

Marta Chudzicka-Adamczak

Badanie stanu izolacji termicznej pojazdu transportu zbiorowego – tramwaju przy wykorzystaniu pomiarów termowizyjnych

JEL: L92 DOI: 10.24136/atest.2019.030

Data zgłoszenia: 15.12.2018 Data akceptacji: 08.02.2019

W artykule przedstawiono możliwość wykorzystywania badań termowizyjnych do oceny jakościowej izolacyjności termicznej pojazdów transportu zbiorowego na przykładzie tramwaju. Badania takie mają na celu wykrywanie miejsc, gdzie występuje niekontrolowana strata ciepła. Testy termograficzne przeprowadzono dla dwóch różnych tramwajów: pochodzących z lat osiemdziesiątych XX wieku oraz z lat współczesnych.

Słowa kluczowe: termowizja, mostki termiczne, izolacyjność termiczna, komfort cieplny, komunikacja masowa

Wstęp

Termowizja, zwana również termografią jest to zdalna, bezkontaktowa jak również nieniszcząca metoda prowadząca do otrzymania rozkładu temperatury w postaci termogramu na powierzchni badanego obiektu [5]. Ze względu na wyżej wymienione zalety, badania termowizyjne mają wszechstronne zastosowania niemalże w każdej dziedzinie życia, nauki i przemysłu od medycyny, przez budownictwo aż do leśnictwa. W pracy [20] badania termowizyjne posłużyły do walidacji metody numerycznej – metody rozwiązań podstawowych, poprzez zestawienie termogramów z rozkładami temperatur uzyskanymi w wyniku symulacji komputerowej. W szeroko rozumianym transporcie termowizja znajduje coraz bardziej liczne zastosowanie jako narzędzie służące do monitorowania i diagnozowania elementów taboru jak i infrastruktury. W ostatnich latach powstało wiele prac, które opisują wykorzystania kamery termowizyjnej właśnie w tym zakresie. Najbardziej oczywistym wydaje się wykorzystanie kamery termowizyjnej do oceny stanu technicznego budynków (jako elementu infrastruktury kolejowej, autobusowej, lotniczej i morskiej), w celu wykrycia nieprawidłowości w obrębie izolacyjności cieplnej budynku – mostków termicznych, miejsc niepożądanego, niekontrolowanego straty ciepła [1]. W pracach [7, 12] przedstawiono koncepcję wykorzystania kamery termowizyjnej w celu określenia stanu technicznego wyselekcjonowanych zespołów silnika spalinowego, dodatkowo w [12] zaproponowano monitorowanie stanu technicznego układu chłodzenia. W pracy [18] przeprowadzono przy użyciu kamery termowizyjnej weryfikacji modelu zjawisk termicznych układu koła kolejowe – klocek hamulcowy podczas hamowania pociągu. Wykorzystanie kamery termowizyjnej jako narzędzia do znalezienia miejsc, w których występują straty ciepła w kabinie pasażerskiej trzech samochodów osobowych opisano w pracy [19]. W [15] zaproponowano technologię podczerwieni do lokalizowania (śledzenia pociągu) w celu wyeliminowania wypadków. W systemie tranzytowym, Delhi Metro (łączącym Delhi z następującymi miastami: Bahadurgarh, Ballabgarh, Faridabad, Ghaziabad, Gurgaon i Noida [24] kamery termowizyjne służą do monitorowania linii elektroenergetycznych napowietrznych. Postępowanie takie jest niezwykle praktyczne, ponieważ umożliwia wychwycenie miejsc narażonych na awarię, zanim ona nastąpi, a co za tym idzie uniknięcia nagłego i nieprzewidzianego przestoju, który przy tak dużym obciążeniu sieci (2,76 milionów podróży [24])

byłoby niezwykle niepożądane, narażałoby na lawinę opóźnień [27]. W pracy [17] zaproponowano wykorzystanie nadajnika i odbiornika podczerwieni w celu wykrywania na początkowych etapach pęknięć torów, które zdefiniowano jako jeden z najpoważniejszych problemów kolei prowadzący do wykolejeń.

1 Komfort cieplny

Pasażerowie komunikacji zbiorowej stawiają coraz wyższe wymagania przewoźnikom. Do oczywistych i bezdyskusyjnych postulatów jak: bezpieczeństwo, niezawodność, bezpośredniość podróży, optymalny czas podróży dodatkowo należy wymienić wygodę, dostęp do informacji [10]. Zagadnienie wymagań pasażerów względem operatorów opisano w pracy [10]. Operatorzy, ze względu na dużą konkurencyjność starają się podwyższyć standard usług zbiorowej komunikacji [10] i coraz większą uwagę przywiązują do podniesienia komfortu podróży. Bezpośrednim parametrem związanym z komfortowym przemieszczaniem się jest komfort cieplny. Komfort cieplny definiowany jest jako „stan środowiska cieplnego, który u ludzi wywołuje zadowolenie i jest przez nich akceptowany” [4]. Na komfort cieplny wpływają następujące czynniki, które są składowymi mikroklimatu termicznego: temperatura powietrza, temperatura promieniowania, wilgotność powietrza wewnętrznego, ruch powietrza w pomieszczeniach jak również parametry indywidualne: wydatek energetyczny człowieka w pomieszczeniu (Tabela 1) oraz opór przewodzenia ciepła przez odzież (Tabela 2) [4]. Wymienione parametry oraz zjawisko komfortu ciepła są szeroko omówione w monografiach [4, 9], w normie PN-EN ISO 7730:2006 [22]. Ze względu na dwa ostatnie parametry zapewnienie komfortu cieplnego uczestnika ruchu na pokładzie pojazdu transportu zbiorowego jest bardzo trudne do spełnienia, ponieważ inny wydatek energetyczny ma pasażer siedzący, inny pasażer stojący, a jeszcze inny kierowca, dla którego pokład autobusu jest miejscem pracy.

Tab. 1. Ciepło metaboliczne i sprawność ruchowa [4]

Rodzaj czynności	Ciepło metaboliczne Q_m/F_{Du} [W/m ²]	Współczynnik sprawności ruchowej η	Względna prędkość człowieka [m/s]	Metabolizm [met]
Siedzenie bez ruchu	58	0	0	1,0
Stanie w pozycji rozluźnionej	70	0	0	1,2
Chodzenie w poziomie	140	0	1,1	2,5
Obsługa samochodów	≤ 174	0	$\leq 0,2$	3,0

Tab. 2. Właściwości cieplne odzieży (opory przewodzenia ciepła poszczególnych warstw odzieży) [4]

Rodzaj odzieży, nazwa	$R_{cl,n}$ [clo]	Rodzaj odzieży, nazwa	$R_{cl,n}$ [clo]
Podkoszulek	0,07	Marynarka	0,30
Bluza	0,20	Spodnie grube	0,32
Ciepła koszula	0,23	Spódnica gruba	0,22
Gruby sweter	0,37	Sukienka gruba	0,63
Skarpety	0,03	Półbuty	0,04

Całkowity opór przewodzenia ciepła odzieży (R_{cl}) męskiej i damskiej wyznacza się odpowiednio według następujących zależności [4]:

$$R_{cl} = 0,727 \cdot \sum_{i=1}^n R_{cl,n} + 0,113 \quad (1a)$$

$$R_{cl} = 0,770 \cdot \sum_{i=1}^n R_{cl,n} + 0,05, \quad (1b)$$

gdzie n oznacza n -tą warstwę odzieży.

W ostatnich latach można zaobserwować wzrost zainteresowania tematyką utrzymania odpowiedniego mikroklimatu na pokładzie pojazdu komunikacji zbiorowej. W pracy [6] opisano wpływ wartości wzrostu stężenia dwutlenku węgla oraz „stopnia wypełnienia” [6] autobusu na osoby przebywające w przestrzeni zamkniętej. W pracy [16], przy wykorzystaniu metodologii opartej na powiązaniu pomiarów klimatycznych z subiektywnymi ocenami pasażerów przedstawiono problem zminimalizowania zużycia energii elektrycznej potrzebnej do ogrzania i chłodzenia autobusu przy jednoczesnym zachowaniu odpowiedniego komfortu cieplnego.

Nieodpowiedni mikroklimat na pokładzie pojazdu transportu zbiorowego wpływa negatywnie na właściwości psychofizyczne pasażerów i motorniczego [19], a co za tym idzie na pogorszenie komfortu i bezpieczeństwa kierowcy i pasażerów. Należy wziąć pod uwagę, że zawód kierowcy należy do zawodów obciążonych dużym stresem, dlatego poza negatywnym skutkiem złych parametrów powietrza w postaci wydłużonego czasu reakcji u prowadzących pojazd [3,14], jest on również narażony na niezadowolenie ze strony pasażerów, którzy nierzadko spędzają po kilkadziesiąt minut w tramwaju (najdłuższa linia tramwajowa o długości około 29 km w Polsce znajduje się w Łodzi, łączy Łódź – Ozorków, pokonanie całej trasy zajmuje od 95 do 120 minut, obecnie linia ta jest zamknięta [26]). Szerzej problem niedogodności i zagrożeń w pracy kierowców opisany jest w pracy [11].

Jednym z czynników wpływających na komfort cieplny jest temperatura powietrza. Urzędy miast, które są organizatorem transportu publicznego narzucają operatorom wytyczne w zakresie utrzymania odpowiedniej temperatury powietrza odpowiednio w okresie jesienno-zimowym w przedziale [5°C,15°C] oraz w okresie wiosenno-letnim [18°C,25°C]. Należy podkreślić, że temperatura powinna być jednolita w całym pojeździe, dlatego należy zidentyfikować miejsca straty ciepła w celu ich usunięcia. Identyfikacji można dokonać poprzez badanie termowizyjne izolacyjności karoserii tramwaju. W przypadku występowania miejsc na karoserii pojazdu, gdzie można zaobserwować większą stratę ciepła niż w jednostce powierzchni otaczającej to miejsce możemy mówić o miejscu pojawienia się „mostka cieplnego” (termin zaczerpnięty z budownictwa), wówczas wewnątrz pojazdu trudno zachować stałą, jednolitą temperaturę, co ma niekorzystny wpływ na organizm człowieka, ale również są to miejsca narażone na szybsze zniszczenie elementu blachy (korozję). Miejsca, w których dochodzi do strat ciepła są to obszary, w których bardzo często występuje kondensacja pary wodnej [1], która jest odpowiedzialna za pogorszenie się stanu karoserii. Aby uniknąć skutków w postaci szybszej degradacji pojazdu w otoczeniu mostków termicznych należy pojazdy poddawać okresowym kontrolom, aby wychwycić nieprawidłowości na początkowym etapie ich pojawiania się.

2 Badania termowizyjne - wymagania

Pomiary termowizyjne przeprowadza się przy użyciu kamery termowizyjnej. Służy ona do rejestracji promieniowania podczerwonego emitowanego przez badany obiekt, którego temperatura jest wyższa niż -273,15 °C (temperatura zera bezwzględnego) [2]. Najczęściej w celu sprawdzenia izolacji zewnętrznej badania przy użyciu kamery termowizyjnej wykorzystywane są w budownictwie (wykrywanie miejsc strat ciepła w elewacji budynku oraz miejsc zawilgocenia przegród, stropów i fundamentów). Przeprowadzone badania mają na celu dokonanie jakościowej oceny stanu izolacji wybranych elementów pojazdu transportu zbiorowego na przykładzie tramwaju. Badania takie są bardzo potrzebne, aby na wczesnym etapie pojawienia się mostków termicznych, które mogą być wynikiem uszkodzenia uszczelki lub zużycia materiału, wykryć niepożądane zjawiska. W tym celu należy przeprowadzić testy termowizyjne pojazdu, a otrzymane termogramy dla wybranych fragmentów karoserii tramwaju poddać analizie rozkładu temperatury. Miejsca na termogramie wskazujące podwyższoną temperaturę należy przeanalizować pod kątem zdiagnozowania przyczyny powstania tej nieprawidłowości.

2.1 Standardy badań

Badania przeprowadzono na zewnątrz pojazdu. Nie ma normy odnoszącej się do badania izolacyjności termicznej pojazdów, dlatego przeprowadzono badania stosując się do wytycznych przedstawionych w normie PN-EN 13187 [21] stosowanej w budownictwie podczas testów mających na celu wykrycie miejsc występowania wad cieplnych w budynku. Podczas badań termowizyjnych zaleca się, aby były spełnione następujące warunki [2, 8, 21]:

- różnica temperatur po obu stronach przegrody powinna być na tyle duża, aby wykryć nieprawidłowości w rozkładzie temperatury, gradient temperatury (ΔT) powinien wynosić przynajmniej 10 °C, zaleca się, aby to była wartość 15 °C,
- temperatura wewnątrz badanego obiektu powinna być wyrównana, jednorodna w całym obszarze,
- badania należy wykonywać przed wschodem słońca, w godzinach wieczornych (całkowite zachmurzenie), w godzinach nocnych przy czystym niebie,
- prędkość wiatru nie powinna przekraczać 5 m/s,
- powierzchnia badanego obiektu nie może być wilgotna od opadów atmosferycznych,
- badania termowizyjnych nie należy wykonywać podczas opadów atmosferycznych (deszcz, śnieg, grad),
- badania termowizyjnych nie należy przeprowadzać podczas występowania mgły.

Dużym problemem przy badaniach termowizyjnych jest dobranie odpowiedniego współczynnika emisyjności badanego obiektu. W przeprowadzonych badaniach przyjęto współczynnik emisyjności dla karoserii $\epsilon=0,95$ (polakierowanej blachy) jak w pracy [13].

2.2 Aparatura pomiarowa

Do badań użyto kamerę termowizyjną Testo 875-1i z następującymi właściwościami [25]:

- zakres pomiarowy $T \in [-30 \text{ °C}, 350 \text{ °C}]$,
- detektor 160×120 pikseli,
- czułość termiczna $< 50 \text{ mK}$, obiektyw $32^\circ \times 23^\circ$,
- wbudowany aparat cyfrowy.

Do analizy obrazów termowizyjnych wykorzystano oprogramowanie Testo IRSofT [28].



Rys. 1. Kamera termowizyjna Testo 875 - 1i

2.3 Pomiar

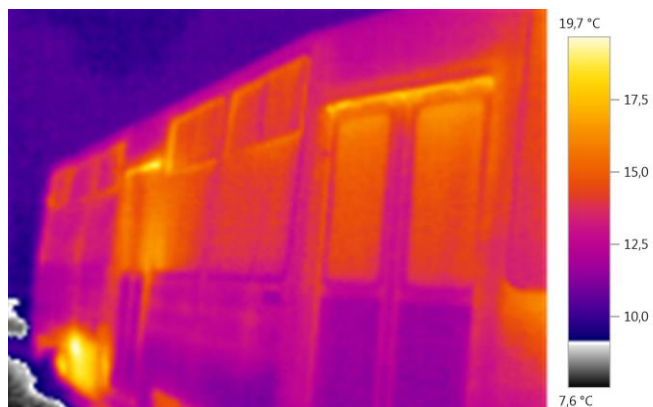
Obiektem badań były dwa różne tramwaje:

- A – tramwaj z lat 80-tych XX wieku,
- B – tramwaj z lat współczesnych.

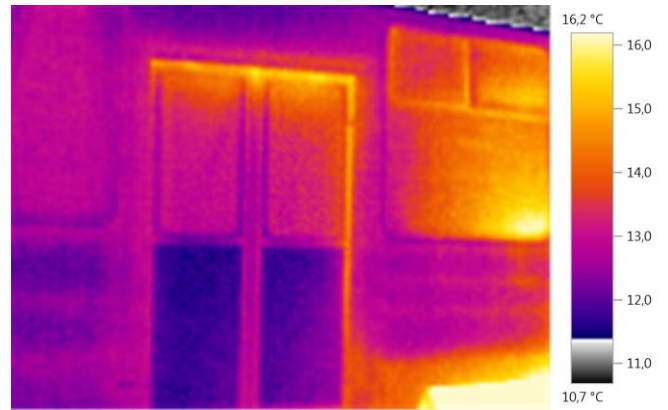
Badanie wykonano w godzinach 8:30 – 11:00. Dzień był pochmurny, obiekt badań nie był wystawiony na bezpośrednie działanie promieni słonecznych. Pomiar wykonywano na osłoniętym od wiatru terenie, w dniu badania prędkość wiatru nie przekraczała 4 m/s. Temperatura powietrza zewnętrznego wynosiła +4°C. Badanie było przeprowadzone bezpośrednio po przyjeździe tramwaju do zajezdni, na terenie otwartym. Temperatura wewnątrz pojazdu A wynosiła w różnych częściach tramwaju (wagonu): +18°C, +17°C, +14°C ($T_m = 16,33\text{ °C}$ – wartość średnia, $\Delta T \approx 12,33$), temperatura wewnątrz pojazdu B wynosiła: +22°C, +20°C, +21°C ($T_m = 21\text{ °C}$, $\Delta T \approx 17$). Temperaturę w obu typach tramwajów można uznać za wyrównaną.

3 Wyniki badań

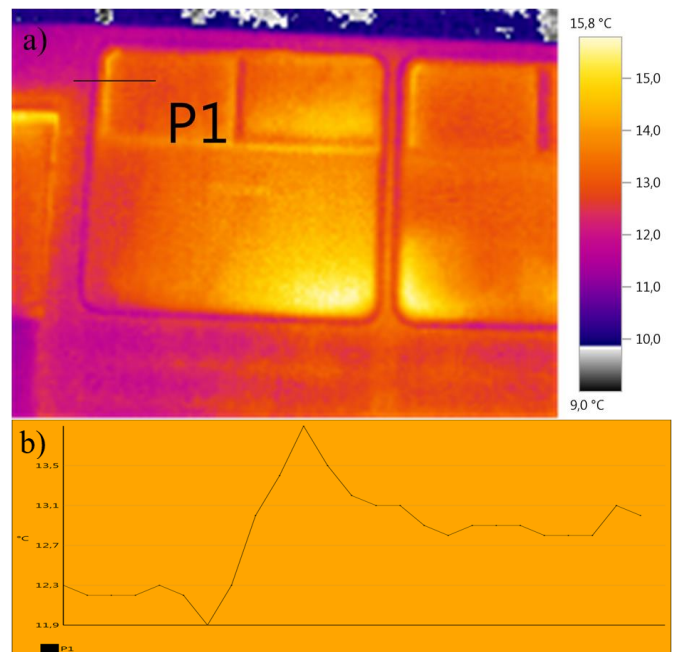
Na rysunkach 2 – 4 przedstawiono termogramy fragmentów tramwaju z lat 80-tych XX wieku (A). Tramwaje te są sukcesywnie wycofywane z eksploatacji ze względów bezpieczeństwa, kosztów eksploatacji i niskiego komfortu podróży i jazdy. Kolejno na rysunkach 2 – 4 przedstawiono miejsca strat ciepła w miejscach: osadzenia otwieranych części okien oraz między górną krawędzią drzwi dwuskrzydłowych a nadwoziem (rysunek 2), osadzenia drzwi (rysunek 3), osadzenia części otwieranej okna (rysunek 3).



Rys. 2. Zdjęcie termowizyjne fragmentu tramwaju A – zdjęcie pogłowe

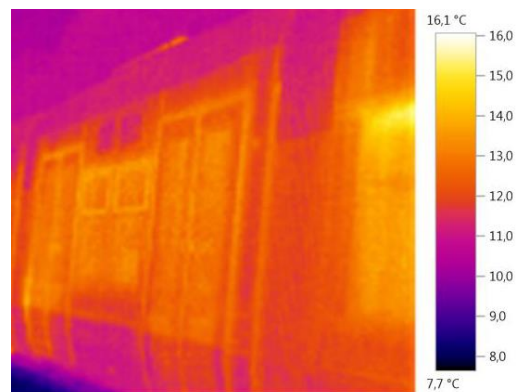


Rys. 3. Zdjęcie termowizyjne tramwaju A – fragment drzwi skrzydłowych



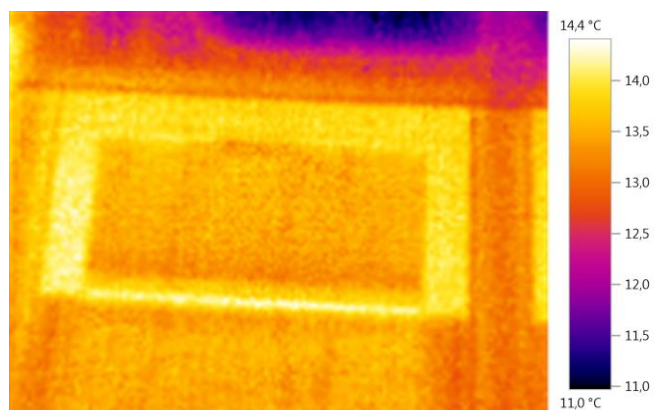
Rys. 4. a) Zdjęcie termowizyjne fragmentu tramwaju A, b) wykres temperatury wzdłuż linii przedstawionej na zdjęciu (Rysunek 4a)

Na rysunkach 5 – 9 przedstawiono termogramy fragmentów tramwaju, który wszedł do eksploatacji 5 lat temu (B). Na rysunku 5 można zauważyć straty ciepła, które występują: w miejscu osadzenia okien, szczególnie ich uchylnych części, drzwi skrzydłowych, w miejscu styku skrzydeł drzwi. Rysunki 6 – 7 przedstawiają wyselekcjonowane fragmenty tramwaju, aby uwydatnić miejsca, w których dochodzi do strat ciepła.



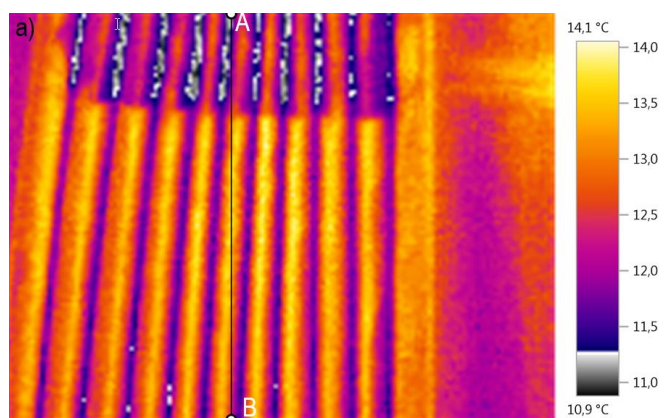
Rys. 5. Zdjęcie termowizyjne fragmentu tramwaju B – zdjęcie pogłowe

Na rysunku 6 pokazano termogram fragmentu tramwaju B, na którym jest widoczna strata ciepła w miejscu osadzenia okna – jego otwieranej części.

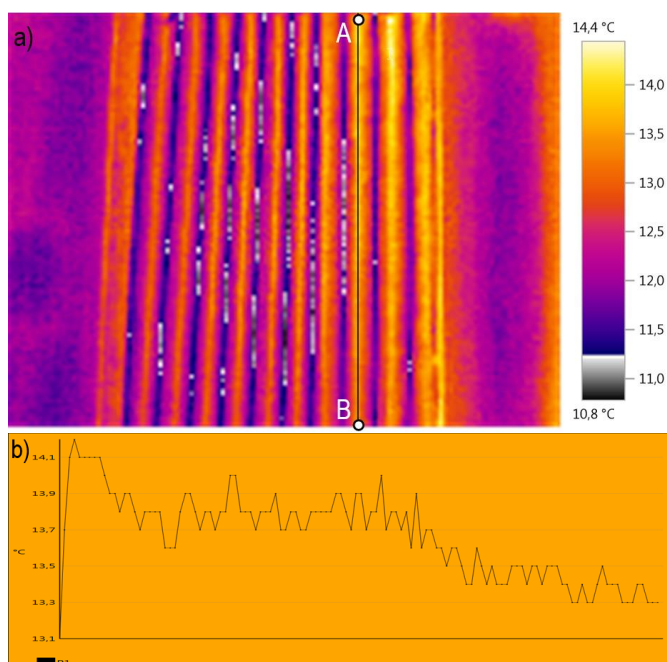


Rys. 6. Zdjęcie termowizyjne fragmentu tramwaju B –miejsce osadzenia okna (części otwieranej)

Poniżej, na rysunkach 7a, 8a przedstawiono straty ciepła przez przegub tramwaju B oraz w miejscach łączenia przegubu z karoserią. Na rysunku 7a wyraźnie widać skok temperatury wzdłuż linii łączenia. Przy wykorzystaniu oprogramowania Testo IRSofT dedykowanego wykorzystywanej kamerze utworzono wykres wzdłuż linii zaznaczonej na rysunku 7a w celu zobrazowania anomalii w rozkładzie temperatury wzdłuż linii łączenia. Rysunek 8a również przedstawia zdjęcie termowizyjne przegubu (bez uwidocznionego łączenia) tego samego tramwaju. Można zauważyć przy porównaniu wykresów na rysunku 7b i rysunku 8b, że rozkłady temperatury nie są analogiczne. Na rysunku 7a, powyżej linii łączenia widać niższą temperaturę niż poniżej tej linii. Może to być wynikiem tego, że powyżej linii łączenia występują dwie warstwy przegubu. Przebieg temperatury wzdłuż linii pokazanej na rysunku 7a przedstawia wykres (rysunek 7b). Początek układu odpowiada punktowi A na rysunku 7a i zwrot osi jest skierowany do punktu B.

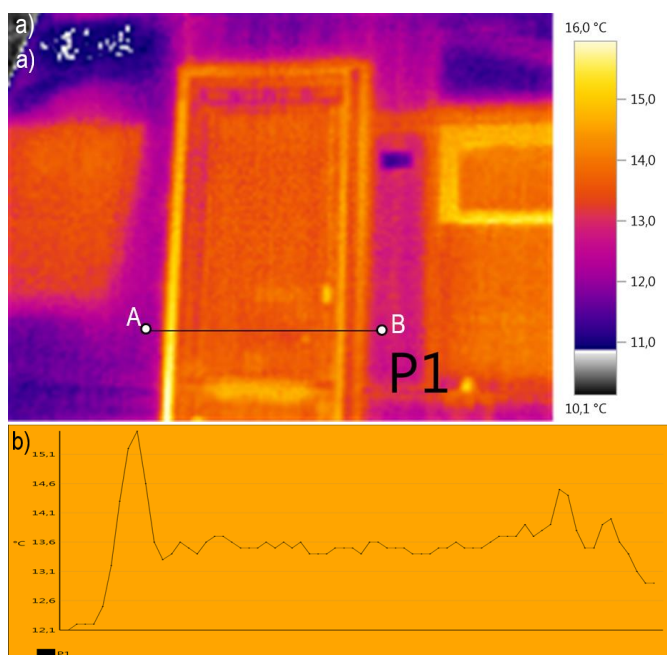


Rys. 7. a) Termogram fragmentu przegubu tramwaju B (miejsce łączenia), **b)** Wykres temperatury wzdłuż linii zaznaczonej na rysunku 7a



Rys. 8. a) Termogram fragmentu przegubu tramwaju B, **b)** Wykres temperatury wzdłuż linii zaznaczonej na rysunku 8a

Na rysunku 9a jest termogram miejsca osadzenia drzwi, rozkład temperatury wzdłuż linii przedstawia rysunek 9b. Można zauważyć skok temperatury w miejscu styku drzwi z karoserią.



Rys. 9. a) Termogram fragmentu przegubu tramwaju B – miejsce osadzenia drzwi, **b)** Wykres temperatury wzdłuż linii zaznaczonej na rysunku 9a

WNIOSKI

Badania termowizyjne można wykorzystywać do sprawdzenia izolacyjności nie tylko budynków, ale również pojazdów. W przypadku taboru komunikacji miejskiej występowanie miejsc w pojazdach strat ciepła należy do bardzo dużych problemów, ze względu na fakt, że przyczynia się to do znacznego wzrostu kosztów eksploatacji pojazdów (ogrzewanie, klimatyzacja). Należy zwrócić również uwagę, że w miejscach pojawiania się większych strat ciepła w karoserii może dochodzić do szybszej korozji blachy ze względu na kondensację wilgoci [1]. Na problem dodatkowych kosztów w

trakcie użytkowania pojazdów zwrócono uwagę w pracy [19]. Dodatkowo straty ciepła wywołują pogorszenie komfortu ciepła podróżujących oraz motorniczego, ze względu na fakt, że bardzo trudno w pomieszczeniu (pokład tramwaju traktuje się w pracy jako pomieszczenie zamknięte) o uzyskanie jednolitej temperatury, przy istniejących nieszczelnych ścianach pojazdu.

Bibliografia:

- Praca zbiorowa, Budownictwo ogólne Tom 2. Fizyka budowli, Arkady, Warszawa 2005.
- Balaras C.A., Argiriou A.A., Infrared thermography thermography for building diagnostics, „*Energy and Buildings*” 2002, nr 34.
- Bąk J., Bąk-Gajda D., Wybrane czynniki psychologiczne wpływające na czas reakcji kierowcy, „*Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów*” 2013, 5(96).
- Dylla A., Fizyka cieplna budowli w praktyce, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2015.
- Goldstein R. J., Application of aerial infrared thermography to measurement of building heat loss, „*ASHRAE Transactions*” 1978, **84** (1).
- Guźda A., Szmolke N., Przykład rozkładu parametrów powietrza w autobusie komunikacji miejskiej, „*Autobusy*” 2016, nr 6.
- Jarmużek P., Sawczuk W., Koncepcja zastosowania kamery termowizyjnej do oceny stanu wybranych zespołów silnika spalinowego, „*Logistyka*” 2014, nr 3.
- Jaworski J., Termografia budynków. Wykorzystanie obrazów termalnych w diagnostyce budynków, Dolnośląskie Wydawnictwo, Wrocław 2000.
- Kwaśniewski S., Wymagania w zakresie mikroklimatu we wnętrzach pojazdów oraz kabin maszyn roboczych, Wrocław, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 1995.
- Mężyk A., Zamkowska S., Podnoszenie jakości usług w przewozach pasażerskich, „*TTS Technika Transportu Szybnego*” 2004, nr 3.
- Najmiec A., Psychospołeczne warunki pracy kierowcy autobusu komunikacji miejskiej, „*Bezpieczeństwo Pracy BP*” 2012, nr 11.
- Nieoczym A., Longwic R., Lotko W., Wstępna diagnostyka pojazdu z wykorzystaniem kamery termowizyjnej, „*Autobusy*” 2017, 6.
- Omazda J., Omazda A., Rybiński J., Szajewska A., Badanie rozwoju pożaru samochodu osobowego w pomieszczeniu, „*Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza*” 2012, tom 27, numer 3.
- Orzechowski T., Skrobacik Z., Ocena stanu termicznego wnętrza kabiny samochodu, „*Logistyka*” 2015, nr 4.
- Vidyasagar K., Sekhar Babu P., R. Ram Prasad, Train Tracking and the Signaling System using Infrared and Radio Frequency Technology, „*International Journal of Computer Applications*” 2015, Volume 119 – No.23.
- Velt K. B., Daanen H. A. M., Optimal bus temperature for thermal comfort during a cool day, „*Applied Ergonomics*” 2017, 62.
- Rakesh V. Pise, Parag D. Nikhar, Avinash H. Shelar, Review on railway track crack detection using IR transmitter and receiver, „*International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*” 2017, Volume 04 - Issue: 01.
- Sitarz M., Řezniček R., Mańka A., Helka A., Badanie stanowiące zjawisk termicznych zachodzących w układzie koło kole-
jowe-kłosek hamulcowy, „*Czasopismo Techniczne. Mechanika*” 2011, R. 108, z. 2-M.
- Styla S., Wróbel K., Ocena strat ciepła kabiny pasażerskiej podczas eksploatacji samochodu osobowego w okresie zimowym, „*Logistyka*” 2011, nr 3.
- Uściłowska A., Chudzicka-Adamczak M.: *Comparison of the Temperature Distribution as a Result of Computer Simulation using the Method of Fundamental Solution with Infrared Image for the External Insulation of Building*. TREFFTZ/MFS – The Joint International Conference on Trefftz Method VII and Method of Fundamental Solutions III, Hangzhou, China, October 11-13, 2015.
- PN-EN 13187 Właściwości cieplne budynków. Jakościowa detekcja wad cieplnych w obudowie budynku – metoda podczerwieni.
- PN-EN ISO 7730:2006 Ergonomia środowiska termicznego. Analityczne wyznaczenie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczenia wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego.
- Krause Paweł, Steidl T., Nowoświat A., Jakościowa analiza termogramów w diagnostyce izolacyjności termicznej przegród zewnętrznych w budynkach mieszkalnych.
http://www.lbe.org.pl/static/uploaded_files/jakosciowa-analiza-t-11/jakosciowa-analiza-termogramow.pdf; dostęp 30.11.2018.
- https://en.wikipedia.org/wiki/Delhi_Metro; dostęp 30.11.2018
- <https://www.testo.com/pl-PL/kamera-termowizyjna-testo-875-1i/p/0563-0875-V1>, dostęp dnia 30.11.2018
- <https://wiadomosci.onet.pl/kraj/100-lat-polsko-lodz-najdluzsza-linia-tramwajowa-przestaje-istniec/hvk4tc7>, dostęp 30.11.2018
- Kolej metra w Delhi wykorzystuje kamery termowizyjne Flir do monitorowania linii napowietrznych
<http://termowizja.ibros.pl/index.php/informacje-aktualnosci/zastosowanie-kamer-termowizyjnych-flir/item/155-kolej-metra-w-delhi-wykorzystuje-kamery-termowizyjne-flir-do-monitorowania-linii-napowietrznych>, dostęp dnia 30.11.2018
- <https://www.testo.com/pl-PL/kamery-termowizyjne/oprogramowanie-irsoft>

Thermal insulation of a public transport vehicle - tram with the use of thermal imaging measurements

The article presents the possibility of using thermography to assess the quality of thermal insulation of public transport vehicles on the example of a tram. Such tests are aimed at detecting places where there is an uncontrolled heat loss. Thermographic tests were carried out for two trams: from the eighties of the twentieth century and from the present.

Keywords: infrared and thermal testing, thermal bridges, thermal insulation, thermal comfort, mass communication

Autorzy:

dr Marta Chudzicka-Adamczak – Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. St. Staszica w Pile, Instytut Politechniczny.
E-mail: mchudzicka@pwsz.pila.pl