

Włodzimierz KRUCZEK<sup>1</sup>  
Artur ROJEK<sup>1</sup>

### **WYKORZYSTANIE TECHNIKI TERMOWIZYJNEJ W BADANIACH URZĄDZEŃ TRAKCJI ELEKTRYCZNEJ**

*W referacie przedstawiono przykłady wykorzystania techniki termowizyjnej. Przedstawiono wykorzystanie termowizji przy badaniach elementów składowych sieci trakcyjnej oraz podzespołów podstacji trakcyjnej. Przedstawiono również sposób wykorzystania techniki termowizyjnej do diagnozowania współpracy odbieraków prądu pojazdów trakcyjnych z siecią jezdnią. Końcowym wynikiem pomiaru jest wielkość uniesienia przewodu jezdniego pod wpływem oddziaływania pantografu.*

### **THERMO-VISUAL TECHNOLOGY APPLICATION IN STUDIES ON TRACTION POWER NETWORK DEVICES**

*The paper presents examples of the application of thermo-visual technology. We have represented the use of thermo-vision in researching overhead contact system components and rectifier sub-station components. Additionally, the manner of using thermo-visual technology in diagnosing co-operation of traction unit current collectors with the overhead contact line has also been described. The final result of the measurement is the value of contact wire uplift under the effect of the pantograph.*

## **1. WSTĘP**

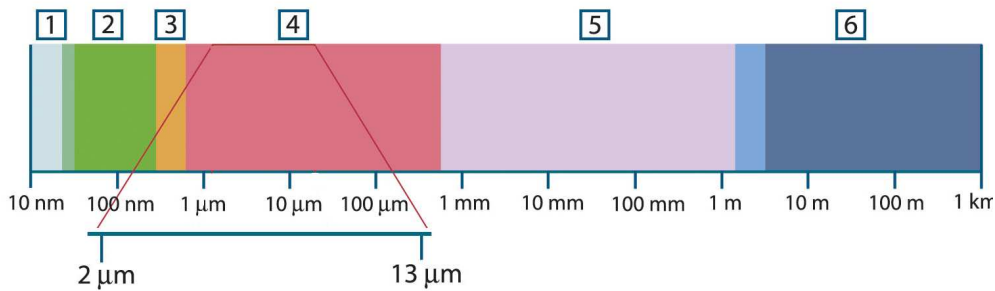
W ostatnich latach obserwujemy coraz szersze zastosowanie termowizji w różnych dziedzinach techniki i przemysłu. Badania z wykorzystaniem techniki termowizyjnej, ze względu na możliwość wykonywania bezinwazyjnych i bezdotkowych pomiarów, coraz częściej z powodzeniem są stosowane między innymi w energetyce, budownictwie, czy lokalizacji różnych obiektów. W referacie przedstawiono sposoby wykorzystania techniki termowizyjnej nie tylko do pomiaru temperatury różnych elementów sieci i podstacji trakcyjnych, ale również przedstawiono przykład wykorzystania kamery termowizyjnej do diagnozowania współpracy odbieraków prądu pojazdów trakcyjnych z siecią jezdnią.

---

<sup>1</sup> Instytut Kolejnictwa, Zakład Elektroenergetyki, 04-275 Warszawa, ul. Chłopickiego 50  
tel.: +48 22 4731086, +48 22 4731040, e-mail: wkruczek@ikolej.pl, arojek@ikolej.pl

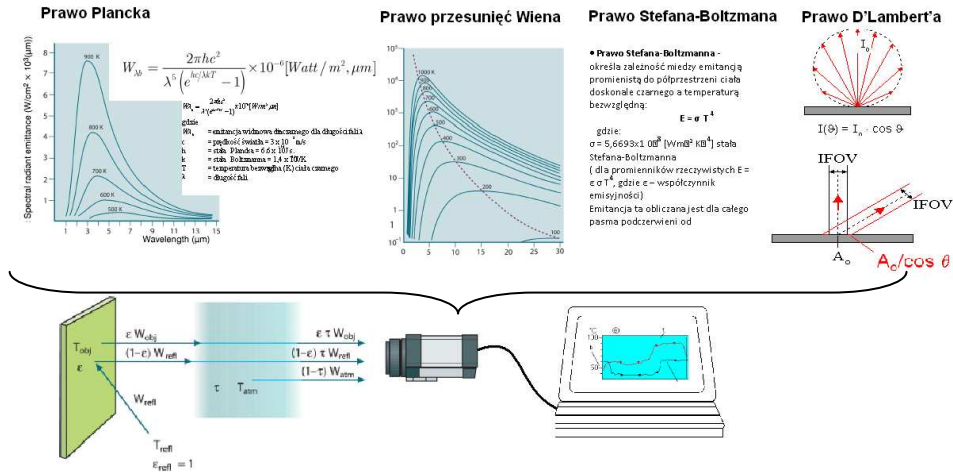
**2. TROCHĘ TEORII**

Kamera termowizyjna rejestruje promieniowanie podczerwone, emitowane przez każde ciało fizyczne, którego temperatura jest wyższa od zera bezwzględnego. Prawa fizyki, na podstawie których działa termowizja, opisują ścisły związek pomiędzy stanem materii a emitowanym przez nie promieniowaniem elektromagnetycznym. Termowizja wykorzystuje niewielki przedział promieniowania podczerwonego od 2 do 14  $\mu\text{m}$ . Przy czym obecnie wykorzystywane kamery laboratoryjne wykorzystują tzw. Podczerwień daleką od 7 do 14  $\mu\text{m}$ . Rysunek 1 przedstawia widmo promieniowania elektromagnetycznego z zakresem wykorzystywanym przez termowizję.



Rys. 1. Spektrum promieniowania elektromagnetycznego. 1: Promieniowanie X; 2:UV; 3: Widzialne; 4: Podczerwień; 5: Mikrofale; 6: Fale radiowe

Celem referatu nie jest dokładne omówienie praw fizycznych wykorzystywanych podczas pomiarów termowizyjnych. Czytelnik zainteresowany tym tematem bez trudu znajdzie interesujące go zagadnienia w dostępnej literaturze np. [1]. Na rysunku 2 tylko schematycznie zostały przedstawione najważniejsze prawa fizyczne, dzięki którym działa termowizja.



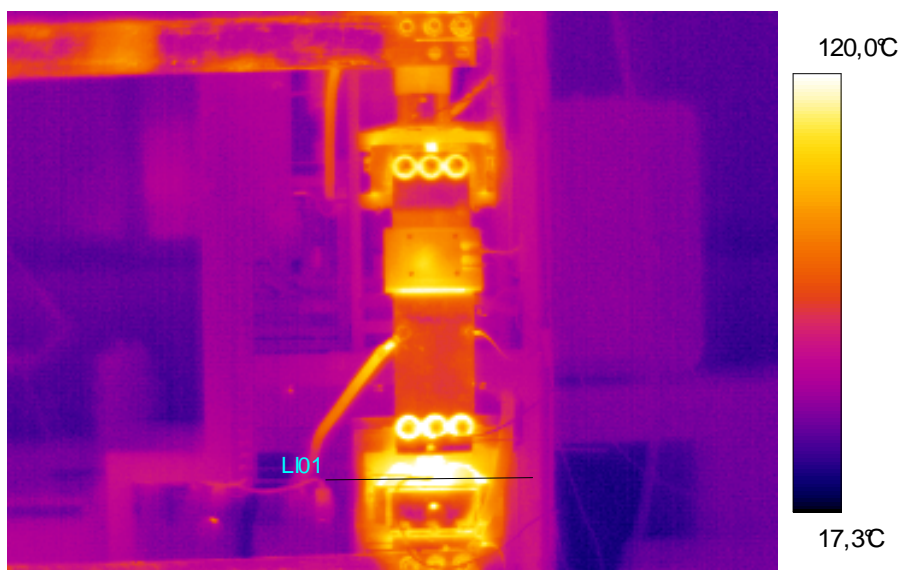
Rys. 2. Schematyczne przedstawienie praw fizycznych wykorzystywanych w termowizji

### 3. POMIARY

#### 3.1 Pomiary laboratoryjne

Jednym z najważniejszych badań, które zawsze się wykonuje przy dopuszczaniu do eksploatacji nowych urządzeń elektroenergetycznych jest pomiar temperatury zestyków głównych, połączeń spawanych, lutowanych lub skręcanych w torach prądowych. Wykorzystanie techniki termowizyjnej pozwala na dokładne określenie punktów w elementach urządzenia, które przekraczają dopuszczalne temperatury, przez co są narażone na uszkodzenie. Technika termowizyjna pozwala również na obserwację rozkładu temperatury w całym urządzeniu. Wykonanie tych badań z wykorzystaniem czujników dotykowych nie zawsze jest możliwe z powodu na utrudniony dostęp, prace pod wysokim napięciem lub konieczności zastosowania zbyt dużej liczby czujników temperatury.

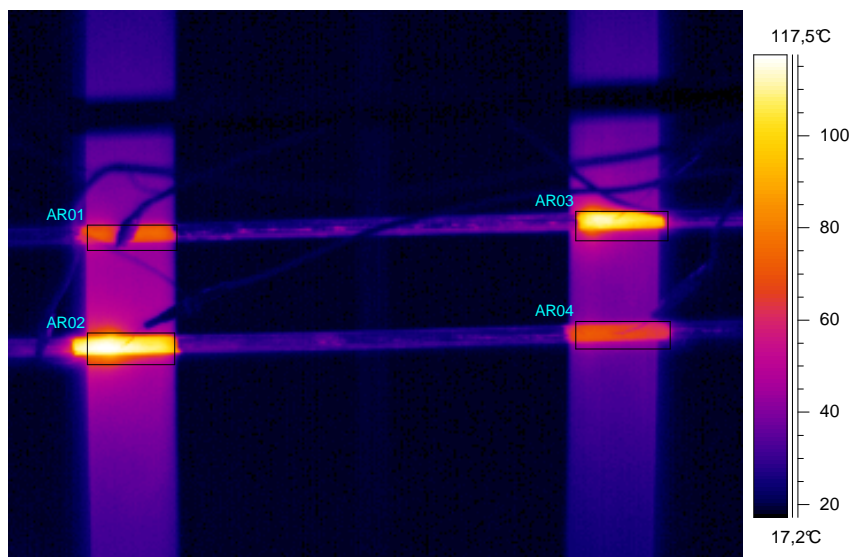
Jednym z urządzeń które było badane w IK w warunkach laboratoryjnych z wykorzystaniem termowizji, jest próżniowy wyłącznik szybki prądu stałego DCN. Na rysunku 3 przedstawiony jest przykładowy termogram z badań tego wyłącznika. Z przedstawionego termogramu można odczytać że elementem najbardziej narażonym na wysoką temperaturę jest odcinacz obwodu głównego, zaznaczony na termografie jako LI01.



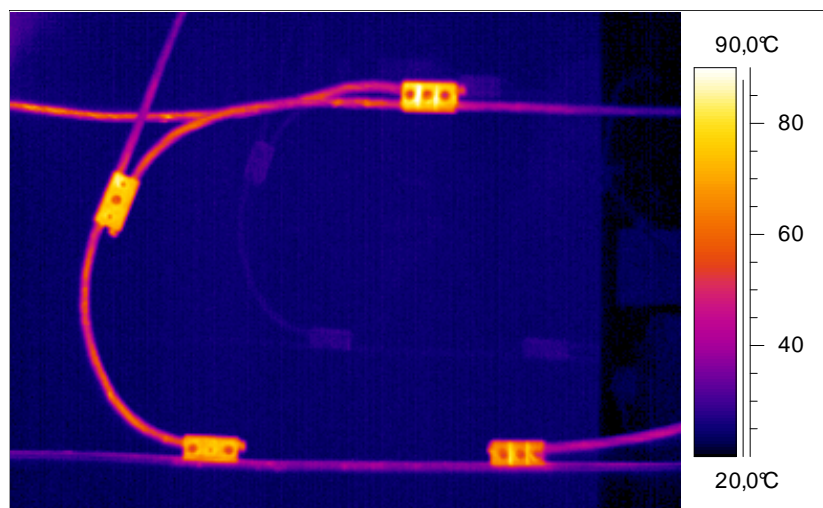
Rys. 3. Termogram wyłącznika szybkiego DCN[5]

Innymi przykładami urządzeń, w której technika termowizyjna była wykorzystywana, jest pomiar nagrzewania przewodów jezdných przy odbiorze prądów trakcyjnych przez nakładki węglowe oraz badanie osprzętu sieci trakcyjnej. Na rysunku 4 przedstawiony jest termogram zarejestrowany podczas pomiaru nagrzewania się przewodów jezdných w czasie

wykonywania prób nakładek węglowych. Natomiast na rysunku 5 termograf zarejestrowany podczas pomiaru nagrzewania osprzętu sieci trakcyjnej.



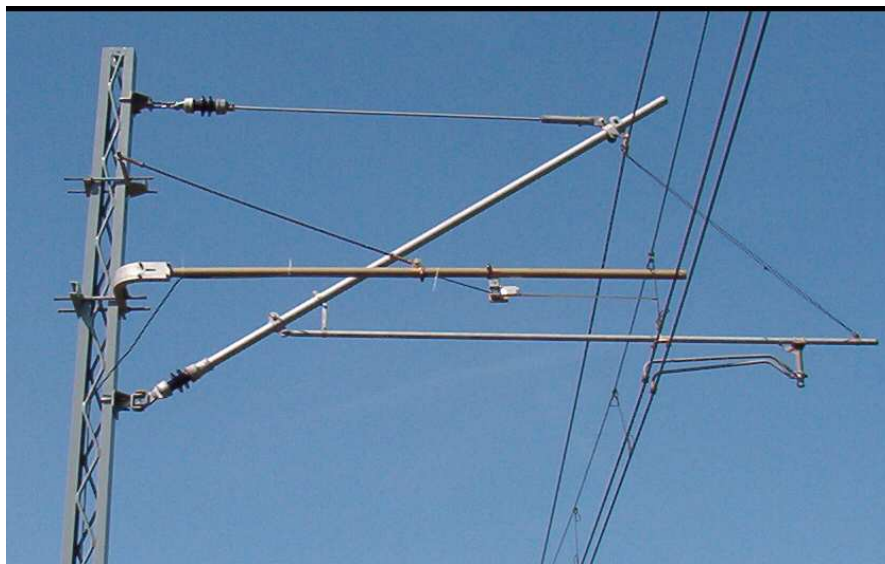
Rys. 4. Termogram nakładek węglowych [6]



Rys. 5. Termogram osprzętu sieci trakcyjnej [7]

### 3.2 Pomiary w terenie

W badaniach diagnostycznych współpracy sieci trakcyjnej z pantografem badaniem, które sprawia dużo kłopotów jest pomiar uniesienia przewodu jezdnego pod wpływem oddziaływania na sieć trakcyjną przemieszczającego się pantografu. W normie PN-EN 50119:2002 [2] oraz Technicznej Specyfikacji Interoperacyjności dla podsystemu Energia podana jest maksymalna różnica między najwyższą a najniższą dynamiczną wysokością punktu styku w obrębie jednego przęsła. Dla linii kolejowych DC kategorii I wynosi ona 80 mm, dla linii kolejowych DC kategorii II 150 mm [3]. Trudności związane z pomiarem uniesienia przewodu jezdnego, czyli przemieszczeniem w przestrzeni obiektu, związane są z tym, że przewody podczas pomiaru znajdują się pod wysokim napięciem, a wysokość umieszczenia tych przewodów wynosi około 6 m. Stosowanie tradycyjnych czujników przemieszczenia takich jak enkodery obrotowe lub liniowe, lub czujniki laserowe jest możliwe, ale wiąże się z koniecznością budowy specjalnych konstrukcji mocujących montowanych na wysokości przewodu jezdnego, jak również montażu czujników na samym przewodzie jezdnym. Tego typu prace muszą być prowadzone przy wyłączonym napięciu zasilania sieci trakcyjnej i wykonywane z pociągu sieciowego. Na podstawie doświadczeń autora można stwierdzić, że prace montażowe a następnie demontaż układu pomiarowego z wykorzystaniem tradycyjnych czujników są uciążliwe i wiążą się z zamykaniem ruchu na torze przed pomiarem i po jego zakończeniu. Konieczne jest również wykorzystanie do tych czynności pociągu sieciowego, co z generuje duże koszty wykonania pomiaru. Rysunek 6 przedstawia pracujący układ pomiarowy z wykorzystaniem tradycyjnych czujników wykorzystywany w IK.



Rys. 6. Widok stanowiska pomiarowego wykorzystującego encoder obrotowy wraz z konstrukcją mocującą

### 3.2.1 Nowa metoda pomiarowa

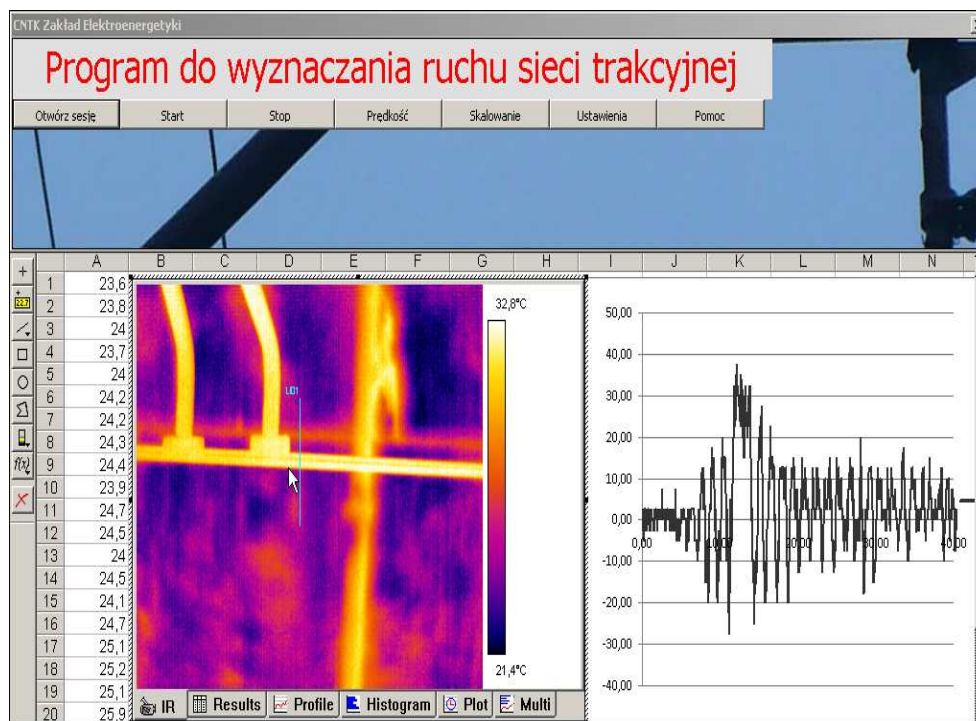
Założenia do budowy nowego układu pomiarowego realizującego pomiar uniesienia przewodu jezdnego oraz rejestrującego jego ruchy były następujące:

- dokładność pomiarów powinna być porównywalna z dokładnością pomiaru dotychczasowego systemu pomiarowego wykorzystującego jako czujnik encoder;
- do montażu systemu pomiarowego należy wykorzystać istniejące na szlaku kolejowym konstrukcje wsporcze np. słupy trakcyjne;
- montaż systemu pomiarowego powinien odbywać się w prosty sposób, bez konieczności wyłączenia napięcia w sieci trakcyjnej oraz przy normalnym ruchu na szlaku kolejowym;
- cały system pomiarowy powinien być możliwy do zainstalowania w dowolnym miejscu sieci trakcyjnej, wskazanym przez zleceniodawcę badań;
- musi być to system pomiarowy mobilny możliwy do przewiezienia w samochodzie;
- system powinien mieć niskie koszty realizacji.

Najlepszym rozwiązaniem do tego typu pomiaru jest zastosowanie metody wizyjnej. Zastosowanie jednak kamery specjalistycznej tzw. kamery szybkiej do rejestracji i analizy drgań obiektów mechanicznych jest rozwiązaniem bardzo kosztownym.

### 3.2.2 Wykorzystanie kamery termowizyjnej

Instytut kolejnictwa posiada kamerę termowizyjną firmy FLIR typu A40, która początkowo była wykorzystywana do pomiarów opisanych w punkcie 3.1 referatu. Podjęto próbę wykorzystania kamery termowizyjnej do rejestracji ruchu przewodu jezdnego podczas przejazdu pantografu, następnie z nagranej sesji filmowej odczytania ruchów pionowych przewodu. Próby wykonane w laboratorium na modelu sieci trakcyjnej wykazały, że ustawiając kamerę w odległości 1,5 m od przewodu jezdnego i wprawiając go w ruch drgający o amplitudzie 50 mm wykorzystanych zostało 50 pikseli pionowych do odwzorowania ruchu jednego punktu przewodu o największej amplitudzie drgań. Obliczono że rozdzielczość kamery umożliwi wykonanie pomiaru z dokładnością 2 mm, przy założeniu, że będzie ona umieszczona w odległości 1,5 m od przewodu jezdnego. W celu wyznaczenie położenia przewodu jezdnego w przestrzeni opracowano oprogramowanie uruchamiające się jako makro w MS Excel. Oprogramowanie to dokonuje w oparciu o otrzymane dane z programu użytkowego kamery przeskalowania położenia danego punktu na ekranie roboczym na wartość przemieszczenia przewodu jezdnego w milimetrach. W procesie tym wykorzystywany jest fakt, że temperatura przewodu jezdnego, przez który płynie prąd trakcyjny jest wyższa od temperatury otoczenia. Oprogramowanie to równocześnie zapisuje wyniki w Excelu w formie tabelarycznej oraz kreśli wykres ruchu przewodu jezdnego. Z wykresu tego następnie można odczytać maksymalne punktowe uniesienie przewodu a przez to pośrednio elastyczność sieci. Na rysunku 7 przedstawiono interfejs graficzny oprogramowania.



Rys. 7. Interfejs graficzny oprogramowania do wyznaczenia ruchu przewodu jezdnego

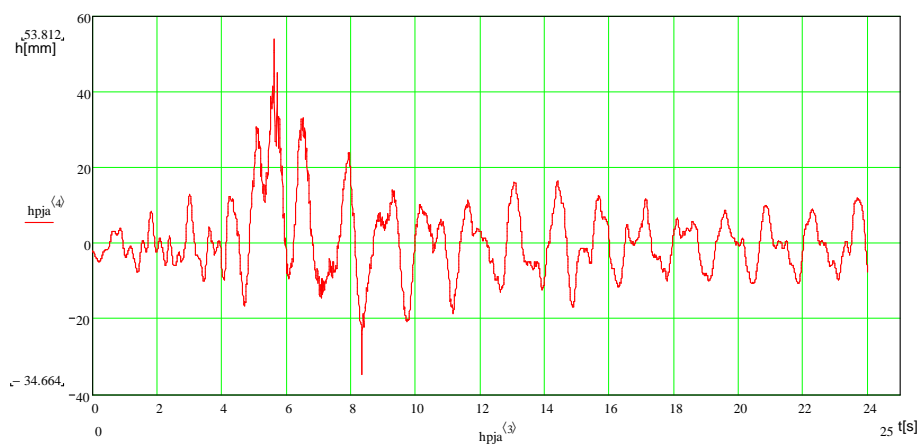
### 3.2.3 Wyniki pomiarów

Pomiar z wykorzystaniem kamery termowizyjnej do rejestracji ruchu przewodu jezdnego przeprowadzono na szlaku CMK, podczas badań lokomotywy ES64U4 „Husarz” produkcji Siemens. Kamera została umieszczona na wysuwanym statywie skonstruowanym do tego celu. Statyw jest mocowany do słupa trakcyjnego z poziomu gruntu. Montaż stanowiska pomiarowego odbywa się bez wstrzymywania ruchu na torze kolejowym. Na rysunku 8 przedstawiono układ pomiarowo rejestrujący podczas pracy.



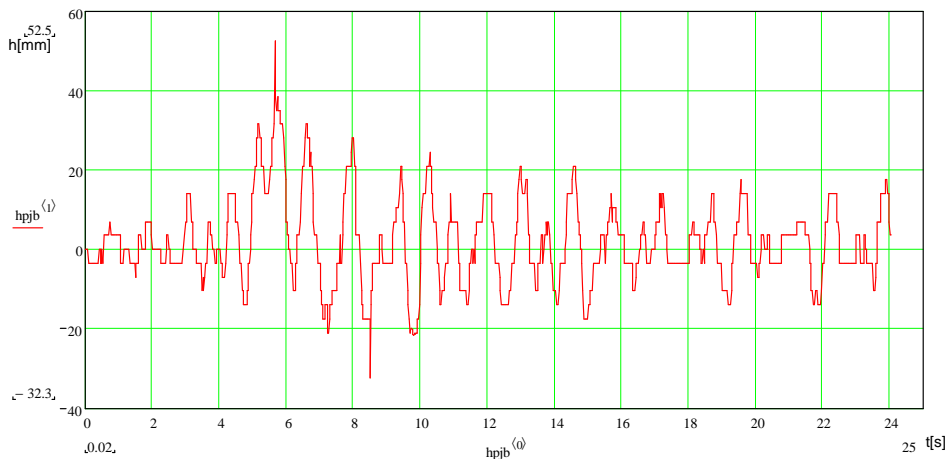
Rys. 8. Widok stanowiska pomiarowego wykorzystującego kamerę termowizyjną podczas pracy

Oprócz kamery niezależnie pracował układ pomiarowy bazujący na encoderze obrotowym. Wyniki z tego układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 9. Zarejestrowane ruchy przewodu jezdnego z układu wykorzystującego kamerę termowizyjną przedstawia rysunek 10. Pomiar przeprowadzono podczas jazdy pociągu z prędkością 200 km/h.



Rys. 9. Ruch przewodu jezdnego zarejestrowany przez układ pomiarowy wykorzystujący jako czujnik encoder obrotowy





Rys. 10 .Ruch przewodu jezdnego zarejestrowany przez układ pomiarowy wykorzystujący kamerę termowizyjną

Zaprezentowany sposób pomiaru jest sposobem bezdotykowym, nie uszczywnia więc dodatkowo przewodu jezdnego w punkcie pomiaru, co jest niewątpliwą zaletą tego sposobu. Jako zaletę należy również wskazać możliwość montażu systemu pomiarowego bez konieczności kłopotliwego wyłączenia napięcia i zamykania ruchu na torze. W porównaniu z dotychczasowym systemem pomiarowym jego wadą jest natomiast mniejsza dokładność pomiaru, wynikająca przede wszystkim z rozdzielczości pionowej kamery oraz częstotliwości pracy. Porównując przebieg ruchu przewodu jezdnego na rysunku 9 i 10 autorzy referatu uważają, że zaprezentowana metoda pomiaru jest jednak wystarczająco dokładna dla oceny zgodności z kryteriami podanymi w normie [2] i TSI [3].

#### 4. WNIOSKI

Technika termowizyjna daje nowe możliwości pomiarowe szczególnie w tych warunkach gdzie utrudnione jest stosowanie tradycyjnych czujników temperatury np. przy pomiarach urządzeń pracujących pod wysokim napięciem lub w miejscach trudnodostępnych. Wykonując pomiary należy jednak pamiętać że wynik pomiarów jest funkcją wielu zmiennych, których prawidłowe wprowadzenie do urządzenia jest niezbędne dla otrzymania wiarygodnego wyniku. Szczególnie przy prowadzeniu pomiarów gdzie wartość osiągniętej temperatury decyduje o spełnieniu lub nie kryteriów, należy przestrzegać kilku podstawowych zasad, w tym należy znać emisyjność badanego materiału. Wprowadzenie błędnej emisyjności nawet w niewielkim zakresie powoduje znaczne błędy w wynikach pomiaru, co dyskredytuje całą metodę pomiaru. Oprócz emisyjności podstawowe znaczenie dla dokładności pomiaru mają takie parametry jak promieniowanie odbite, geometria mierzonych elementów, czy środowisko transmisji promieniowania [4].

Poza bezpośrednim pomiarem temperatury elementu, czy pól temperaturowych wokół elementu technikę termowizji można zastosować pośrednio do pomiarów innej wielkości, czego przykładem jest pomiar wartości uniesienia przewodu jezdnego.

#### **4. BIBLIOGRAFIA**

- [1] Minklina W. *Pomiary termowizyjne – przyrządy i metody*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej
- [2] PN-EN 50119:2002: *Zastosowania kolejowe -- Urządzenia stosowane -- Sieć jezdna górna trakcji elektrycznej*
- [3] SPECYFIKACJA TECHNICZNA INTEROPERACYJNOŚCI Podsystem „Energia”
- [4] Mesołowski M, Niedbała R., Kucharski D. *Wiarygodność termowizyjnych technik pomiaru temperatury*. *Przegląd Elektrotechniczny* 12.2009.
- [5] Przybylska M. *Badania certyfikacyjne wyłącznika typu DCN-L*. *Praca CNTK nr 3538/12*
- [6] Majewski W. *Badania nakładek węglowych typu SK01Cu i SK85 Cu zgodnie z wymaganiami CARGO i CNTK*. *Praca CNTK nr 2573/12/EK01*
- [7] Majewski W. *Badanie osprzętu dla sieci trakcyjnej z przewodami jezdnyymi o przekroju 10mm<sup>2</sup>*. *Praca CNTK nr 417/12*