

MONITORING GÓRNEJ SIECI TRAKCYJNEJ Z WYKORZYSTANIEM BEZPRZEWODOWEJ SIECI SENSOROWEJ – WĘZEL POMIAROWY

Streszczenie

Wraz ze wzrostem prędkości pojazdów trakcyjnych rośnie potrzeba utrzymania sieci trakcyjnej w odpowiednim stanie. Konieczny jest ciągły monitoring i diagnostyka pozwalające wykrywać zjawiska pogarszające jakość odbioru energii z sieci trakcyjnej takie jak: nadmierne zużycie nakładek stykowych czy złe nastawy odbieraka prądu pojazdu. Jedną z metod jest umieszczenie czujników przyspieszenia na górnej sieci trakcyjnej. Analiza przebiegu tej wielkości fizycznej pozwoli określić stan układu sieć jezdna - odbierak prądu. Wybranie łączności bezprzewodowej jako medium transmisyjnego pomiędzy elementami sieci sensorowej, pozwala ominąć konieczność izolacji elektrycznej elementów sieci. Projekt musi uwzględniać niskie zużycie energii a także metody jej pozyskiwania z dostępnych źródeł odnawialnych. Jako standard komunikacyjny wybrano Bluetooth 4.0 Low Energy. Jest on dedykowany dla konsumenckich urządzeń czujnikowych, lecz jego zalety mogą znaleźć zastosowanie również w obszarze przemysłu. W artykule przedstawiono projekt i realizację sieci pozwalającej zbadać przebieg przyspieszeń sieci jezdnej. Opisano wykorzystane rozwiązania sprzętowo-programowe. Zaprezentowano wstępne wyniki pomiarów laboratoryjnych.

WSTĘP

Wzrost prędkości elektrycznych pojazdów szynowych i zwiększony pobór mocy powoduje, że zastosowanie nowoczesnych urządzeń monitoringu i diagnostyki technicznej stają się niezbędne do rozwoju, modernizacji i rozbudowy trakcji elektrycznej. Brak możliwości technicznych zapewnienia redundancji zasilania pojazdów powoduje, że osiągnięcie wysokiej niezawodności funkcjonowania górnej sieci trakcyjnej jest niezbędnym warunkiem jej eksploatacji. Sporadycznie występujące awarie wprowadzają znaczące opóźnienia w ruchu pociągów i są bardzo kosztowne [9]. W związku z tym konieczne jest utrzymanie sieci jezdnej w stanie ciągłej sprawności, co można zapewnić przez jej okresową diagnostykę np. wykorzystując stosowany od lat system DST [6] i regularne monitorowanie interakcji sieci i odbieraków prądu poruszających się pojazdów np. jak w systemie MOP [13].

Dynamiczny rozwój technologii mikroelektronicznej i techniki teleinformatycznej doprowadził do ekspansji bezprzewodowych sieci sensorowych WSN (ang. *Wireless Sensor Network*) [11, 12, 14]. Otwierają one nowe możliwości w zastosowaniu ich w obszarze transportu szynowego, w szczególności w zakresie monitoringu i diagnostyki – zarówno infrastruktury jak i pojazdów. W zakresie monitorowania infrastruktury wyróżnić można np. urządzenia pomiarowe oddziaływania wózków tocznych pojazdów na tor, czy też oceny interakcji odbieraka prądu poruszającego się pojazdu na górną sieć trakcyjną. Przegląd typów czujników i sieci bezprzewodowych do zastosowań kolejowych przedstawiono w pracy [1, 2, 10].

W artykule przedstawiono koncepcję, realizację i wstępne badania przeprowadzone z wykorzystaniem autorskiego oprogramowania inteligentnego czujnika drgań będącego częścią bezprzewodowej pomiarowej sieci sensorowej [7]. Głównymi korzyściami z wykorzystania łączności bezprzewodowej w komunikacji pomiędzy poszczególnymi urządzeniami systemu jest uniknięcie problemu izolacji czujników umieszczonych na górnej sieci trakcyjnej znajdujących się pod wysokim napięciem od koncentratora umieszczonego na konstrukcji wsporczej.

Automatyczne i ciągłe monitorowanie stanu technicznego infrastruktury trakcji elektrycznej zmniejsza wymagany nakład pracy ludzkiej, redukuje potrzeby konserwacji poprzez wcześniejsze wykrywanie usterek przed ich eskalacją oraz poprawia bezpieczeństwo i niezawodność.

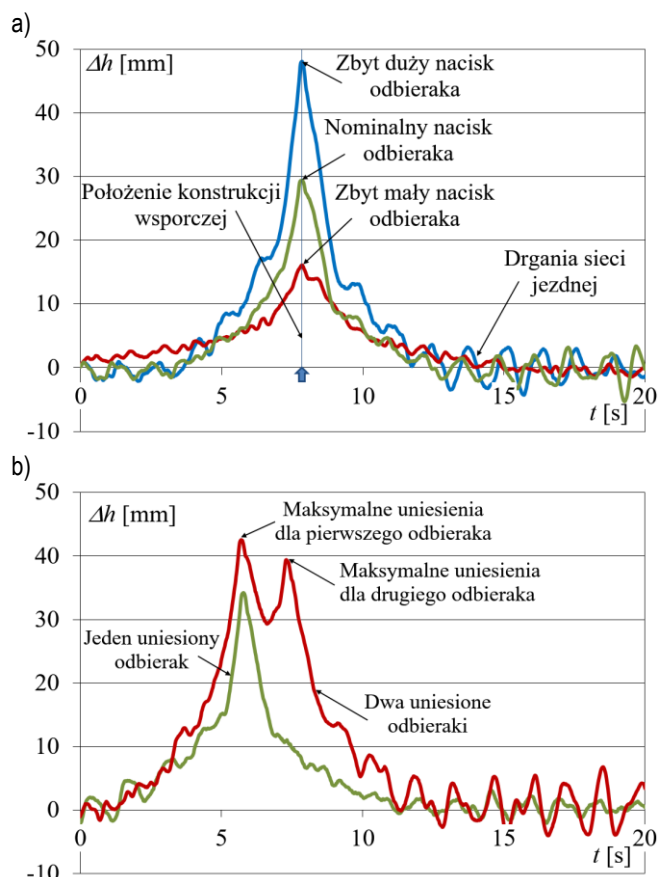
1. WSPÓLPRACA ODBIERAKA PRĄDU Z GÓRNĄ SIECIĄ TRAKCYJNĄ

Sieć jezdna wraz z pantografem pojazdu elektrycznego stanowi mechaniczny układ drgający, decydujący o przebiegu siły stykowej odbieraka [5, 6]. Przebieg tej siły znacząco wpływa na jakość odbioru prądu z sieci jezdnej. Ślizgacz odbieraka poruszającego się pociągu powoduje uniesienie i drgania przewodu jezdnego. Na rysunku 1 pokazano przykładowe przebiegi uniesienia przewodu jezdnego w miejscu jego podwieszenia do konstrukcji wsporczej sieci trakcyjnej – zarejestrowane w systemie MOP podczas przejazdu pojazdu [13]. Uniesienie to zależy od konstrukcji, parametrów i stanu technicznego: sieci jezdnej, odbieraka prądu, torowiska, a także – ze względu na siły aerodynamiczne – od prędkości ruchu pojazdu [5, 13].

Przedstawione przebiegi wskazują, że w przypadku pociągów z jednym podniesionym odbierakiem, drgania sieci nie wpływają znacząco na wartość maksymalną uniesienia przewodów, natomiast dla pociągów o kilku aktywnych odbierakach, o wartości uniesienia przewodu decyduje suma ich oddziaływań na sieć. Oscylacje sieci mają bardzo złożony charakter i o ocenie współpracy układu odbieraka prądu – sieć jezdna decyduje amplituda uniesienia oraz charakter oscylacji [13].

Do oszacowania parametrów drgań pionowych można wykorzystać znane z literatury modele odbieraka i sieci jezdnej o parametrach skupionych [5, 6, 8, 9, 17]. Prosty dwumasowy model odbieraka o stałych parametrach (reprezentowany w normie PN-EN 50318 jako model o wysokiej wartości sztywności k_n pomiędzy masą ślizgacza i siecią jezdna) oraz zastępczy model sieci uwzględniający zmianę elastyczności sieci k_s wzdłuż przęsła zawieszania pozwala analizować ruch harmoniczny [5, 8]. W przypadku ruchu pojazdu ze stałą prędkością skutkuje to periodycznym wymu-

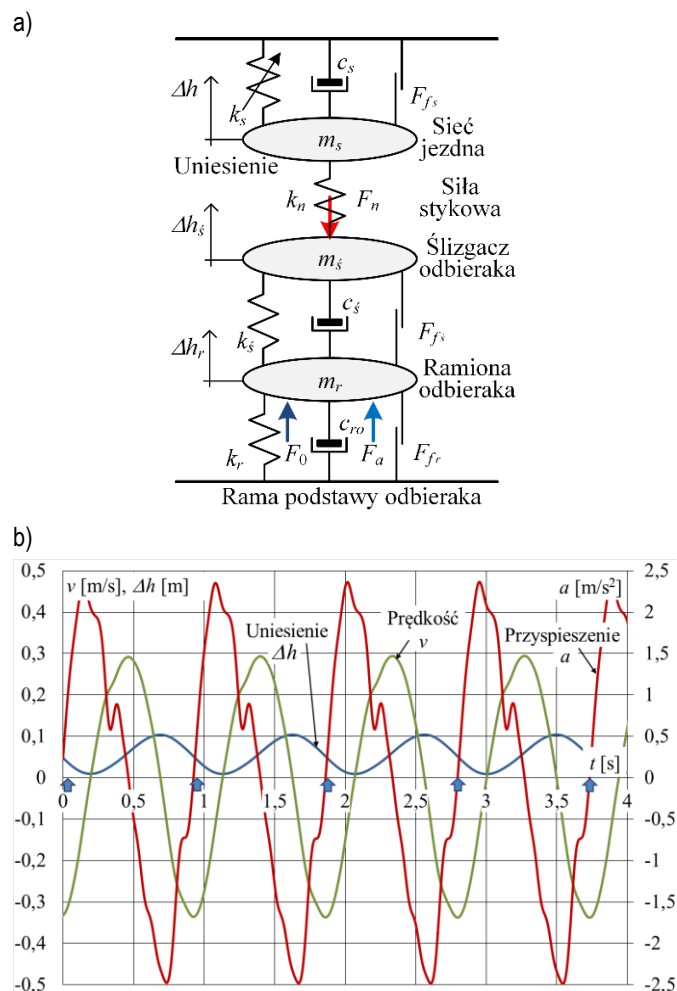
szeniem ruchu odbieraka w płaszczyźnie pionowej i fluktuacją siły stykowej. Wartość minimalna sżywności występuje pośrodku przęsła, a maksymalna w otoczeniu punktu podwieszenia. Dla danego typu sieci jezdnej, z prostych zależności, można obliczyć maksymalną i minimalną wartość sżywności sieci jezdnej. Schemat modelu układu odbierak – sieć jezdna przedstawiono na rysunku 2a, uwzględnia on masy zastępcze, elementy sprężyste i dyssypatywne. Dla tego modelu i podwyższonych względem nominalnych parametrów odbieraków i kolejowej sieci trakcyjnej PKP [5] oraz zwiększonej do 250 km/h prędkości jazdy obliczono przyspieszenia, prędkość i uniesienie przewodu jezdnej. Wyniki symulacji komputerowej przedstawiono na rysunku 2b.



Rys. 1. Przebiegi uniesienia przewodu jezdnej: a) dla pojedynczego odbieraka prądu przy różnych wartościach nacisku statycznego odbieraka i niewielkich prędkościach jazdy pojazdu; b) dla pojazdów z jednym i dwoma uniesionymi odbierakami przy różnych prędkościach jazdy

Wyniki symulacji pozwalają na wyznaczenie minimalnego zakresu pomiarowego czujników węzła pomiarowego, np. dla akcelometru otrzymano $\sim 2,5 \text{ m/s}^2$, a dla uniesienia 0,1 m.

Oprócz składowej pionowej siły unoszącej sieć, na przewód jezdny działa także składowa poprzeczna, wywołana nierównomiernością zużycia nakładek ślizgowych lub ich uszkodzeniem. Badania drgań tego typu prowadzone są także przez RTRI (Railway Technical Research Institute, Tokyo); szersze wyniki tych badań przedstawiono w pracach [15, 16]. Prace te potwierdzają użycie wieloosiowych akcelometrów do pomiaru interakcji odbieraka z siecią jezdną.



Rys. 2. Układ odbierak – sieć jezdna: a) zastępczy model odbieraka i sieci jezdnej; b) przebiegi przyspieszenia, prędkości i uniesienia przewodu jezdnej; znaczniki w postaci strzałek wskazują położenie konstrukcji wsporczych sieci

Na rysunku 3 pokazano przykładową nierównomiernie zużytą nakładkę stykową odbieraka. W literaturze znane są również rozwiązania wykorzystujące nowoczesne metody analizy sygnałów wizyjnych do badania stanu nakładek stykowych w warunkach eksploatacyjnych [3, 4].



Rys. 3. Widok profilu nakładki stykowej o nierównomiernym zużyciu, dodano linie pomocnicze profilu i listwy nakładki [fot. S. Judek]

2. PROJEKT BEZPRZEWODOWEJ SIECI SENSOROWEJ

2.1. Założenia projektowe

Na podstawie norm, opracowań literaturowych i przeprowadzonych symulacji komputerowych określono wymagania dla projektowanej sieci czujnikowej [2, 7]. Wartości graniczne występujących wielkości określono z wykorzystaniem przygotowanego modelu sieci trakcyjnej [8]. Przedstawiono je w tabeli 1.

Tab. 1. Wymagania dla czujnika projektowanej WSN

Wielkość	Opis	Wartość wymagana	Wartość założona
l_s	Zasięg łączności bezprzewodowej elementów sieci	> 40 m	60 m
t_p	Czas akwizycji próbek	> 20 s	30 s
f_p	Częstotliwość pomiaru	≥ 100 Hz	100 Hz
a_{max}	Przyspieszenie maksymalne	4 g	8 g
T_{amb}	Temperatura otoczenia	$-30 \div +50^\circ\text{C}$	$-30 \div +60^\circ\text{C}$
IP	Szczelność obudowy	IP54	IP67

2.2. Bezprzewodowa sieć sensorowa

Schemat proponowanego systemu monitorująco-diagnostycznego przedstawiono na rysunku 4. Centralnym elementem systemu jest koncentrator K, który odpowiada za komunikację z bezprzewodowymi czujnikami S, analizę i archiwizację zebranych danych oraz informowanie personelu nadzorującego stan sieci o wystąpieniu sytuacji nietypowych czy awaryjnych. Te wszystkie zadania realizowane są przez jeden komputer przemysłowy wielkości karty kredytowej – Fermio-EM. Komputer ten jest urządzeniem wielofunkcyjnym o bardzo niskim zużyciu energii. Warto dodać, że został od zaprojektowany i wyprodukowany w Polsce [18].

Czujniki docelowo zostaną zawieszane pomiędzy dwoma punktami podwieszenia sieci jezdnej w celu objęcia jednego pełnego cyklu odsuwu przewodu jezdnej względem osi toru. Wstępne analizy pozwalają przypuszczać, że zebrane w ten sposób dane pozwolą wykrywać problemy mogące wpływać na jakość odbioru energii z sieci przez pojazd. W toku dalszych prac, bazując na zebranych pomiarach wykonanych na eksploatowanym odcinku sieci, planowane jest wyznaczenie minimalnej liczby czujników niezbędnych do wykonania tego zadania.

Czujnik wykorzystywany w bezprzewodowej sieci sensorowej musi spełniać szereg wymagań. Kluczowym jest zapewnienie ciągłości działania w zmiennych warunkach środowiskowych. Brane pod uwagę muszą być takie czynniki jak: temperatura, opady atmosferyczne czy zaburzenia elektromagnetyczne. Podstawowym wyzwaniem jest zapewnienie zasilania czujnikom. Oczekiwany czas działania bez konieczności ingerencji personelu to kilka lat. Urządzenie powinno pozyskiwać energię ze źródeł odnawialnych jak słońce, wiatr czy drgania.

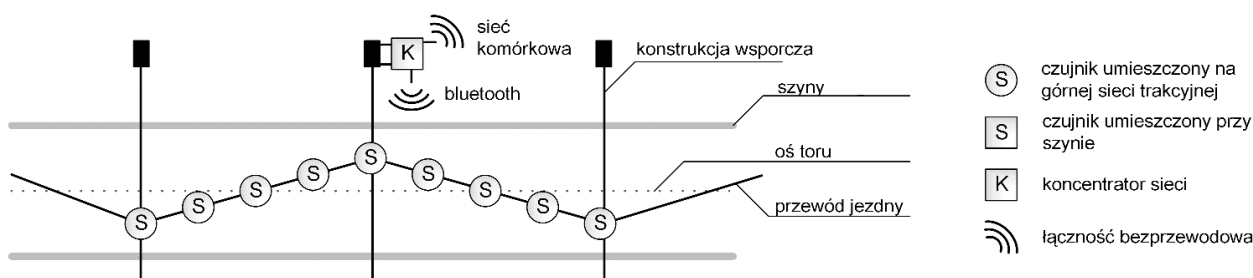
Schemat czujnika przedstawiono na rysunku 5. Komunikacja pomiędzy elementami systemu wykorzystuje interfejs SPI. Zapewnia on dużą przepustowość wykorzystując jedynie 4 linie do dwukierunkowej komunikacji. Dodatkową zaletą jest bardzo prosta obsługa – adresowanie odbywa się poprzez pojedynczą linię wybierającą układ, z którym ma nastąpić komunikacja.

Czujnik, w obecnej wersji, zasilany jest z pojedynczego ogniwa nieladownego o niskim współczynniku samorozładowania. Zastosowano przetwornicę, która obniża napięcie pracy elementów systemu do 2 V ograniczając zużycie energii. Całość została umieszczona w obudowie o klasie odporności na narażenia środowiskowe IP67.

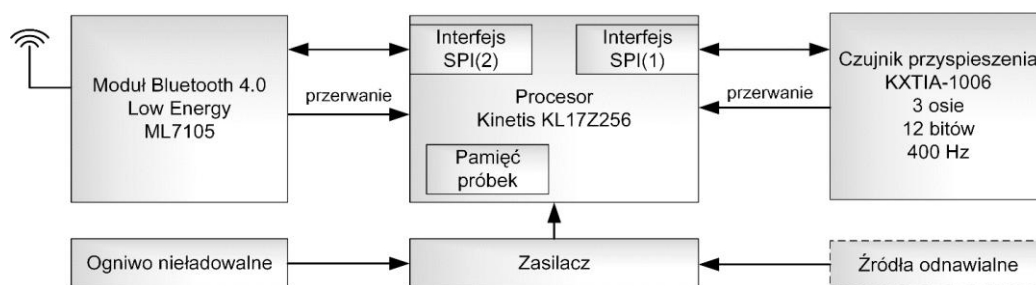
W przeszłości na rynku mikrokontrolerów dominowały układy wykorzystujące niekompatybilne rdzenie przygotowane przez różnych producentów np. AVR (Atmel), PIC8/16 (Microchip). Powoduje to konieczność stosowania dedykowanych kompilatorów i środowisk rozwojowych. Obecnie na rynku tych układów upowszechniły się rozwiązania bazujące na rdzeniu ARM Cortex-M. Ta swego rodzaju unifikacja pozwala w łatwy sposób, z nieznacznym nakładem pracy, uruchamiać kod na układach różnych producentów. Potwierdzeniem tego trendu jest fakt, że firmy, które do tej pory oferowały jedynie własne rozwiązania, wprowadziły do oferty układy wykorzystujące rdzeń ARM (np. rodzina Atmel SAM).

W projekcie wybrano procesor Freescale (NXP) Kinetis KL17Z256 z rdzeniem Cortex-M0. Czynniki kluczowymi były: niskie zużycie energii (166 μA – taktowanie rdzenia 2 MHz, włączone wszystkie peryferia, pojedyncze μA w trybie uśpienia), podwójny interfejs SPI, rozbudowany blok zarządzania zużyciem energii oraz znaczna pamięć RAM (32 KiB).

Obecnie w rozwiązaniach przemysłowych dominują urządzenia



Rys. 4. Schemat proponowanego systemu monitorująco-diagnostycznego



Rys. 5. Schemat blokowy węzła pomiarowego (linią przerywaną oznaczono blok w przygotowaniu)

wykorzystujące Zigbee lub dedykowane układy w pracujące w paśmie otwartym (ISM). Do transmisji danych w bezprzewodowej sieci sensorowej wybrano standard Bluetooth 4.0 Low Energy (BT4.0LE). Jego zaletą jest ogólnodostępna dokumentacja oraz duża liczba układów z nim zgodnych. Nowy standard BT4.0LE wprowadza wiele udogodnień dla projektantów czujników o niskim zużyciu energii: dynamiczną zmianę okresu rozgłaszania informacji czy dodatkowy tryb ograniczonej wykrywalności. Za komunikację bezprzewodową w standardzie BT4.0LE odpowiada układ ML7105 firmy Lapis, dołączony do mikroprocesora poprzez SPI (jak przedstawiono na rysunku 5.). Umożliwia on pracę w szerokim zakresie napięć zasilania: 1,6 - 3,6 V. Układ może pracować w temperaturach od -20 do 70°C. W czasie uśpienia pobiera pojedyncze mikroampery prądu, a podczas transmisji 9 mA.

Węzeł pomiarowy zaprojektowano do współpracy z dwoma czujnikami przyspieszenia KXT1A-1006. Umożliwiają one pomiary przyspieszeń w trzech osiach o wartości do 8 g, z rozdzielczością 8 lub 12 bitów. Możliwa jest zmiana częstotliwości próbkowania sygnału w zakresie 12,5 – 1600 Hz. W czasie pomiaru pobiera od 100 do 320 μ A – w zależności od wybranego trybu pracy.

Ograniczenie zużycia energii możliwe jest poprzez ograniczenie częstotliwości próbkowania, rozdzielczości oraz wykorzystanie wbudowanych algorytmów detekcji ruchu. Układ może zgłosić przerwanie w przypadku wykrycia zdarzenia o zadanej charakterystyce opisanej amplitudą i czasem trwania. Pozwala to na uśpienie mikroprocesora i oczekiwanie na wykrycie zdarzenia wymagającego reakcji (wykrycie wstrząsów pochodzących od nadjeżdżającego pojazdu). Przewidywane są fałszywe wzbudzenia czujnika np. przez wiatr. Akcelerometr można skonfigurować w taki sposób, aby rozpoczął automatycznie rejestrację do wewnętrznego bufora próbek.

2.3. Oprogramowanie

Urządzenie oprogramowane zostało z wykorzystaniem otwartych i darmowych narzędzi m.in. GCC, OpenOCD. Standard BT4.0LE definiuje opis i interfejs obsługi urządzenia w formacie GATT (ang. *Generic Attribute Profile*). Zawiera on strukturę składającą się z usług, charakterystyk i atrybutów. W standardzie zdefiniowano wiele typowych profili jak: czujnik bicia serca czy termometr, ale żaden z nich nie zapewniałby możliwości pełnej kontroli nad przedstawionym czujnikiem. Dlatego zdecydowano się na autorski profil GATT, którego realizację przedstawiono na rysunku 6. Składa się on z jednej usługi głównej z charakterystykami podzielonymi w trzy kategorie. Zmiany wszystkich parametrów takich jak: częstotliwość próbkowania, rozdzielczość pomiaru dokonywane są zdalnie przez koncentrator. Działanie samego sensora oparte jest na maszynie stanów, w której przejścia pomiędzy poszczególnymi stanami wywoływane są poprzez zdalne wysyłanie komend (np. rozkaz rozpoczęcia pomiaru) lub wystąpienie wewnętrznego zdarzenia (np. zapelnienie bufora próbek).



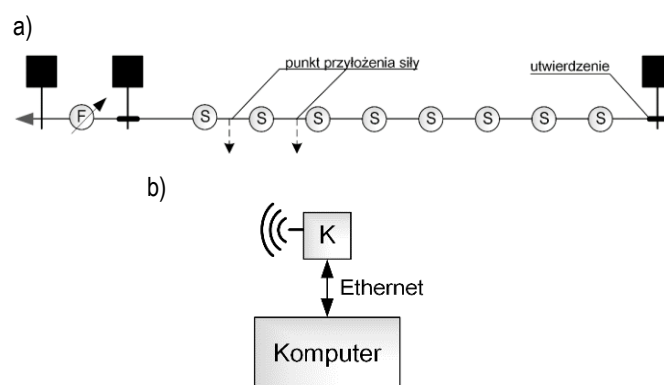
Rys. 6. Struktura profilu GATT czujnika w standardzie BT4.0LE

Każdy z atrybutów opisany jest przez pole właściwości, które definiuje czy może być dany atrybut może być odczytywany, zapisywany, czy możliwe jest dla niego włączenie żądania informowania (ang. *notify*) lub wskazywania (ang. *indicate*). Różnica pomiędzy

informowaniem, a wskazywaniem polega na tym, że każde wskazanie musi być potwierdzone przez odbiorcę. W przeciwnym przypadku serwer usługi przestaje je nadawać, aż do kolejnego potwierdzenia. Możliwe jest również wyznaczenie minimalnego poziomu autentykacji lub autoryzacji połączenia w celu uzyskania możliwości np. zapisu. Wprowadzenie mechanizmów autoryzacji i szyfrowania komunikacji pomiędzy urządzeniami zaplanowano jako dalszy etap prac nad systemem. Pozwoli to zabezpieczyć sieć przed próbami ingerencji z zewnątrz skutkującej wadliwym działaniem czujników.

3. EKSPERYMENT LABORATORYJNY

W celu weryfikacji wyników pomiarów za pośrednictwem węzłów pomiarowych, zbudowano stanowisko laboratoryjne, którego ogólny schemat podano na rysunku 7 [8]. Między dwoma punktami odległymi o 12 m naprężano nowy jak i zużyty drut jezdny typu Djp100 przy różnych wartościach naciągu. W wybranych punktach dokonywano skokowego odciażania drutu jezdnego z zawieszanego ciężaru oraz rejestrowano drgania pionowe i poziome przewodu za pośrednictwem dalmierzy zbliżeniowych o dokładności ok. 0,1 mm i częstotliwości granicznej 100 Hz.

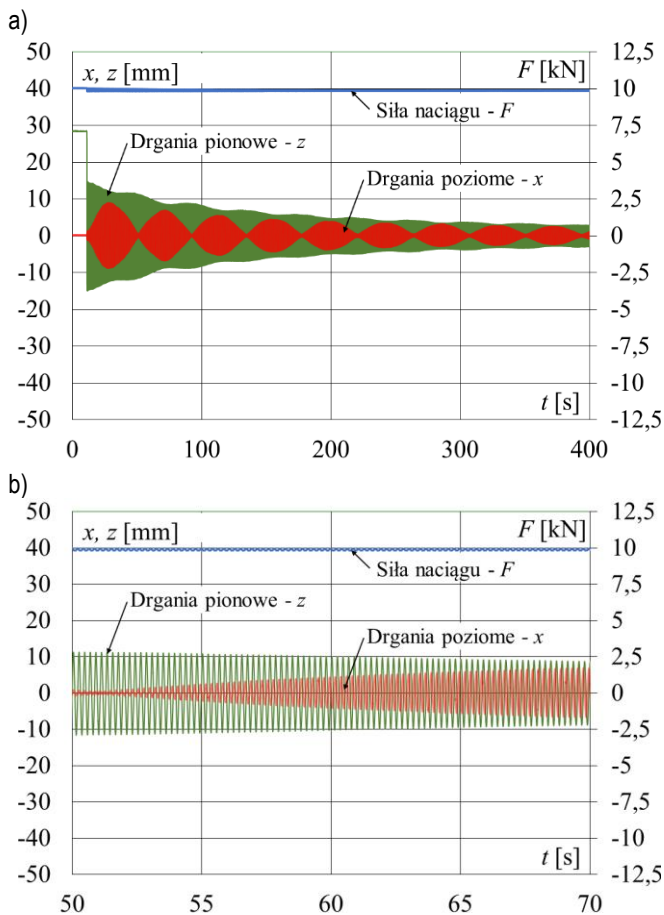


Rys. 7. Schemat stanowiska badawczego: a) przewód trakcyjny z czujnikami; b) podłączenie koncentratora

Na rysunku 8 przedstawiono przykładowe drgania przewodu jezdnego Djp100 o 14% zużyciu przy odciażeniu z ciężaru o masie 10 kg. Ciężar wymuszający drgania zamontowano w środku rozpiętego przewodu, w tym samym miejscu dokonano rejestracji drgań za pośrednictwem dalmierzy. Na rysunku widoczne są drgania sprzężone w osi poziomej x i osi pionowej z. Siła naciągu przewodu wynosiła 10 kN.

Procedura pomiaru, uwzględniająca wykorzystanie wielu czujników, przebiegała następująco:

- zawieszenie obciążenia w wybranym punkcie przewodu jezdnego,
- synchronizacja czasu czujników do referencyjnego źródła czasu w koncentratorze sieci,
- odczytanie wartości spoczynkowej przyspieszeń wszystkich czujników,
- wysłanie rozkazu rozpoczęcia pomiaru w zadanej chwili czasu – ten krok był niezbędny ze względu na przyjętą zasadę jednego aktywnego połączenia koncentrator-czujnik,
- wyświetlenie odliczania do rozpoczęcia pomiaru na ekranie komputera,
- skokowe wymuszenie drgań poprzez odciażenie zawieszono ciężaru,
- pomiar w czasie 15 s, wynikający z rozmiaru bufora wewnętrznego czujnika,
- odczytanie wyników pomiarów przyspieszeń ze wszystkich czujników i ich zapis do pliku tekstowego.



Rys.8. Przebieg drgań przewodu trakcyjnego na stanowisku laboratoryjnym przy skokowym odciążeniu przewodu jezdnego z zawieszonoego ciężaru: a) drgania przewodu; b) w rozszerzonym zakresie czasu

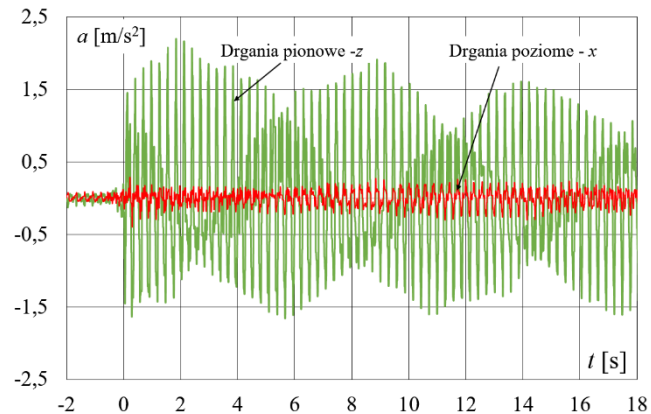
Na rysunku 9 przedstawiono realizację koncentratora sieci umieszczonego w obudowie przystosowanej do montażu na szynie DIN.



Rys. 9. Koncentrator sieci: - widok zmontowanego urządzenia

Na rysunku 10 zaprezentowano zmierzone drgania przewodu jezdnego o 14% zużyciu przy odciążeniu z ciężaru o masie 5 kg. Ciężar wymuszający drgania zamontowano w środku rozpiętego przewodu, w tym samym miejscu dokonano rejestracji drgań za pośrednictwem czujnika. Przedstawione zostały drgania sprzężone w osiach x , z (odpowiednio: ruch poprzeczny i ruch pionowy) przy naciągu przewodu z siłą 5 kN. Na wykresie (czas $t < 0$) widoczny

jest przebieg przyspieszenia przed rozpoczęciem pomiaru. Wyniki zostały znormalizowane względem przyspieszenia ziemskiego.



Rys. 10. Przebieg przyspieszenia drgań przewodu trakcyjnego na stanowisku laboratoryjnym przy skokowym odciążeniu przewodu jezdnego z zawieszonoego ciężaru

PODSUMOWANIE

Prezentowane czujniki bezprzewodowej sieci sensorowej pozwalają w sposób dokładny i pewny rejestrować przyspieszenia w wybranych punktach górnej sieci trakcyjnej. Osiągnięto zadowalającą zbieżność z wynikami zebranymi z wykorzystaniem referencyjnych laserowych czujników położenia. Zgodność pomiędzy tak uzyskanym przebiegiem referencyjnym, a wynikami pomiarów jest zadowalająca. Realizacja detekcji uderów, np. uszkodzonej nakładki stykowej z wyżłobieniami, wymaga krótkiego okresu rejestracji (kilkanaście-kilkadziesiąt sekund). Do wykrycia takiego stanu nie są wymagane złożone algorytmy przetwarzania numerycznego.

Niezbędne są dalsze prace mające na celu zmniejszenie zużycia energii oraz wykorzystanie zewnętrznych źródeł zasilania np. solarnych. Kolejnym krokiem będą długoczasowe testy stabilności i odporności na warunki środowiskowe. Po wprowadzeniu ewentualnych poprawek sieć sensorowa zostanie przetestowana na aktywnie eksploatowanym odcinku sieci trakcyjnej.

Na bazie zebranych danych przygotowany zostanie algorytm wykrywający zdarzenia negatywnie wpływające na jakość odbioru energii elektrycznej z sieci trakcyjnej przez pojazdy. Zbudowany zostanie również system gromadzenia danych z modułem zdalnego natychmiastowego powiadomiania służ odpowiedzialnych za utrzymanie sieci trakcyjnej.

BIBLIOGRAFIA

1. Grudén M. et al.: Diversity Techniques for Robustness and Power Awareness in Wireless Sensor Systems for Railroad Transport Applications. *Sustainable Wirel. Sens. Net., InTech* 2010.
2. Hodge V. J., O'Keefe S., Weeks M., Moulds A., *Wireless Sensor Networks for Condition Monitoring in the Railway Industry: A Survey. IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems*, vol. 16, No. 3, June 2015.
3. Jarzębowicz L., Judek S., *Monitoring i diagnostyka nakładek stykowych kolejowych odbieraków prądu z wykorzystaniem systemu wizyjnego 3D. Przegląd Elektrotechniczny*, No. 8 2013.
4. Judek S., Jarzębowicz L., *Algorithm for automatic wear estimation of railway contact strips based on 3D scanning results," in 2014 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), 2014, pp. 724–729.*

5. Judek S., Karwowski K., Mizan M., Wilk A., Modelowanie współpracy odbieraka prądu z siecią trakcyjną. *Przegląd Elektrotechniczny*, No. 12 (2015).
6. Karwowski K., Diagnostyka sieci trakcyjnej i monitoring odbieraków prądu. *Wiadomości Elektrotechniczne* 7/2015.
7. Karwowski K., Kuciński M., Sieci sensorowe wykorzystywane w monitoringu i diagnostyce obiektów trakcji elektrycznej. *SEMTRAK 2014 – XVI Ogólnopolska Konferencja Naukowa Trakcji Elektrycznej*. Kraków, 2014.
8. Karwowski K., Michna M., Mizan M., Wilk A.: Analiza drgań przewodu jezdni sieci trakcyjnej w aspekcie oceny jej stanu technicznego. *Logistyka* nr 3/2015.
9. Kiessling F. et al., *Contact Lines for Electrical Railways: Planning - Design - Implementation – Maintenance*. Wiley VCH, 2009.
10. Koyama T., Detection of pantograph failures using sensors fixed to the catenary system. *Railway Tech. Avalanche*. No. 41, December 27, 2012.
11. Kumar A. et al.: *An Industrial Perspective on Wireless Sensor Networks - A Survey of Requirements, Protocols, and Challenges*. *IEEE Comm. Surveys & Tutorials*, 2014.
12. Liu Y. et al.: *Application of Wireless Sensor Mesh Networks In ITS*. *Pacific-Asia Conf. Circuits, Comm. and Syst.*, 2009.
13. Mizan M., Karwowski K., Karkosiński D., Monitoring odbieraków prądu w warunkach eksploatacyjnych na linii kolejowej. *Przegląd Elektrotechniczny*, No. 12 (2013).
14. Travifia-Moreno C. et al.: *WiFi Sensor Networks: A study of energy consumption*. *11th Int. Multi-Conf. Syst., Sig. and Devices*, 2014.
15. Usuda T., Ikeda M., Koyama T., Detecting method of pantograph failure by measuring catenary vibration. *SPARK*, 2013.
16. Usuda T., Ikeda M., Yamashita Y., Method for Detecting Step-shaped Wear on Contact Strips by Measuring Catenary Vibration. *QR of RTRI*, Vol. 52, No. 4, Nov. 2011.
17. Wilk A., Karwowski K., Judek S., Mizan M.: A new approach to determination of the two-mass model parameters of railway current collector. *Twelfth International Conference MET'2015 Modern Electrified Transport 4 - 7 October 2015 Trogir – Croatia*.
18. 3City Electronics Sp. z o.o., Gdańsk, strona internetowa: <http://3cityelectronics.com>

OVERHEAD CONTACT LINE MONITORING USING WIRELESS SENSOR NETWORK – SENSOR NODE

Abstract

Together with increasing traction vehicle's speed a need to maintain a traction network in an appropriate state rises. Constant monitoring and diagnostics is necessary, allows to detect unfavorable phenomenon deteriorating power receive quality e.g.: excessive wear of contact strips, incorrect vehicle's trolley settings. One of the methods is to place acceleration sensor on overhead contact line. Waveform's analysis should allow estimation of traction network – trolley system shape. Wireless network selection as sensor network communication medium bypasses necessity for electric insulation between network's elements. The design has to take into an account low power usage and renewable sources energy harvesting methods. Bluetooth 4.0 Low Energy as transmission medium was chosen. It is dedicated for customer marker, however its multiple advantages can be exploited in industrial sensors. In paper was presented design and realization of wireless sensor network to investigate the catenary line acceleration. Hardware and software solution was described. Preliminary laboratory measurement's results were presented.

Autorzy:

dr hab. inż. **Krzysztof Karwowski**, prof. nadzw. PG – Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, Katedra Inżynierii Elektrycznej Transportu; 80-233 Gdańsk; ul. G. Narutowicza 11/12; e-mail: krzysztof.karwowski@pg.gda.pl

mgr inż. **Marek Kuciński** – Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, Katedra Inżynierii Elektrycznej Transportu; 80-233 Gdańsk; ul. G. Narutowicza 11/12.

inż. **Edward Kulig** – Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP, Oddział Badawczo Rozwojowy Urządzeń Sterowania Napędów; 87-100 Toruń; ul. S. Batorego 107; e-mail: e.kulig@obrusrn.pl