

Autoreferat

1. Imię i nazwisko

Jacek, Dominik Skibicki

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania

Magister inżynier elektryk, specjalność – trakcja elektryczna, praca dyplomowa magisterska pt. „*Opracowanie i wykonanie dydaktycznego stanowiska laboratoryjnego do badania silników trakcyjnych.*” Gdańsk, Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, 18 września 2000 r.

Dyplom ukończenia studiów specjalistycznych w zakresie elektrotechniki odbytych w ramach Studium Doktoranckiego Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, 30 września 2001 r.

Doktor nauk technicznych w dyscyplinie elektrotechnika, rozprawa doktorska pt. „*Wpływ wybranych stanów przejściowych w układzie zasilania na sieciowe pojazdy trakcyjne.*” Gdańsk, Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, 21 grudnia 2004 r.

Dyplom ukończenia 60 godzinnego kursu pedagogicznego dla pracowników Politechniki Gdańskiej, 05 września 2005 r.

Dyplom ukończenia szkolenia specjalistycznego „*Andragogika – kluczem do efektywnej dydaktyki.*” Gdańsk, Politechnika Gdańska, 21 stycznia 2007 r.

3. Dotychczasowe zatrudnienie

Od 01 października 2004 r. do 31 stycznia 2005 r. – asystent, Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki.

Od 01 lutego 2005 r. do 28 lutego 2006 r. – adiunkt, Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki.

Od 02 kwietnia 2006 r. do 28 lutego 2013 r. – adiunkt, Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki.

Od 01 marca 2013 r. do 19 lutego 2018 r. – adiunkt, Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki.

Od 20 lutego 2018 r. – starszy wykładowca, Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki.

4. **Wskazanie osiągnięcia naukowego wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. Z 2016 r. poz. 1311.)**

a) tytuł osiągnięcia naukowego

Wizyjne metody pomiarowe w diagnostyce górnej sieci trakcyjnej.

b) podstawą ubiegania się o nadanie stopnia dr hab. w dziedzinie nauk technicznych, dyscyplinie elektrotechnika jest monografia:

Skibicki J.: *Wizyjne metody pomiarowe w diagnostyce górnej sieci trakcyjnej*. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej 2018. ISBN 978-83-7348-746-8. Seria „Monografie” nr 174.

c) omówienie celu naukowego w/w. pracy i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Rozwój gospodarczy oraz zwiększanie mobilności współczesnych społeczeństw przekładają się na obserwowany w ostatnich latach wzrost natężenia przewozów pasażerskich i towarowych. Chcąc ograniczyć negatywny wpływ zwiększonego ruchu na otoczenie i środowisko naturalne, władze Unii Europejskiej oraz innych rozwiniętych krajów przykładają duże znaczenie do idei zrównoważonego transportu. W ramach tej idei szczególną rolę odgrywa transport kolejowy, gdyż charakteryzuje się on wysoką efektywnością, niską energochłonnością i najmniejszym stopniem oddziaływania na środowisko. Promowanie transportu szynowego skutkuje obserwowanym wzrostem natężenia przewozów towarowych i pasażerskich. Ponad 40% światowych linii kolejowych jest zelektryfikowanych. W Polsce wskaźnik ten przekracza 63%, a np. w Szwajcarii, przed laty podjęto decyzję o całkowitym zelektryfikowaniu sieci kolejowej. Ponieważ elektryfikacja dotyczy w pierwszej kolejności linii magistralnych, na których natężenie przewozów jest największe, udział kolei elektrycznych w całkowitych przewozach kolejowych ma charakter dominujący. W Polsce około 90% przewozów kolejowych jest realizowanych trakcją elektryczną.

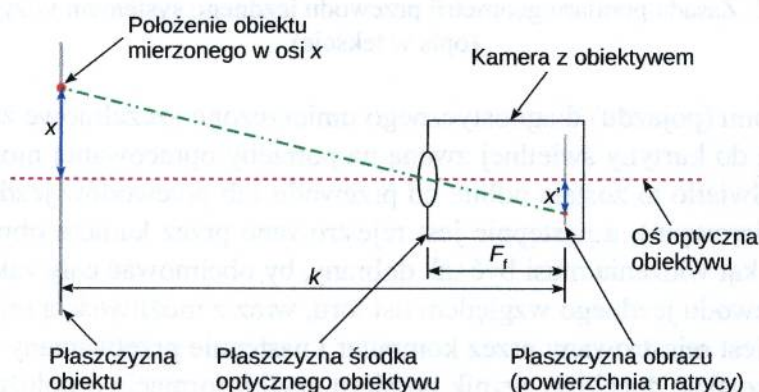
Niezawodność zelektryfikowanego transportu szynowego zależy od pewności dostarczania energii elektrycznej o odpowiednich parametrach jakościowych do pojazdu trakcyjnego. Obecnie najpowszechniejszym i najlepszym sposobem przesyłu energii od źródła zasilania do pojazdu jest górna sieć trakcyjna, współpracująca z odbierakami prądu pojazdów trakcyjnych. Aby współpraca ta przebiegała poprawnie, oba elementy muszą spełniać określone wymagania techniczne związane zarówno z ich poprawnym projektem, a także właściwą eksploatacją. Wymagania te są sprecyzowane przez wewnętrzne przepisy poszczególnych zarządców infrastruktury oraz stosowne normy. Ponadto wdrażane obecnie przepisy dotyczące interoperacyjności kolejowych systemów transportowych na terenie Unii Europejskiej również zawierają zapisy definiujące wymagania techniczne stawiane sieciom trakcyjnym i odbierakom prądu. Ponieważ najbardziej newralgicznym miejscem na drodze przesyłu energii elektrycznej z układu zasilania do pojazdu jest zestyk ślizgacza z przewodem jezdny, prowadzone są prace mające na celu doskonalenie konstrukcji mechanicznej odbieraka oraz opracowuje się nowe typy sieci trakcyjnych, tak by zapewnić niezawodność zasilania pojazdów. W związku z tym, że rosną wymagania techniczne odnośnie parametrów sieci, równolegle należy doskonalić systemy jej diagnostyki, tak by było możliwe jednoznaczne stwierdzenie czy konstrukcja sieci oraz jej stan techniczny spełniają wymagania wynikające z obowiązujących przepisów. Konieczność doskonalenia systemów diagnostycznych przekłada się na potrzebę opracowy-

wania nowych, doskonalszych metod pomiarowych, pozwalających na lepsze i pełniejsze monitorowanie parametrów układu dostarczającego energię do pojazdu trakcyjnego.

Przeprowadzona analiza wykorzystywanych obecnie rozwiązań technicznych na potrzeby diagnostyki sieci trakcyjnej, przedstawiona w rozdziale 2 opracowanej monografii wykazała, że ich parametry użytkowe są w większości przypadków niewystarczające, aby wykonać podstawowe pomiary diagnostyczne (zalicza się do nich pomiar wysokości zawieszenia przewodów jezdnych nad główką szyny oraz pomiar odsuwu, czyli położenia przewodów względem osi toru) z dokładnością wymaganą przez wewnętrzne przepisy zarządców infrastruktury, krajowe oraz międzynarodowe przepisy normatywne czy techniczną specyfikację interoperacyjności. Dotyczyło to zarówno systemów pomiaru wykorzystujących metody stykowe jak i bezkontaktowe. Metody stykowe to takie, w których pomiary geometrii sieci trakcyjnej wykonywane są w warunkach dynamicznych, przy wykorzystaniu jako elementu pomiarowego odbieraka prądu doposażonego w odpowiednie czujniki. Z kolei pod pojęciem metod bezkontaktowych rozumie się układy pomiaru zdalnego najczęściej wykorzystujące skanery laserowe. Przy braku kontaktu elementu pomiarowego z siecią pomiary mogą być realizowane w warunkach statycznych. Dla wielu z istniejących systemów diagnostycznych uzyskiwany podczas pomiarów poziom niepewności nie był podawany, a niekiedy błędnie definiowano dokładność systemu myląc to pojęcie z rozdzielczością (pojęcia te nie są tożsame). Praktycznie w żadnym przypadku nie podano informacji w jaki sposób określono poziom dokładności wyników uzyskiwanych przy użyciu danego systemu pomiarowego.

Celem naukowym pracy stanowiącej osiągnięcie, było opracowanie nowej metody pomiaru położenia i przemieszczenia przewodu jezdnego sieci trakcyjnej na potrzeby jej diagnostyki. Założono, że zakres pomiarowy powinien pozwalać na pomiar położenia w całym zakresie jego możliwych zmian, a uzyskany poziom niepewności pomiaru powinien być na tyle niski, by można było jednoznacznie określić, czy parametry sieci trakcyjnej spełniają wymagania określone obecnie obowiązującymi przepisami.

Opracowany system pomiarowy jest systemem bezkontaktowym opartym na technikach wizyjnych. Bazuje on na rejestracji obrazu w przestrzeni dwuwymiarowej 2D przy użyciu szybkiej kamery obrazowej. Podstawową zasadą wykorzystywaną przez wizyjne systemy pomiarowe jest reguła odwzorowania optycznego pokazana dla jednej osi pomiaru x na rys. 1.

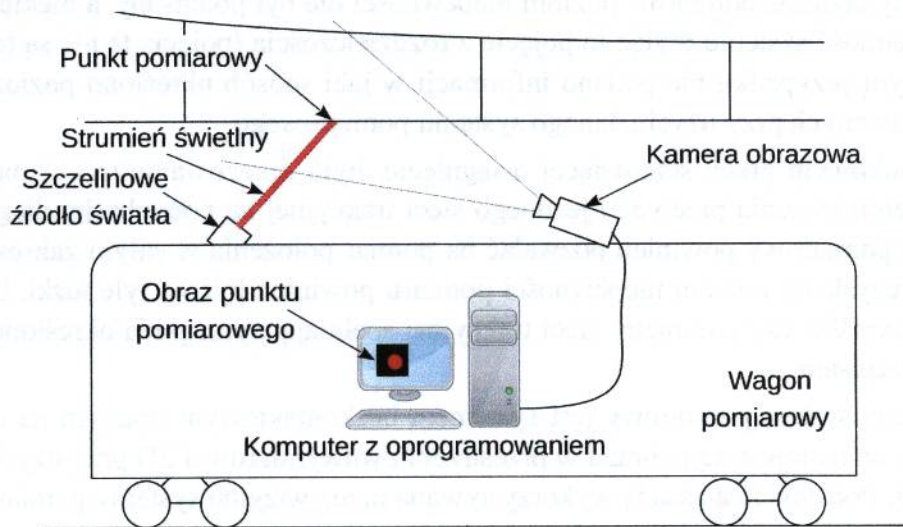


Rys. 1. Zasada pomiaru wizyjnego z użyciem kamery obrazowej; gdzie: k – odległość między centralnym punktem płaszczyzny obiektu a płaszczyzną obrazu; F_f – odległość między środkiem optycznym obiektywu a płaszczyzną obrazu; x – położenie obiektu mierzonego w osi x ; x' – położenie obrazu obiektu mierzonego w osi płaszczyzny matrycy odpowiadającej osi x płaszczyzny obiektu.

Dla układu przedstawionego na rys. 1, znając wymiary charakterystyczne czyli k oraz F_f , można wyznaczyć położenie obserwowanego elementu w osi x płaszczyzny obiektu zgodnie z następującą zależnością:

$$x = x' \cdot \left(\frac{k}{F_f} - 1 \right) \quad (1)$$

Analogiczna zależność obowiązuje dla osi y płaszczyzny obiektu, która to oś jest prostopadła do osi x . Stanowisko zbudowane na bazie schematu przedstawionego na rys. 1 nie nadaje się do pomiarów geometrii sieci trakcyjnej w celach diagnostycznych, gdyż płaszczyzna obiektu jest równoległa do płaszczyzny obrazu co wymagałoby umieszczenia kamery w miejscu przewodów jezdnych. Ponadto płaszczyzna obiektu powinna się przemieszczać wzdłuż linii kolejowej, co w rozpatrywanym przypadku również nie jest możliwe. Z tych powodów konieczne jest dostosowanie przedstawionego układu pomiarowego do wymagań wynikających z cech obiektu mierzonego, jakim jest geometria sieci trakcyjnej. W tym celu zaproponowano układ pomiarowy, którego podstawowe cechy pokazano na rys. 2.

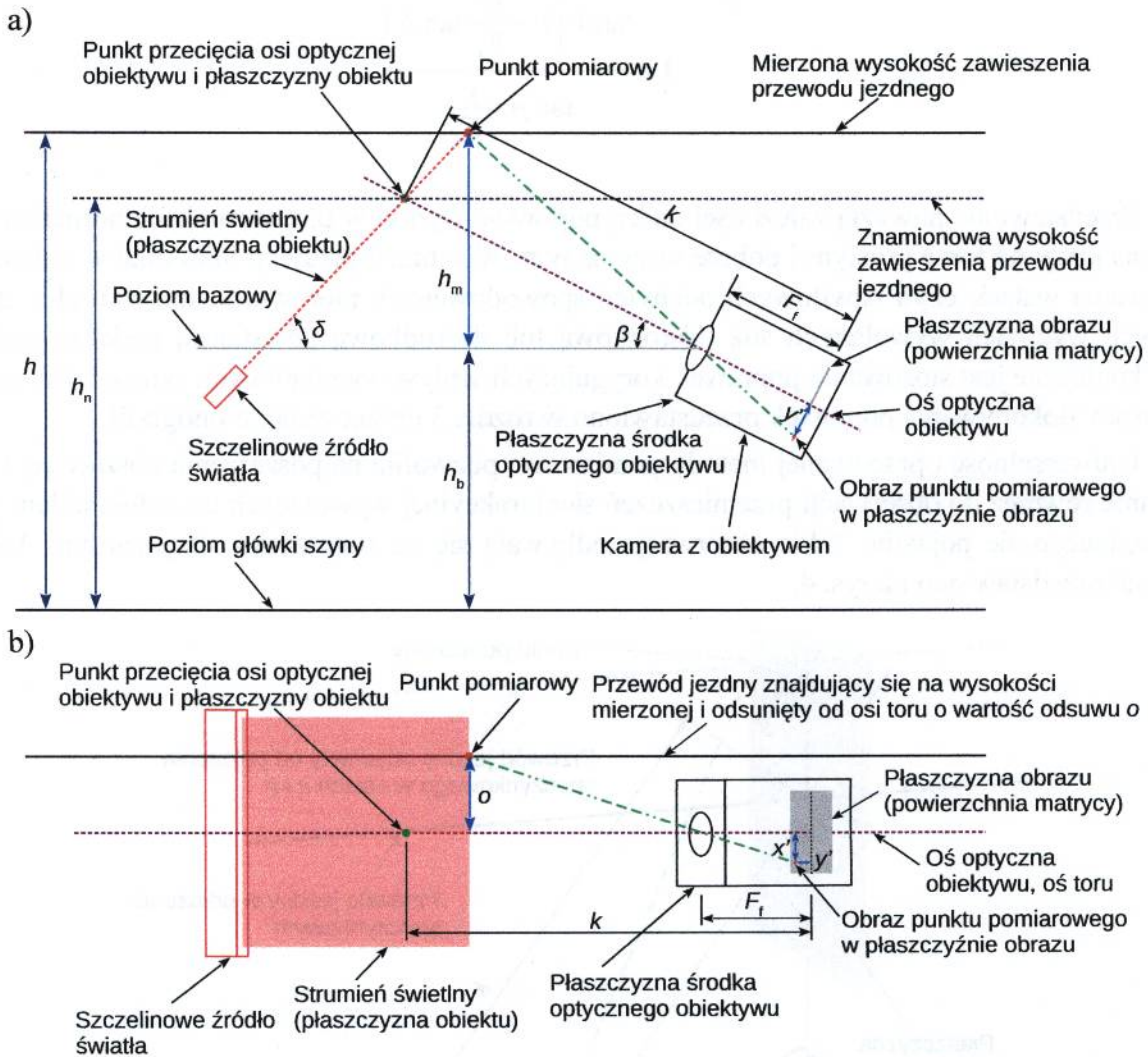


Rys. 2. Zasada pomiaru geometrii przewodu jezdnych systemem wizyjnym (opis w tekście)

Na dachu wagonu (pojazdu) diagnostycznego umieszczono szczelinowe źródło światła emitujące wiązkę podobną do kurtyny świetlnej zwaną na potrzeby opracowanej monografii wirtualnym odbierakiem prądu. Światło to zostaje odbite od przewodu lub przewodów jezdnych w miejscu pomiaru (punkcie pomiarowym), a następnie jest rejestrowane przez kamerę obrazową, wyposażoną w obiektyw, którego kąt widzenia musi być tak dobrany, by obejmować cały zakres dopuszczalnych zmian położenia przewodu jezdnych względem osi toru, wraz z możliwością rejestracji przekroczeń tego zakresu. Obraz jest rejestrowany przez komputer i następnie przetwarzany tak, by na jego podstawie można było uzyskać docelowy wynik pomiaru czyli informacje o położeniu przewodu jezdnych względem osi toru. Liczba rejestrowanych punktów pomiarowych zależy od ilości przewodów jezdnych, a ta może się zmieniać najczęściej od 1 do 4 w zależności od typu sieci trakcyjnej i miejsca pomiaru (zwykły odcinek toru, rozjazd, skrzyżowanie itp.).

Ponieważ płaszczyznę obrazu stanowi nachylona pod pewnym kątem kurtyna świetlna, nie jest zachowana równoległość jej oraz płaszczyzny matrycy (szczegółowe informacje odnośnie zasad pozycjonowania elementów składowych systemu pomiarowego zamieszczono w rozdz. 3 oprac.

owanej monografii). Rejestrowany obraz będzie więc obarczony charakterystycznymi zniekształceniami trapezowymi. Ich korekta jest możliwa, pod warunkiem znajomości wielkości charakterystycznych pokazanych na rys. 3.



Rys. 3. Pomiar geometrii przewodu jezdnego systemem wizyjnym – konfiguracja układu:

a) widok z boku; b) widok z góry; gdzie: h – wysokość zawieszenia przewodu jezdnego; h_n – nominalna wysokość zawieszenia przewodu jezdnego; h_b – wysokość poziomu bazowego nad główką szyny, względem którego to poziomu określana jest wysokość mierzona h_m ; o – wartość odsuwu; β – kąt nachylenia kamery względem poziomu; δ – kąt nachylenia oświetlacza względem poziomu

Na podstawie pomiaru położenia obrazu przewodu (przewodów) jezdnych na powierzchni matrycy, można wyznaczyć jego położenie w przestrzeni dwuwymiarowej czyli bieżącą wartość odsuwu i wysokości zawieszenia. W tym celu należy posłużyć się następującymi zależnościami. Dla pomiaru odsuwu:

$$o = \frac{x' \cdot \left(\frac{k}{F_f} - 1 \right) \cdot (\sin \beta + \cos \beta \cdot \tan \delta)}{\tan \delta + \frac{y'}{F_f}} \quad (2)$$

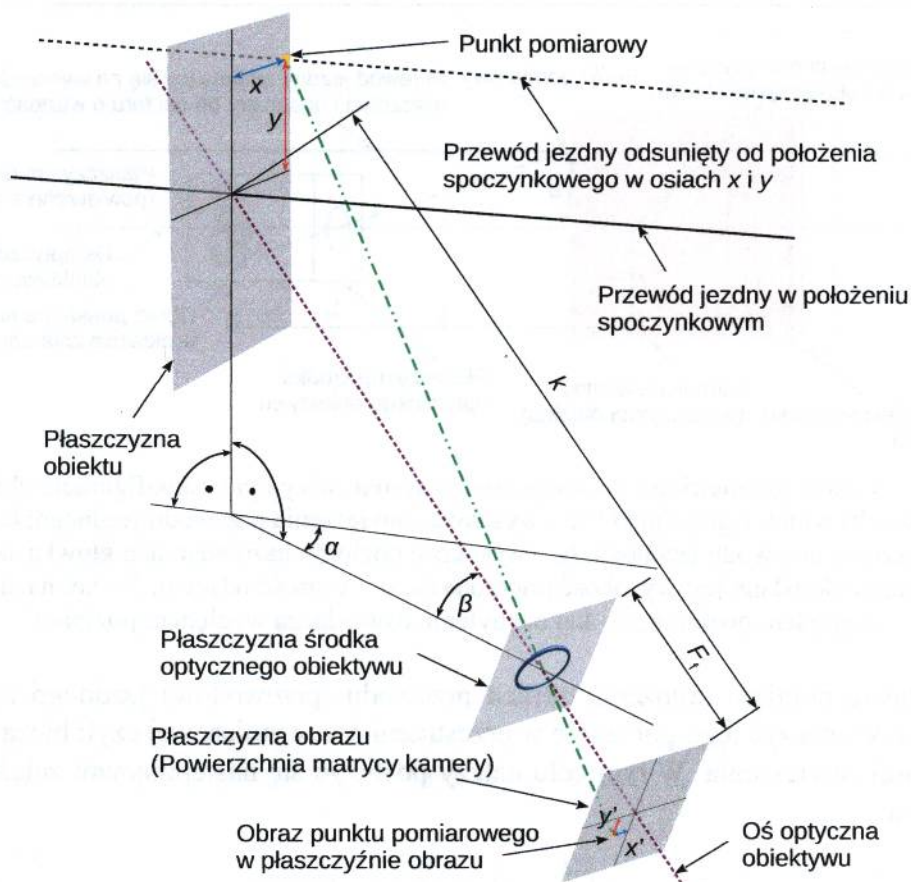
oraz odpowiednio dla pomiaru wysokości zawieszenia:

$$h = h_b + \frac{(k - F_f) \cdot (\sin \beta + \cos \beta \cdot \tan \delta)}{\tan \delta \cdot \left(1 - \frac{y'}{F_f} \cdot \tan \beta\right)} \quad (3)$$

$$1 + \frac{y'}{\tan \beta + \frac{y'}{F_f}}$$

Przedstawione powyżej zależności dadzą poprawne wyniki w tzw. warunkach normalnych, tj. podczas jazdy po torze prostym i dobrze utrzymanym. W sytuacji jazdy po łuku oraz w trakcie występowania wahań, czyli chwilowych odchyłeń spowodowanych nierównościami toru albo długotrwałych wychyleń wywołanych siłą odśrodkową lub dośrodkową powstającą podczas jazdy po łuku, konieczne jest stosowanie poprawek korygujących wpływ wymienionych sytuacji. Szczegółowe zasady dokonywania poprawek przedstawiono w rozdz. 3 opracowanej monografii.

Uniwersalność opracowanej metody pomiarowej pozwoliła na poszerzenie obszaru jej wykorzystania również do obserwacji przemieszczeń sieci trakcyjnej wywołanych np. odbierakiem prądu poruszającego się pojazdu. Takie obserwacje odbywają się na stanowisku stacjonarnym, którego schemat przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Układ do pomiaru przemieszczeń przewodu jezdnego na stanowisku stacjonarnym; gdzie: α – kąt odchylenia pomiędzy płaszczyzną, w której leży oś optyczna obiektywu, a płaszczyzną w której leży przewód jezdny

Płaszczyzna, w której leży oś optyczna obiektywu jest odchylona o kąt α od płaszczyzny, w której znajduje się przewód jezdny w położeniu spoczynkowym, a sama kamera nachylona jest względem poziomu o kąt β . Położenie płaszczyzny obiektu względem powierzchni matrycy sprawia, że rejestrowany obraz obarczony jest podwójnymi zniekształceniami trapezowymi. Aby je skorygować i uzyskać informację o położeniu przewodu jezdnego w osi poziomej i pionowej na podstawie lokalizacji obrazu przewodu na matrycy kamery, należy skorzystać z następujących zależności. Dla osi poziomej x :

$$x = \frac{(k - F_f) \cdot x' \cdot \cos \beta}{\cos \alpha \cdot (F_f \cdot \cos \beta - y' \cdot \sin \beta) - x' \cdot \sin \alpha} \quad (4)$$

Oraz odpowiednio dla osi pionowej y :

$$y = \frac{(k - F_f) \cdot (y' + x' \cdot \sin \beta \cdot \tan \alpha)}{F_f \cdot \cos \beta - y' \cdot \sin \beta - x' \cdot \tan \alpha} \quad (5)$$

Niezależnie od rodzaju stanowiska i jego przeznaczenia, rejestrowany przez kamerę kadr musi zostać odpowiednio przetworzony, tak by odczytać z niego położenie obrazu mierzonego obiektu (przewodu jezdnego). W tym celu konieczne jest usunięcie wszystkich informacji niebędących szukanym obrazem, a pozostawienie jedynie tych pożądanych. Zasady przetwarzania obrazu dla rozpatrywanych stanowisk pomiarowych zamieszczono w rozdz. 4 monografii. Znajdują się tam również informacje na temat korekty błędów przetwarzania, która to procedura pozwala na estymacyjne odtworzenie brakujących informacji dla kadrów błędnie przetworzonych, tj. takich z których nie udało się uzyskać poszukiwanych informacji o położeniu obrazu obiektu na matrycy kamery.

Drugim elementem celu naukowego pracy było wykazanie, że poziom niepewności pomiaru, jaki jest możliwy do osiągnięcia przy pomiarach realizowanych z użyciem opracowanego systemu wizyjnego, pozwala na spełnienie wymagań odnośnie dokładności pomiaru geometrii sieci trakcyjnej sprecyzowanych w krajowych i europejskich przepisach normatywnych.

Wyznaczenie poziomu niepewności pomiaru dla wizyjnych systemów pomiarowych jest sprawą dość złożoną. Podstawową przyczyną takiego stanu rzeczy jest użycie kamery, która nie jest *de facto* przyrządem pomiarowym. Z tego powodu producenci kamer nie podają podstawowych danych o parametrach metrologicznych jakie są dostępne dla typowych narzędzi mierniczych. Dlatego aby określić poziom niepewności pomiaru docelowego, konieczne było szczegółowe rozpoznanie czynników determinujących niepewność pomiaru położenia obrazu obiektu mierzonego na matrycy kamery. W ramach tych prac określono wpływ takich czynników jak:

- poziomu jasności obrazu mierzonego obiektu (poziomu oświetlenia);
- aktualnej czułości matrycy kamery;
- odległości pomiędzy kamerą a obiektem mierzonym związanej z wartością ogniskowej zastosowanego obiektywu;
- zmian temperatury wywołanych czynnikami wewnętrznymi (nagrzewanie kamery podczas pracy) oraz zewnętrznymi (zewnętrzne źródła ciepła);
- drgań komunikacyjnych (drgań podłoża wywołanych działalnością człowieka).

Aby określić wpływ każdego z wymienionych czynników wykonano badania eksperymentalne, w trakcie których wymuszano zmiany parametrów poszczególnych wielkości w zakresach, jakie mogą występować w warunkach rzeczywistych pomiarów. Rezultaty przeprowadzonej analizy wy-

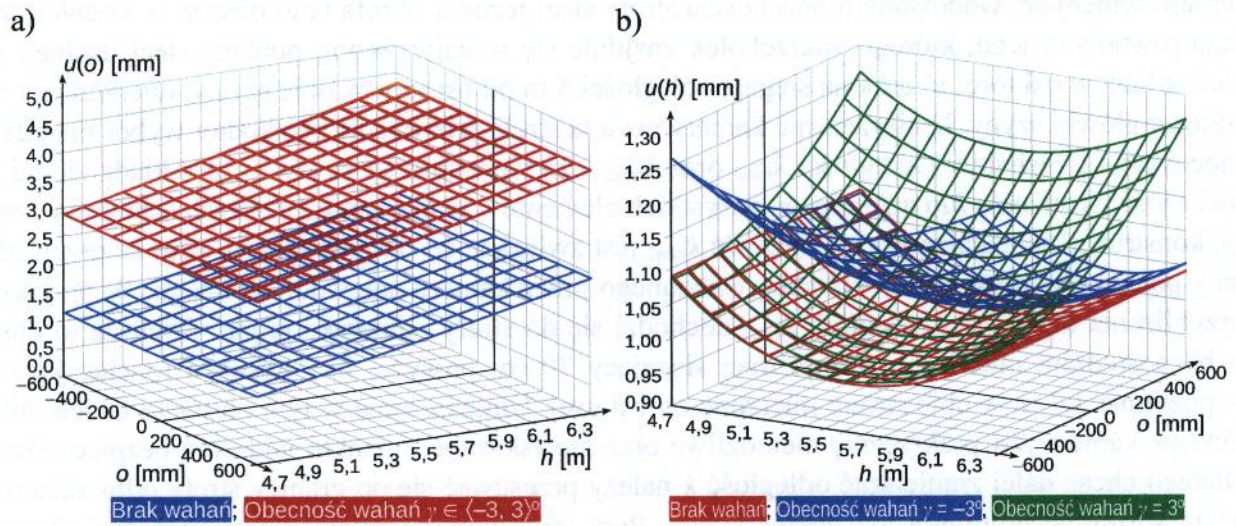
kazały, że największy wpływ na poziom uzyskiwanej niepewności ma stopień jasności rejestrowanych obrazów. Z kolei najmniej znaczące oddziaływanie ma zmiana czułości matrycy kamery. Aby zachować wysoką dokładność wykonywanych pomiarów konieczne jest również wstępne wygrzewanie stanowiska pomiarowego, a przy gwałtownych zmianach temperatury zewnętrznej, stabilizacja termiczna stanowiska w trakcie pracy. Wpływ drgań komunikacyjnych można wydatnie ograniczyć stosując filtrację dolnoprzepustową sygnału mierzonego, która jest dopuszczalna zwłaszcza przy niskiej dynamice zmian wielkości mierzonej, co ma miejsce w przypadku pomiaru geometrii sieci trakcyjnej (tj. wysokości zawieszenia i odsuwu). Szczegółowa analiza pokazująca uzyskiwany poziom niepewności kamery jako przyrządu pomiarowego w zależności od wspomnianych czynników została zamieszczona w rozdz. 5.2 opracowanej monografii.

Kolejnymi przyczynami, dla których określenie poziomu niepewności pomiaru w wizyjnych systemach pomiaru położenia i przemieszczenia przewodów jezdnych jest skomplikowane to: po pierwsze – złożoność zależności (2–5), co przekłada się na komplikację formuł opisujących poszczególne współczynniki wrażliwości, a po drugie – występowanie pomiarów wielokrotnie pośrednich. Dodatkowo konieczne jest uwzględnienie takich parametrów jak pomiar bieżącego kąta wychylenia pojazdu, czy promienia łuku i uwzględnienie niepewności pomiaru tych wielkości w wyniku końcowym. Z tych wszystkich przyczyn analiza niepewności dla rozpatrywanej kategorii pomiarów bardzo często bywa pomijana. Nie jest to akceptowalne, gdyż wymagana przepisami normatywnymi precyzja pomiaru geometrii sieci trakcyjnej jest bardzo duża.

Biorąc pod uwagę zakres dopuszczalnych zmian wysokości zawieszenia przewodu jezdnego, który dla przepisów obowiązujących na PKP wynosi od 4900 do 6200 mm nad poziomem główki szyny oraz uwzględniając konieczne powiększenie zakresu pomiarowego na rejestrację ewentualnych przekroczeń (200 mm z każdej strony), wspomniany zakres pomiarowy obejmuje przedział od 4700 do 6400 mm czyli jego długość jest równa 1700 mm. Z kolei dla linii o większych prędkościach jazdy (powyżej 230 km/h) dopuszczalna tolerancja montażowa wysokości zawieszenia przewodów wynosi 10 mm. Aby jednoznacznie stwierdzić różnicę tej wysokości na poziomie 10 mm, niepewność rozszerzona pomiaru nie może być większa niż $U(h) = 5$ mm. To z kolei, przy typowo stosowanym współczynniku rozszerzenia $k_r = 2$ sprawia, że najwyższa dopuszczalna niepewność standardowa pomiaru nie może być większa niż $u(h) = 2,5$ mm. Wyrażając ją w jednostkach względnych otrzymamy wartość 0,15% długości zakresu pomiarowego. W przypadku odsuwu poziom niepewności może być dwukrotnie większy, gdyż przepisy określają jego tolerancję na poziomie 20 mm, stąd niepewność standardowa nie może być większa niż $u(o) = 5$ mm. Ponieważ długość zakresu pomiarowego dla odsuwu jest mniejsza niż dla wysokości i wynosi 1200 mm (od -400 do 400 mm wraz z przekroczeniem 200 mm z każdej strony), względna wymagana niepewność standardowa wynosi 0,42% długości zakresu pomiarowego. Aby zatem pomiar diagnostyczny geometrii sieci trakcyjnej był wiarygodny i pozwolił na jednoznaczną ocenę jej parametrów, przedstawione wartości niepewności nie mogą zostać przekroczone.

Przeprowadzona analiza teoretyczna wykazała, że wyznaczając wielkości charakterystyczne stanowiska do pomiaru geometrii sieci trakcyjnej (patrz rys. 3), przy wykorzystaniu dostępnych obecnie przyrządów pomiarowych, wymagany poziom niepewności może zostać osiągnięty. Konieczne jest w tym celu użycie przyrządów najwyższej klasy, tak by odległość k wyznaczyć z niepewnością standardową względną nie większą niż 0,012%, odległość F_r z niepewnością 0,05%; a kąty β oraz δ z niepewnością 0,03%. Przy założeniu wykonania pomiarów pośrednich ze wspomnianym poziomem dokładności, niepewność standardowa dla pomiaru odsuwu i wysokości zawieszenia przewodu jezdnego, dla najgorszego możliwego wariantu, czyli podczas jazdy po łuku i przy występowaniu wahań poprzecznych pojazdu, przyjmie wartości takie jak pokazano na rys. 5.

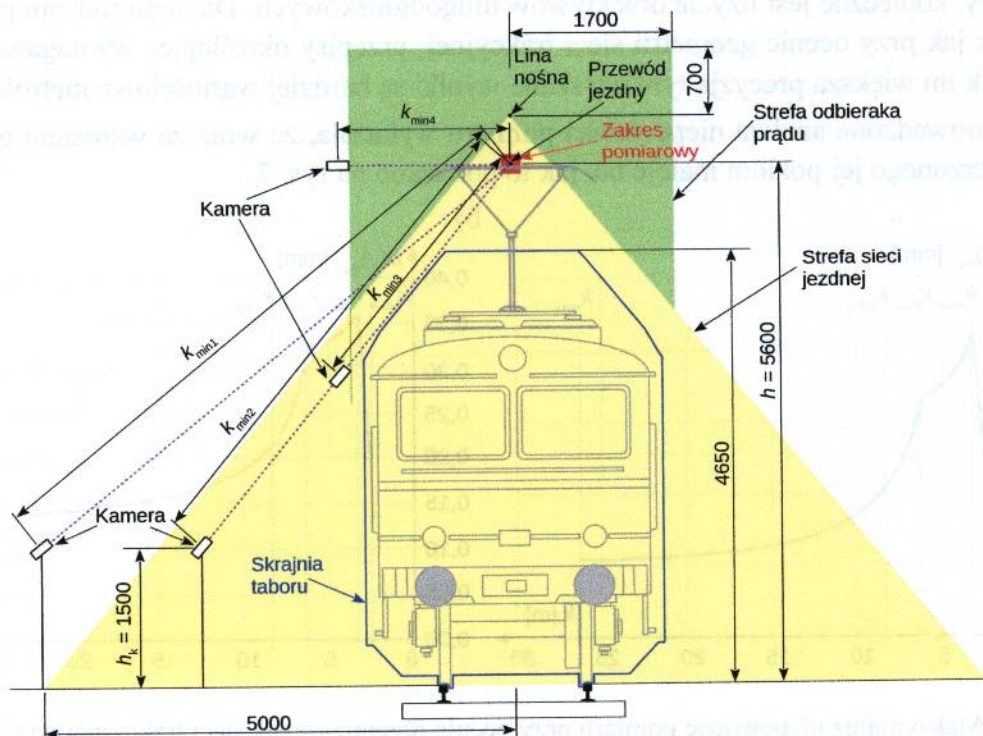
Na rysunku zaznaczono poziom niepewności pomiaru przy braku wahań poprzecznych pudła, oraz dla sytuacji gdy takie wahania występują.



Rys. 5. Niepewność standardowa pomiaru geometrii sieci trakcyjnej; a) dla pomiaru odsuwu; b) dla pomiaru wysokości zawieszenia

Wyniki zaprezentowane na rys. 5 pokazują, że niepewność zależy od aktualnego położenia przewodu jezdny, ale w całym zakresie możliwych zmian tego położenia jej wartość jest na tyle niska, że wymagania odnośnie dokładności pomiaru są spełnione.

W przypadku stacjonarnych stanowisk pomiarowych mierzących przemieszczenia przewodów jezdnych sieci trakcyjnej wywołanych np. oddziaływaniem odbieraka prądu konieczne jest zachowanie pewnej odległości między kamerą, a obiektem mierzonym, tak jak to pokazano na rys. 6.

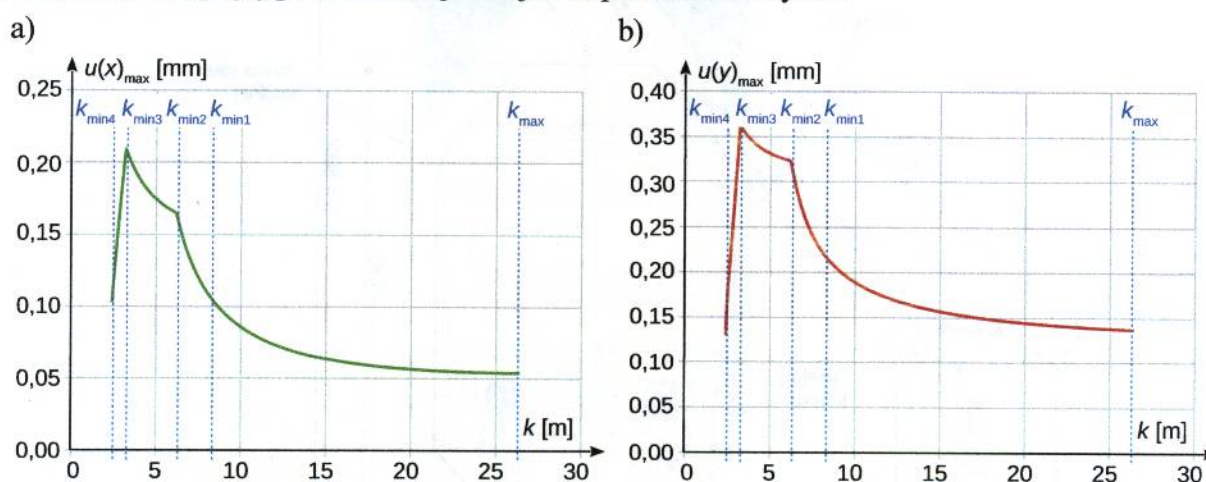


Rys. 6. Konfiguracja układu do pomiaru przemieszczeń przewodu jezdny sieci trakcyjnej

Dla sytuacji pokazanej na rys. 6 zaznaczono cztery wartości k_{\min} związane z ograniczeniami będącymi rezultatem obecności poszczególnych stref w pobliżu linii kolejowej. Wartość $k_{\min 1}$ jest ograniczeniem spowodowanym obecnością strefy sieci jezdnej. Strefa ta to obszar, w kształcie trójkąta równobocznego, którego wierzchołek znajduje się w najwyższym punkcie sieci jezdnej, gdy sieć ta leży w osi toru, a ramiona sięgają odległości 5 m od osi toru w obie strony, mierzone na wysokości główki szyny. Umieszczenie kamery poza tą strefą pozwala na swobodny wybór metody jej mocowania i zasilania. Odległości $k_{\min 2}$ oraz $k_{\min 3}$ leżą wewnątrz tej strefy, co przekłada się na konieczność usztywnienia lub uziemienia wszystkich elementów w niej umieszczonych (obudowy kamery, konstrukcji mocującej itp.). Odległość $k_{\min 2}$ jest związana ze skrajnią taboru, jako że przejeżdżający pojazd nie może przesłonić sobą widzianego przez kamerę przewodu jezdnej. W przypadku przybliżenia kamery na odległość $k_{\min 3}$ dochodzi się do strefy odbieraka prądu. Strefa ta to obszar w bezpośrednim otoczeniu sieci jezdnej sięgający 70 cm powyżej liny nośnej i rozciągający się w poziomie 1,7 m w obie strony mierzone od osi toru. Umieszczenie w tym obszarze takich obiektów jak kamera jest praktycznie niemożliwe oraz niewskazane z punktu widzenia bezpieczeństwa. Dlatego chcąc dalej zmniejszać odległość k należy przesuwać się po granicy strefy odbieraka osiągając absolutne minimum dla wartości $k_{\min 4}$. Przy tej odległości wartość kąta nachylenia kamery względem poziomu β wynosi zero (patrz rys. 4). Dalsze zmniejszanie odległości k , przy założeniu stałej wartości kąta α (kąta pomiędzy płaszczyzną, w której leży oś optyczna obiektywu, a płaszczyzną w której leży przewód jezdny – patrz rys. 4) jest już niemożliwe.

Zakładając sytuację, że $k \geq k_{\min 2}$ oraz to, że kamera będzie zamocowana na wysokości $h_k = 1,5$ m nad główką szyny (patrz rys. 6), wówczas dla przykładowej stałej wartości kąta $\alpha = 45^\circ$ minimalne odległości k będą wynosiły odpowiednio: $k_{\min 1} = 8,2$ m, $k_{\min 2} = 6,2$ m, $k_{\min 3} = 3,2$ m i $k_{\min 4} = 2,4$ m. Czasem zajdzie potrzeba jeszcze większego oddalenia kamery od obiektu mierzonego, tak że odległość k będzie niekiedy wynosiła nawet kilkanaście metrów, kilkadziesiąt razy przekraczając wielkość rejestrowanych przemieszczeń (około 20 cm). Aby pomiar w takich warunkach był możliwy, konieczne jest użycie obiektywów długoogniskowych. Dla tego rodzaju pomiarów nie istnieją, tak jak przy ocenie geometrii sieci trakcyjnej, przepisy określające wymaganą ich dokładność, jednak im większa precyzja tym uzyskane wyniki są bardziej wartościowe metrologicznie.

Przeprowadzona analiza niepewności pomiaru wykazała, że wraz ze wzrostem odległości od obiektu mierzonego jej poziom maleje tak jak to pokazano na rys. 7.



Rys. 7. Maksymalna niepewność pomiaru przy ocenie przemieszczeń sieci trakcyjnej na stanowisku stacjonarym; a) dla pomiarów w osi poziomej x ; b) dla pomiarów w osi pionowej y

SS

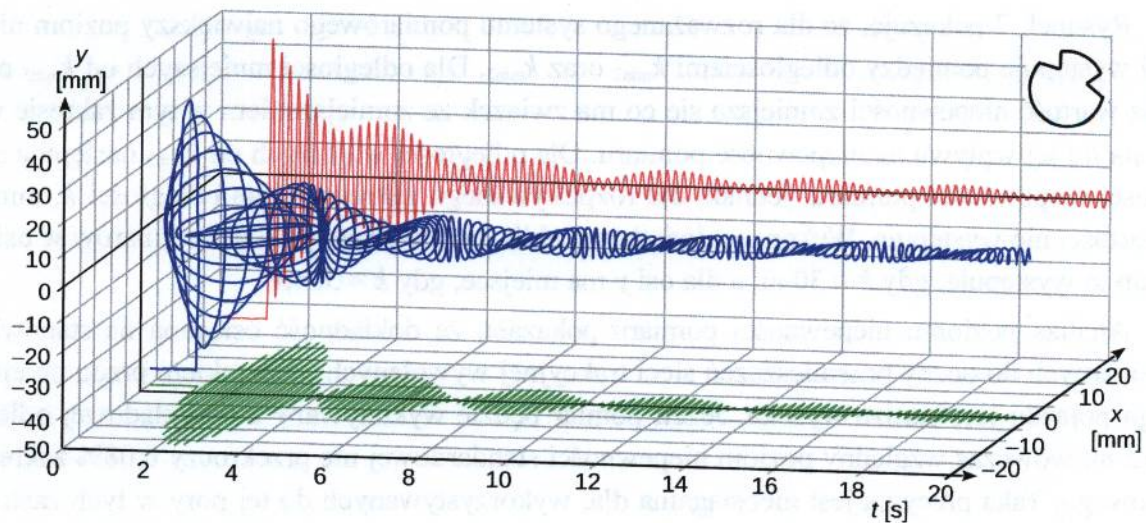
Rysunek 7 pokazuje, że dla rozważanego systemu pomiarowego największy poziom niepewności występuje pomiędzy odległościami $k_{\min 2}$ oraz $k_{\min 3}$. Dla odległości mniejszych od $k_{\min 3}$ maksymalna wartość niepewności zmniejsza się co ma związek ze zmniejszaniem w tym zakresie wartości kąta β i jej wpływu na niepewność pomiaru. Dla odległości większych od $k_{\min 2}$ następuje spadek wartości niepewności pomiaru, jednak, dla rozpatrywanego zakresu zmian odległości k , minimum jej wartości nie występuje. Wykonane dodatkowe obliczenia wykazały, że dla pomiarów w osi x minimum to występuje, gdy $k \approx 30$ m, a dla osi y ma miejsce, gdy $k \approx 50$ m.

Analiza poziomu niepewności pomiaru pokazała, że dokładność osiągnięta na stanowiskach stacjonarnych do oceny przemieszczeń sieci trakcyjnej wywołanych odbierakiem prądu przejeżdżającego pojazdu jest bardzo wysoka. Jeżeli pomiar będzie wykonywany z przykładowej odległości $k \approx 15$ m, wówczas względny poziom niepewności standardowej nie przekroczy 0,08% zakresu pomiarowego. Taka precyzja jest nieosiągalna dla, wykorzystywanych do tej pory w tych zastosowaniach, dalmierzy laserowych krótkiego zasięgu. Analizy teoretyczne zostały również potwierdzone na drodze eksperymentalnej, co zostało szczegółowo zaprezentowane w rozdz. 5.4 opracowanej monografii.

Przedstawione rozważania pokazują, że cel naukowy pracy został osiągnięty. Opracowana metoda pomiarowa, której zastosowanie bynajmniej nie ogranicza się do pomiarów geometrii sieci trakcyjnej, czy oceny przemieszczeń przewodów jezdnych wywołanych odbierakiem prądu przejeżdżającego pojazdu, ale która to metoda może być wykorzystana do dowolnych pomiarów położenia czy przemieszczenia obiektu fizycznego w płaszczyźnie dwuwymiarowej, zapewnia dokładność pomiaru przewyższającą poziom osiągany przy wykorzystaniu dotychczas stosowanych metod. Przykładowo, użytkowany przez PKP system pomiaru geometrii sieci trakcyjnej typu DST oferuje rozdzielczość pomiaru wynoszącą 1 cm, przy nieokreślonym poziomie niepewności. Opracowana metoda umożliwia uzyskanie niepewności rozszerzonej na poziomie od 0,25 cm (dla wysokości) do 0,5 cm (dla odsuwu), przy rozdzielczości pomiaru na poziomie 1 mm lub lepszej dla obu wielkości. Jeszcze większa różnica występuje w przypadku pomiaru przemieszczeń przewodu jezdnego na stanowiskach stacjonarnych, gdzie użytkowane dalmierze laserowe krótkiego zasięgu pozwalały na osiągnięcie niepewności standardowej pomiaru na poziomie 15 mm. System wizyjny oferuje niepewność o około dwa rzędy wielkości mniejszą, co stanowi zupełnie nową jakość w tej dziedzinie pomiarów.

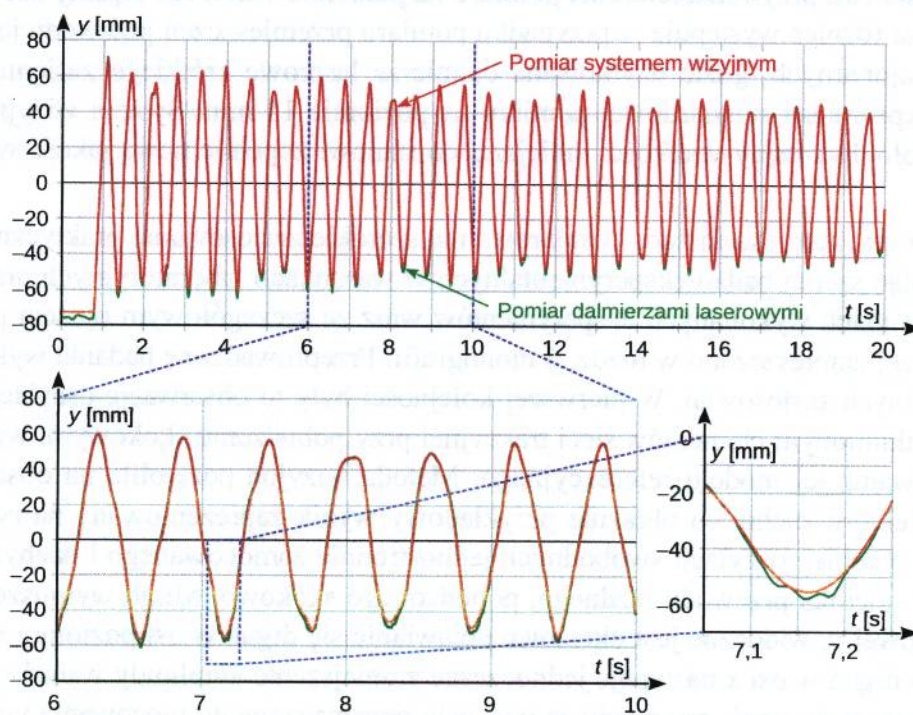
Opracowana, autorska metoda pomiarowa ma szerokie zastosowanie praktyczne, co udowodniono wykonując szereg badań eksperymentalnych w warunkach laboratoryjnych oraz terenowych. Rezultaty wszystkich wykonanych eksperymentów wraz ze szczegółowym opisem procedur i aparatury badawczej zamieszczono w rozdz. 6 monografii. Przeprowadzone badania wykazały jej przydatność do różnych zastosowań. W pierwszej kolejności były to obserwacje oscylacji swobodnych o charakterze tłumionym elementów sieci trakcyjnej przy pobudzeniu skokowym, wykonane na potrzeby opracowania jej modelu referencyjnego. Metoda wizyjna pozwoliła na obserwację bardzo złożonych trajektorii ruchu, co obrazuje przykładowy wynik zaprezentowany na rys. 8. Przedstawiono na nim przebieg oscylacji swobodnych jednostronnie zamocowanego i nachylonego pod kątem około 30° odcinka przewodu jezdnego, pobudzonego skokowo. Mimo wymuszenia działającego w osi pionowej y , widoczne jest okresowe pojawianie się drgań w osi poziomej x . W momencie występowania drgań w osi x następuje jednoczesne zmniejszenie amplitudy wahań w osi pionowej. Źródłem takiego zachowania przewodu są wycięcia przeznaczone do mocowania wieszaków, które zaburzają jednorodność kształtu jego przekroju.





Rys. 8. Trajektoria przemieszczania się końcówki jednostronnie zamocowanego przewodu jezdnego obróconego o kąt ok. 30° i pobudzonego skokowo

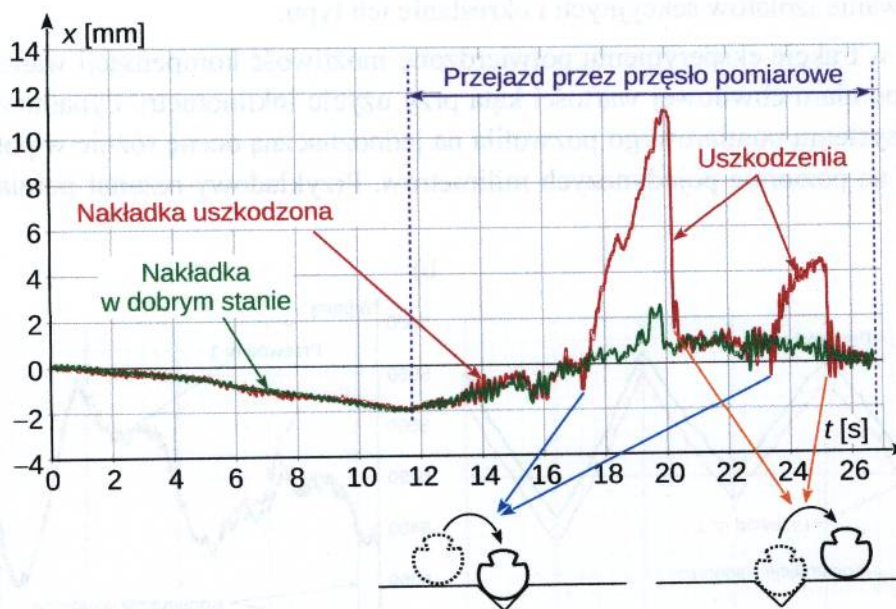
Oprócz badań odcinka przewodu jezdnego zamocowanego jednostronnie, w podobny sposób (również na potrzeby parametryzacji modelu referencyjnego) wykonano pomiary oscylacji odcinka przewodu jezdnego zamocowanego dwustronnie oraz pełnej sieci trakcyjnej. Eksperymenty te wykazały zalety opracowanej metody pomiarowej, która pozwala na jednoczesny pomiar położenia dowolnej liczby obiektów, bez konieczności rozbudowy zaplecza sprzętowego. Tradycyjne metody pomiarowe, np. wykorzystujące dalmierze laserowe wymagają w takiej sytuacji, proporcjonalnego do liczby obiektów mierzonych, zwielokrotnienia liczby czujników pomiarowych. Ponadto, korzystając z dalmierzy, zachodzi potrzeba mocowania na elementach mierzonych specjalnych powierzchni refleksyjnych, które zmieniają parametry mechaniczne elementu mierzonego oraz mogą negatywnie wpłynąć na wyniki pomiaru, co pokazano na przykładzie zaprezentowanym na rys. 9.



Rys. 9. Porównanie wyników pomiarów przemieszczeń przewodu jezdnego sieci trakcyjnej w osi pionowej y zrealizowanych układem dalmierzy laserowych oraz systemem wizyjnym.

Wyniki pokazane na rys. 9 pokazują zasadniczą zbieżność rezultatów pomiarów osiągniętych metodą wizyjną i dalmierzową, ale na powiększonym fragmencie wyraźnie widać oscylacje wyniku pochodzącego z dalmierza laserowego wywołane drganiami własnymi elementu refleksyjnego. Przebieg uzyskany na podstawie pomiarów wizyjnych jest w tym miejscu gładki. Gdyby nie pomiar techniką wizyjną, można by dojść do wniosku, że występują w tym miejscu oscylacje obiektu mierzony, tym bardziej, że krótki czas ich występowania (ok. 0,1 s) praktycznie wyklucza wykrycie ich faktycznej przyczyny za pomocą obserwacji wzrokowej.

Kolejnym praktycznym zastosowaniem opracowanej metody pomiarowej jest wykrywanie krytycznie uszkodzonych nakładek ślizgowych odbieraków prądu. Pod pojęciem krytycznego uszkodzenia, rozumie się taki defekt, który powoduje zahaczenie i odciążenie boczne przewodu jezdnego. Wykrywanie takich uszkodzeń jest możliwe, gdyż opracowana metoda pozwala, przy użyciu stanowisk stacjonarnych – patrz rys. 4, na jednoczesną rejestrację pionowych i poziomych przemieszczeń przewodu jezdnego. Wykorzystanie metody do wykrywania krytycznie uszkodzonych nakładek przetestowano w warunkach laboratoryjnych, który to eksperyment potwierdził, że taka detekcja jest możliwa. Wyniki, których przykład zaprezentowano na rys. 10, a które uzyskano dla modelowej nakładki z dwoma uszkodzeniami, są tożsame ilościowo i jakościowo z rezultatami dostępnymi w literaturze światowej, do których uzyskania wykorzystywano skomplikowane systemy pomiarowe w postaci przęseł sieci trakcyjnej wyposażonych w liczne czujniki akcelerometryczne lub tensometryczne.



Rys. 10. Wyniki pomiarów przemieszczeń przewodu jezdnego w osi poziomej dla nakładki dobrej i uszkodzonej w trakcie przejazdu odbieraka przez przęśło pomiarowe

Przebieg przemieszczeń przewodu w osi poziomej x pokazuje ruch wywołany jego zahaczeniem o wyżłobienie w nakładce ślizgowej, którego wymiary są porównywalne ze średnicą przewodu. Odciąganie w kierunku bocznym trwa tak długo, dopóki siła pozioma wywołana tym odkształceniem nie spowoduje wyjścia przewodu z wyżłobienia. W warunkach rzeczywistych, gdy głębokość wyżłobienia będzie znaczna, a jego krawędzie ostro nachylone, może wówczas dojść do zerwania sieci trakcyjnej. W momencie wyjścia przewodu z wyżłobienia następuje jego gwałtowny

powrót do położenia normalnego, czyli takiego jakie występuje, gdy nakładka odbieraka jest w dobrym stanie technicznym. Sygnał szybkości zmian przemieszczenia przewodu może być potraktowany jako sygnał detekcji krytycznie uszkodzonej nakładki stykowej.

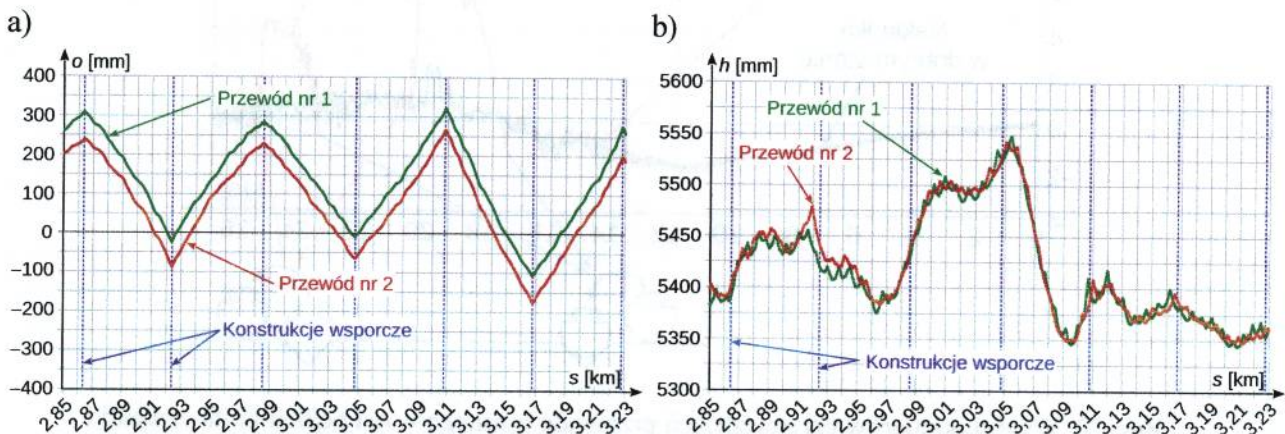
Podstawowym praktycznym zastosowaniem opracowanej metody są pomiary geometrii sieci trakcyjnej do celów diagnostycznych. W celu określenia potencjału metrologicznego metody wykonano badania eksperymentalne w warunkach terenowych na linii kolejowej. Próby przeprowadzono na linii nr 250 pomiędzy stacjami Gdańsk Główny i Gdynia Orłowo. Eksperyment potwierdził użyteczność opracowanej metody do potrzeb diagnostyki sieci trakcyjnej. Pozwala ona na pełną kontrolę stanu geometrii sieci w warunkach statycznych i możliwość określenia następujących parametrów:

- wysokości zawieszenia przewodów jezdnych;
- wartości odsuwu.

Oprócz tego możliwa jest również:

- kontrola poprawności kompensacji termicznej sieci trakcyjnej;
- monitoring poprawnej długości wieszaków;
- wykrywanie zerwania poszczególnych wieszaków lub ich braku;
- kontrola geometrii sieci w przęsłach naprężenia;
- kontrola rozjazdów sieciowych;
- wykrywanie izolatów sekcyjnych i określanie ich typu.

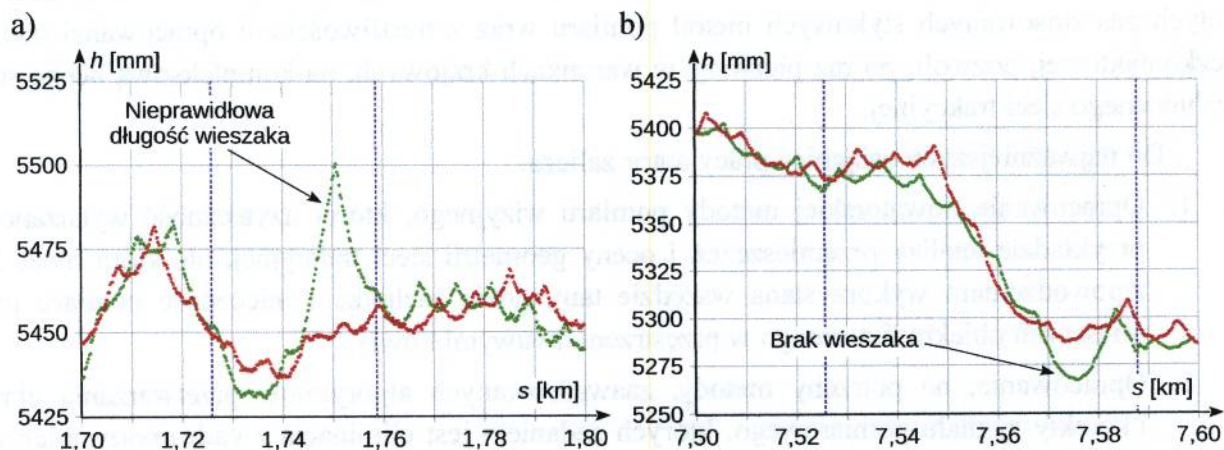
Ponadto w trakcie eksperymentu potwierdzono możliwość kompensacji wahań pudła pojazdu na podstawie pomiaru chwilowej wartości kąta przy użyciu inklinometru dynamicznego, a wysoka rozdzielczość systemu pomiarowego pozwoliła na jednoznaczną ocenę różnic w położeniu przewodów jezdnych na poziomie pojedynczych milimetrów. Przykładowy rezultat pomiaru pokazano na rys. 11.



Rys. 11. Wyniki pomiaru geometrii sieci trakcyjnej na odcinku prostym;
a) pomiar odsuwu; b) pomiar wysokości zawieszenia

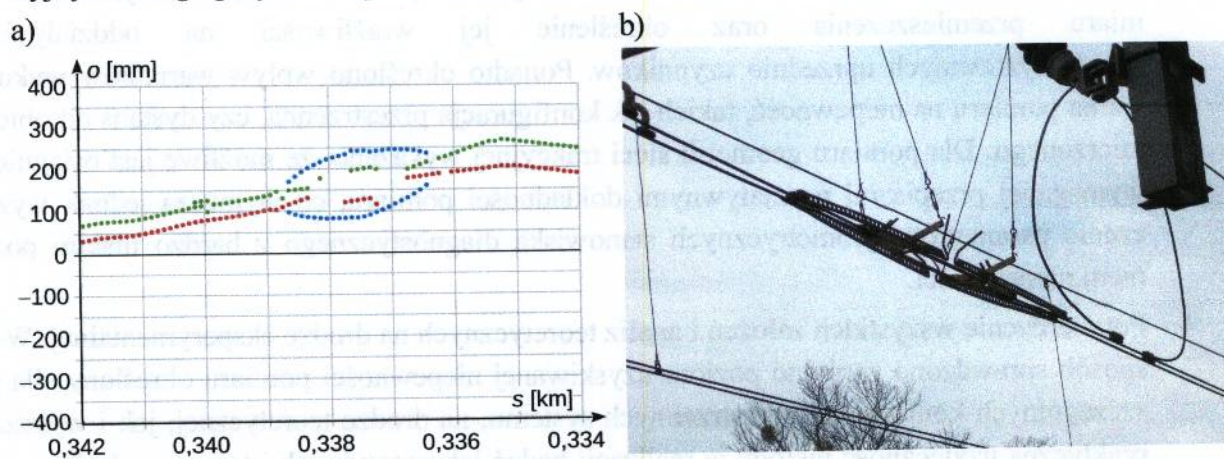
Rysunek 11 przedstawia przykładowy rezultat pomiaru geometrii sieci trakcyjnej dwuprzewodowej. Widoczne są zarówno charakterystyczne zmiany położenia poziomego, czyli odsuw, jak również zmienność wysokości zawieszenia przewodów. Pomiar bezkontaktowy umożliwił rozróżnienie wysokości obu przewodów z wyraźnie widocznymi punktami mocowań poszczególnych wieszaków. Wysoką osiąganą rozdzielczość pomiaru zaprezentowano na rys. 12, który to rysunek

pokazuje pomiar wysokości zawieszenia w miejscach zauważonych nieprawidłowości odnośnie mocowania wieszaków. Rys. 12a pokazuje sytuację, w której zaobserwowano zbyt małą długość pojedynczego wieszaka, a na rys 12b widać charakterystyczny nadmierny zwis międzywieszakowy w miejscu braku wieszaka. W obu przypadkach nieprawidłowości są wyraźnie i jednoznacznie widoczne, mimo że do ich stwierdzenia wymagany jest pomiar różnicy wysokości z precyzją liczoną w milimetrach.



Rys. 12. Nieprawidłowości w mocowaniu wieszaków – przykład wysokiej rozdzielczości pomiaru; a) nieprawidłowa długość pojedynczego wieszaka; b) brak wieszaka

Wysoka rozdzielczość pomiaru pozwala również na lokalizację i określenie typów izolatorów sekcyjnych, czego przykład zaprezentowano na rys. 13.



Rys. 13. Przykładowy rezultat detekcji izolatora sekcyjnego; a) wynik pomiarowy, b) widok izolatora

Pokazane przykładowe rezultaty (komplet wyników wraz ze szczegółowym omówieniem zamieszczono w rozdziale 6.5 monografii), osiągnięte w trakcie eksperymentu, są dowodem na wysoką użyteczność praktyczną opracowanej autorskiej metody pomiarowej, na potrzeby pomiaru geometrii sieci trakcyjnej jezdnej do celów diagnostycznych. Wysoka precyzja i rozdzielczość pomiaru pozwalają na kontrolę wielkości, które dotychczas były w warunkach krajowych niemierzalne lub trudno mierzalne, jak choćby sprawdzanie długości poszczególnych wieszaków. Takie cechy systemu pomiarowego są szczególnie przydatne do statycznych pomiarów odbiorczych nowo wywieszonych sieci trakcyjnych, które muszą być wykonywane ze szczególną starannością, a które to pomiary do tej pory wymagały żmudnych, kosztownych i czasochłonnych procedur sprawdzania

ręcznego. Wdrożenie opracowanego systemu pozwoli na poprawę ogólnego stanu technicznego sieci oraz poprawę jakości jej regulacji. W przypadku pomiarów diagnostycznych odcinków bieżąco eksploatowanych, dzięki wysokiej rozdzielczości i precyzji pomiaru, będzie istniała możliwość wcześniejszego wykrywania pogarszającego się stanu technicznego sieci co pozwoli na szybsze interwencje serwisowe, a co tym samym globalnie poprawi jakość utrzymania tak newralgicznego elementu elektrotrakcyjnego układu zasilania jakim jest sieć trakcyjna. Połączenie funkcjonalności dotychczas stosowanych stykowych metod pomiaru wraz z możliwościami opracowanej metody bezkontaktowej, pozwoli, po raz pierwszy w warunkach krajowych, na kompleksową ocenę stanu technicznego sieci trakcyjnej.

Do najważniejszych osiągnięć pracy autor zalicza:

1. Opracowanie nowatorskiej metody pomiaru wizyjnego, której użyteczność wykazano na przykładzie analizy przemieszczeń i oceny geometrii sieci trakcyjnej, ale która może być z powodzeniem wykorzystana wszędzie tam, gdzie zachodzi konieczność pomiaru przemieszczeń obiektu fizycznego w przestrzeni dwuwymiarowej.
2. Opracowanie, na potrzeby metody, zaawansowanych algorytmów przetwarzania obrazu i korekty sygnału pomiarowego, których zadaniem jest eliminacja z kadru wszystkich elementów zbędnych a pozostawienia wyłącznie danych pozwalających na uzyskanie informacji o położeniu pochodzącej od obiektu mierzonego.
3. Przeprowadzenie analizy niepewności pomiaru dla opracowanego systemu wizyjnego. W ramach tego osiągnięcia należy wyszczególnić zdefiniowanie czynników wewnętrznych i zewnętrznych wpływających na niepewność samej kamery obrazowej, jako przyrządu do pomiaru przemieszczenia oraz określenie jej wrażliwości na oddziaływanie skonkretyzowanych uprzednio czynników. Ponadto określono wpływ warunków wykonywania pomiaru na niepewność, takich jak konfiguracja przestrzenna, czy dystans od obiektu mierzonego. Dla pomiaru geometrii sieci trakcyjnej wykazano, że możliwe jest osiągnięcie wymaganej przepisami normatywnymi dokładności pomiaru, co wymusza jednak wyznaczenie parametrów geometrycznych stanowiska diagnostycznego z bardzo niskim poziomem niepewności.
4. Potwierdzenie wszystkich założeń i analiz teoretycznych na drodze eksperymentalnej. W ten sposób sprawdzono zarówno poziom uzyskiwanej niepewności pomiaru określony, dla poszczególnych konfiguracji przestrzennych systemu, na drodze teoretycznej, jak i wykazano praktyczną użyteczność metody w realizacji badań laboratoryjnych i terenowych. Na szczególną uwagę zasługuje potwierdzenie funkcjonalności opracowanej metody w pomiarach geometrii sieci trakcyjnej jezdnej dla celów diagnostycznych. Wykazano zalety metody i udowodniono, możliwość monitoringu parametrów, których ocena była niemożliwa przy wykorzystaniu, klasycznych, stykowych systemów pomiarowych.

Uzyskane rezultaty spotkały się z zainteresowaniem przedstawicieli przemysłu. 24 lipca 2018 roku została podpisana umowa pomiędzy Wydziałem Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej a Przedsiębiorstwem Budownictwa Elektroenergetycznego PBE ELBUD Gdańsk SA, dzięki której mają zostać przeprowadzone uzupełniające badania naukowe, a docelowo ma się ona zakończyć wdrożeniem wizyjnego systemu pomiaru geometrii sieci trakcyjnej na potrzeby diagnostyki sieci tramwajowej.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Oprócz prac naukowo-badawczych związanych z tematyką głównego osiągnięcia, po uzyskaniu stopnia naukowego doktora autor wniosku brał udział w szeregu innych przedsięwzięciach. W pierwszym okresie były one związane z problematyką modelowania i symulacji procesów elektrycznych oraz mechanicznych, które to prace były wykorzystane podczas realizacji grantów naukowo-badawczych KBN, w których autor wniosku był wykonawcą. Aktywny udział, zwłaszcza w grantach dotyczących diagnostyki technicznej węzła zawieszenia ślizgacza odbieraka prądu (KBN 3T10A00727) oraz monitoringu parametrów technicznych odbieraków prądu w warunkach ruchowych na linii kolejowej (KBN 0589/T02/2006/31) pozwolił na ukierunkowanie zainteresowań autora wniosku na problematykę pomiarów diagnostycznych. Pierwszy z wspomnianych grantów dotyczył metody wykrywania uszkodzeń układu zawieszenia ślizgacza odbieraka prądu oraz innych defektów jego konstrukcji na podstawie analizy częstotliwościowej odpowiedzi mechanicznej układu odbieraka na pobudzenie impulsowe. Drugi miał za zadanie opracowanie systemu wykrywania niesprawnych odbieraków dzięki analizie uniesienia przewodu jezdnego podczas przejazdu pojazdu przez stanowisko pomiarowe. Grant ten zaowocował później powstaniem systemu monitoringu odbieraków prądu MOP wdrożonego do eksploatacji przez PKP PLK.

Dalsze rozwinięcie zainteresowań naukowych w kierunku techniki pomiarów diagnostycznych było możliwe dzięki pracom wdrożeniowym z tej tematyki prowadzonym w roku 2007 na zlecenie PKP Cargo, dotyczącym diagnostyki systemów grzewczych lokomotyw oraz odbieraków prądu. Zwłaszcza ostatni projekt, w trakcie którego powstało stanowisko diagnostyczne do pomiaru charakterystyki statycznej odbieraka prądu, która to charakterystyka była mierzona w trakcie przejazdu pojazdu trakcyjnego przez specjalnie wyprofilowany odcinek sieci trakcyjnej, pozwolił na zebranie doświadczenia zawodowego i praktyki w dziedzinie metrologii diagnostycznej.

Autor wykonywał również prace badawcze na zlecenie podmiotów zewnętrznych dotyczące sprawdzenia parametrów agregatów prądotwórczych (zlecenie Sądu Okręgowego w Bydgoszczy w 2012–2013), czy określania przyczyn występowania uszkodzeń silników tramwajowych, która to praca została zrealizowana na zlecenie przedsiębiorstwa Zakład Komunikacji Miejskiej w Gdańsku (dziś Gdańskie Autobusy i Tramwaje) w roku 2015. Praca wykonana dla ZKM w Gdańsku była bardzo istotna z punktu widzenia gospodarki przedsiębiorstwa, gdyż pozwoliła na eliminację często występujących poważnych uszkodzeń silników trakcyjnych pojazdów tramwajowych, które to uszkodzenia generowały duże straty materialne i prowadziły do zaburzeń w funkcjonowaniu komunikacji tramwajowej w Gdańsku.

Oprócz prac badawczych autor wykonywał liczne prace projektowe, głównie w ramach Unijnego Projektu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko, dotyczące przebudowy infrastruktury kolejowej dla Portu w Gdańsku i Portu Morskiego w Gdyni, czy modernizacji linii kolejowej Częstochowa – Zawiercie. Prace te były wykonywane na zlecenie firm WYG International oraz WYG Consulting w latach 2014–2015. W ramach tych prac wykonywano zaawansowane obliczenia teoretyczne układów zasilania elektrotrakcyjnego, pozwalające na określenie niezbędnego stopnia ich modyfikacji. Przeprowadzenie tych modyfikacji okazało się konieczne, aby móc zrealizować podstawowe cele projektu jakim były modernizacja linii kolejowej pociągająca za sobą podniesienie prędkości jazdy, co wymusza stosowanie pojazdów trakcyjnych o większej mocy.

Wszystkie wspomniane prace zakończyły się sukcesem i zostały bardzo wysoko ocenione przez zleceniodawców.

Łącznie w ramach działalności naukowej, po uzyskaniu stopnia naukowego doktora, autor wniosku opublikował 59 prac, w tym jedną monografię, 6 to artykuły w czasopismach z listy JCR, 19 to pozostałe artykuły w czasopismach naukowych, a 15 prac to projekty, raporty i ekspertyzy wykonane jako podsumowanie prac badawczych, wdrożeniowych i zleconych. Pozostałe publikacje to artykuły opublikowane w materiałach konferencyjnych, a także podręczniki akademickie i skrypty (6 pozycji). 14 z wymienionych publikacji to prace samodzielne. Łączny dorobek punktowy MNiSzW z uwzględnieniem udziału autorskiego wynosi ok. 215 pkt. Współczynnik IF za publikacje z listy JCR z uwzględnieniem udziału autorskiego wynosi 6,584.

Jan Slied