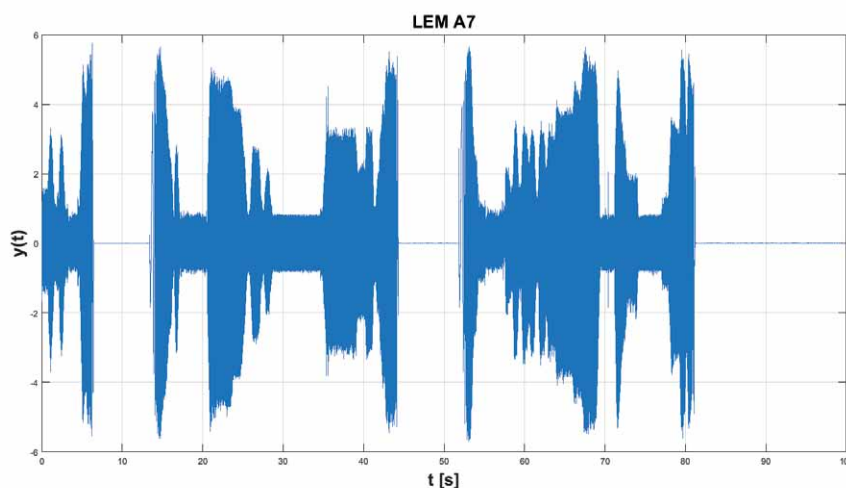
Na podstawie uzyskanych widm prądów fazowych z przedziałów ustalonej pracy napędu, zaobserwowano pojawienie się charakterystycznych wyższych harmonicznych, podczas pomiarów przejazdu tramwaju na trasie A.



Rys. 5. Przebiegi drgań w trzech osiach



Rys. 6. Przebiegi indukcji pola w trzech osiach



Rys. 7. Prąd fazy L1 - trasa A

Monitorowanie tego samego prądu fazowego na trasie B nie wykazało innych znacznych amplitud częstotliwości widma niż zerowa i podstawowa [7].

Linie zielone naniesione na mapy (rys. 11, 12) obrazują przebytą trasę tramwaju, na której wykonany został pomiar parametrów pojazdu. Ponieważ sensory smartfonu umożliwiają pomiar drgań i indukcji pola magnetycznego w trzech osiach, zastosowano wzór 1, aby przedstawić wypadkowe wartości tych wielkości fizycznych [7].

$$P = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (1)$$

gdzie:

$P$  – wypadkowa wartość sygnału;

$X$  – wartość sygnału w osi  $x$ ;

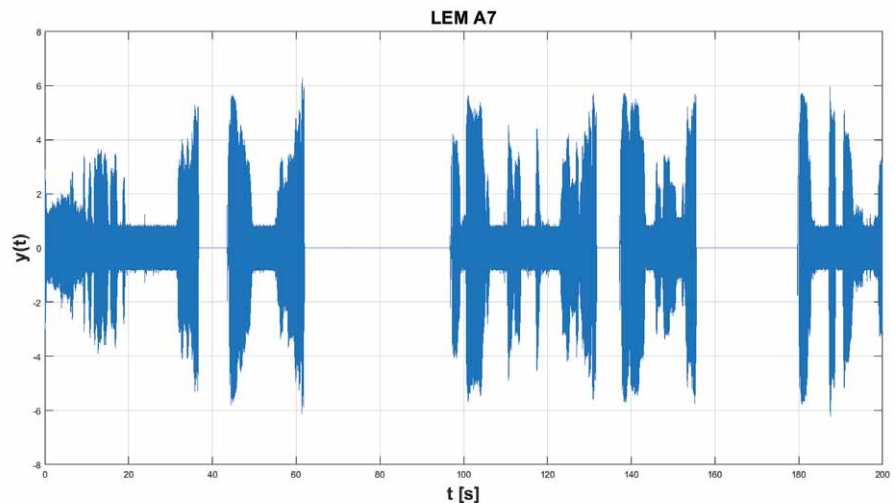
$Y$  – wartość sygnału w osi  $y$ ;

$Z$  – wartość sygnału w osi  $z$ .

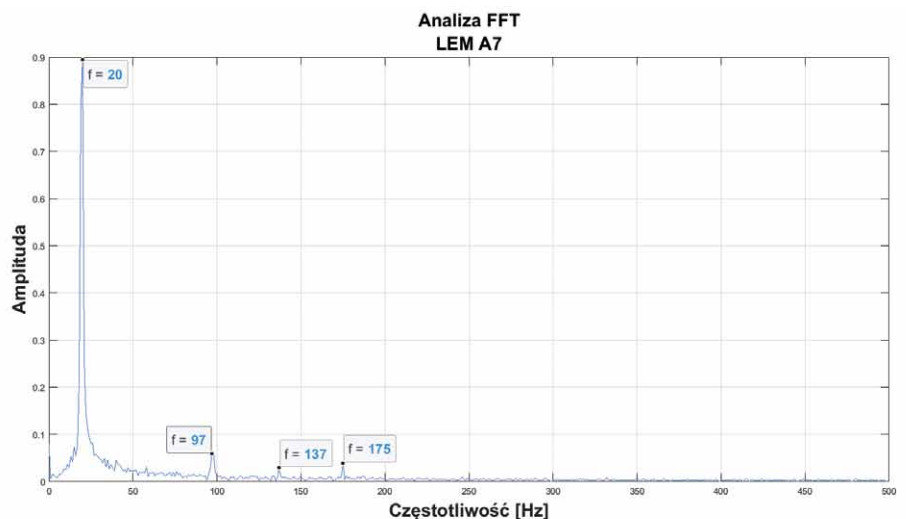
Na rysunkach 13 oraz 14 sygnał oznaczony kolorem niebieskim przedstawia pomiar drgań, zaś sygnał koloru czerwonego odpowiada zmierzonej indukcji pola magnetycznego.

Obserwacje przedstawionych parametrów pozwoliły stwierdzić, że wraz z większym poborem prądu przez układ napędowy, co tożsame jest z przyspieszaniem pojazdu, poziomy drgań oraz indukcji pola osiągają większe wartości. Nie jest to nic dziwnego, gdyż większy pobór energii powoduje zwiększenie wartości prądu płynącego przez linie przesyłowe, a tym samym wzrasta indukcja pola magnetycznego wokół przewodów przesyłowych. Zmierzone poziomy drgań całego pojazdu w tym przypadku nie wykraczają poza dopuszczalne normy. Oscylacyjny charakter wynika z faktu, że zarówno torowisko, po jakim porusza się tramwaj, jak i elementy napędowe pojazdów jakimi są silniki trakcyjne, przekładnie oraz zestawy kołowe podlegają drganiom. Na podstawie pomiarów akcelerometrem smartfonu możliwe jest wyciągnięcie wstępnych wniosków diagnostycznych co do stanu niektórych elementów [7, 8].

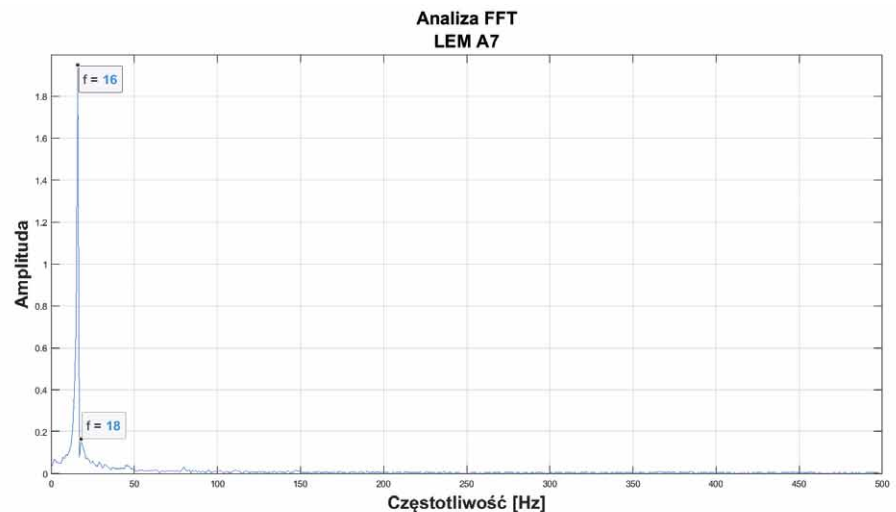
Odpowiedź na pytanie o pojawienie się wyższych harmonicznych w widmie prądu (rys. 9, 10) można uzyskać, analizując trasy przejazdu tramwaju (rys. 11, 12). Na trasie A tramwaj musiał wykonać manewr ostrego skrętu, zaś na odcinku B trasa przebiegała niemal



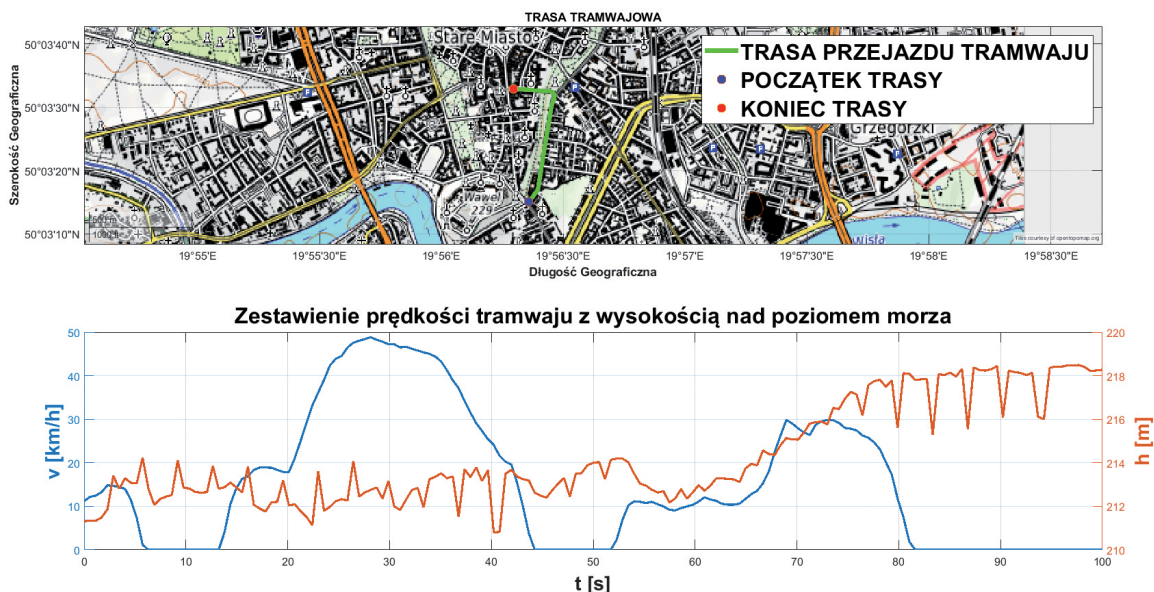
Rys. 8. Prąd fazy L1 - trasa B



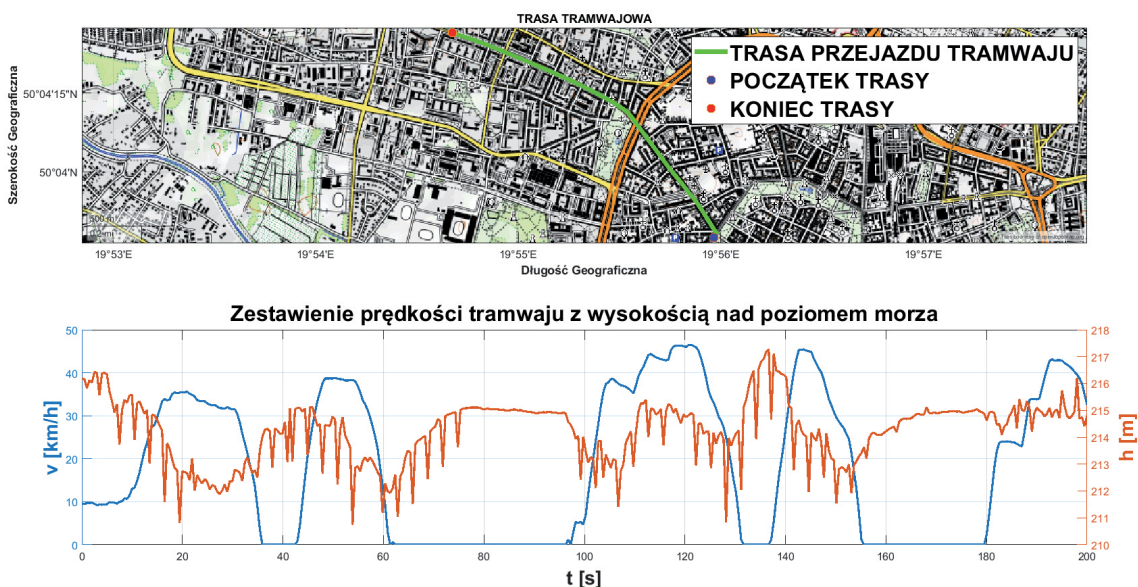
Rys. 9. Analiza widmowa prądu fazowego - trasa A



Rys. 10. Analiza widmowa prądu fazowego - trasa B



Rys. 11. Dane pomiarowe GPS - trasa A



Rys. 12. Dane pomiarowe GPS - trasa B

w linii prostej. Na tej podstawie można wnioskować o prawdopodobnym zużyciu elementów przeniesienia napędu [7].

### 5. Podsumowanie

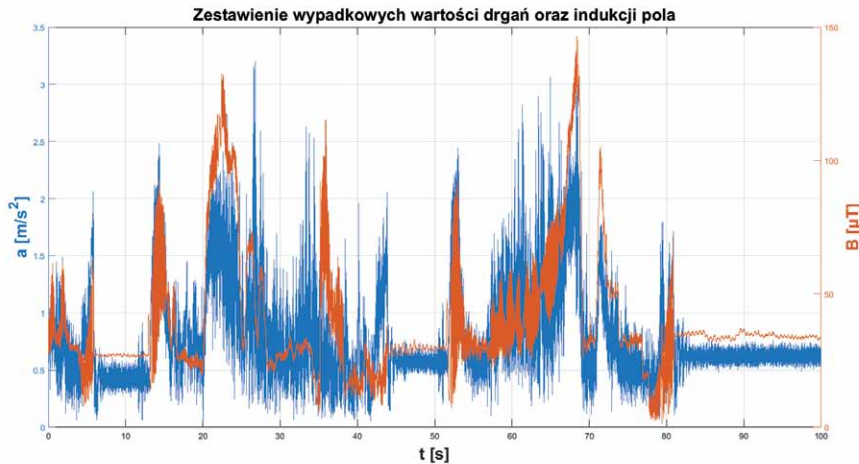
W artykule zaprezentowano wykorzystanie smartfonu jako urządzenia do akwizycji sygnałów fizycznych służących późniejszej analizie pod kątem diagnostycznym.

Badania wykazały duży potencjał smartfonu, jednakże należy pamiętać o niedoskonałości tego urządzenia, gdyż

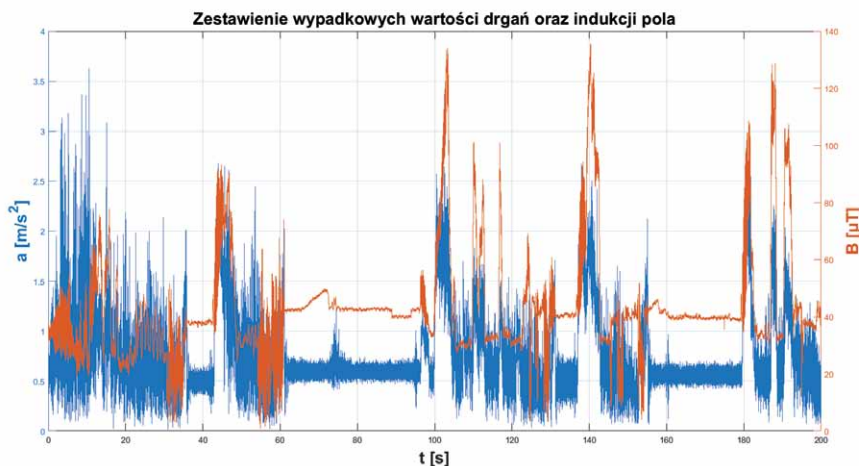
nie zostało ono dotychczas przewidziane do celów „przemysłowych”, a wyłącznie do użytku osobistego, jak wykonywanie rozmów telefonicznych czy przeglądanie internetu. Pojawia się jednak spostrzeżenie, że w przypadku dopasowania się smartfonu do potrzeb przemysłu, jego sposób produkcji, materiału czy rodzaju i dokładności czujników ulegną dostosowaniu do konkretnych problemów, a wówczas można będzie stosować smartfon jako indywidualne narzędzie diagnostyczne.

### Literatura

- [1] GLINKA T., SZYMANIEC S.: *Diagnostyka maszyn i urządzeń – uwagi ogólne.* „Napędy i Sterowanie” 5/2020.
- [2] GARRAMIOLA F., POZA J., MADINA P., DEL OLMO J., ALMANDOZ G.A.: *A review in fault diagnosis and health assessment for railway traction drives.* „Applied Sciences”, vol. 8, no. 2475, 2018.
- [3] RAMS W., RUSEK J.: *Praktyczna diagnostyka maszyn indukcyjnych klatkowych.* „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problematyczne” 68/2004.



Rys. 13. Pomiar sensorami smartfonu - trasa A



Rys. 14. Pomiar sensorami smartfonu - trasa B

[4] KOWALSKI C.T., KANIOR W.: *Ocena skuteczności analiz FFT, STFT i falkowej w wykrywaniu uszkodzeń wirnika silnika indukcyjnego*. Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów

i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej, nr 60, 2007.

[5] SUŁOWICZ M., PETRYNA J., WEINREB K., GUZIEC K.: *Porównawcze pomiary defektów klatek rozruchowych silników*

indukcyjnych pod kątem wykorzystania w diagnostyce. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 99/2013.

[6] ZIELONKA J.: *Opracowanie metody i systemu do ciągłej rejestracji sygnałów diagnostycznych na potrzebę oceny stanu silników pracujących w napędach wagonów tramwajowych*. Praca dyplomowa magisterska, Politechnika Krakowska, 2021.

[7] CZECHOWSKI M., SUŁOWICZ M.: *Diagnostyka układów napędowych wagonów tramwajowych*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 2(114)/2017.

[8] ZIELONKA J., SUŁOWICZ M., CZECHOWSKI M.: *System zbierania danych z czujników zabudowanych w smartfonach na potrzebę monitorowania wybranych parametrów pojazdów z napędem elektrycznym*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 2/2021.

mgr inż. Jakub Zielonka,  
jakub.zielonka@doktorant.pk.edu.pl  
Politechnika Krakowska, Wydział  
Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej,  
Katedra Inżynierii Elektrycznej;  
dr hab. inż. Maciej Sułowicz, prof. PK,  
msulowicz@pk.edu.pl  
Politechnika Krakowska, Wydział  
Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej,  
Katedra Inżynierii Elektrycznej;  
mgr inż. Mirosław Czechowski,  
mczechow@mpk.krakow.pl  
Miejskie Przedsiębiorstwo  
Komunikacyjne SA

artykuł recenzowany

reklama

Wybierz swoją prenumeratę na [www.nis.com.pl](http://www.nis.com.pl)