

Tomasz Rochatka

# Analiza błędów konstrukcyjnych, technologicznych oraz eksploatacyjnych nadwozi izotermicznych i chłodniczych

JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2018.464

Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

W artykule przedstawiono opis konstrukcji nadwozi izotermicznych i chłodniczych, ich wrażliwość na uszkodzenia głównie mechaniczne oraz przykłady różnych typów uszkodzeń. Przedstawiając uszkodzenia nadwozi opisano mechanizm powstania, zobrazowano uszkodzenia za pomocą zdjęć termowizyjnych i omówiono konsekwencje tych uszkodzeń. Artykuł zawiera opis metod badania uszkodzeń nadwozi, przedstawiając zalety i wady metod badawczych. Wyniki badań mogą być podstawą do podjęcia decyzji o dalszej eksploatacji lub kwalifikacji do naprawy. W artykule przedstawiono problemy związane z projektowaniem, budową i eksploatacją nadwozi izotermicznych i chłodniczych. Omówiono konstrukcję, materiały oraz technologię wykonania współczesnych nadwozi izotermicznych i chłodniczych. Na licznych przykładach omówiono przyczyny błędów konstrukcyjnych popełnianych przez projektantów, technologicznych popełnianych przez pracowników w czasie procesu wytwarzania oraz eksploatacyjnych popełnianych przez użytkowników nadwozi izotermicznych i chłodniczych. Błędy popełnione na różnych etapach procesu produkcyjnego lub użytkowania skutkują wzrostem strat ciepła nadwozi chłodniczych, wzrostem kosztów eksploatacji agregatu chłodniczego (paliwo i serwis), zwiększeniem emisji CO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub> do atmosfery, pogorszeniem jakości przewożonych produktów spożywczych i innych. Skutki popełnionych błędów – wzrost strat ciepła – można badać ilościowo i jakościowo. Dla zilustrowania skutków popełnianych błędów na różnych etapach produkcji i użytkowania przytoczono przykładowy materiał termowizyjny konstrukcyjnych, technologicznych i eksploatacyjnych mostków ciepła [1],[2].

**Słowa kluczowe:** nadwozie izotermiczne i chłodnicze, uszkodzenie nadwozia, termowizja.

## Wstęp

Nadwozia chłodnicze realizują transport w kontrolowanych temperaturach. Ich zadaniem jest realizacja dwóch funkcji magazynowania i przemieszczania na różnych etapach łańcucha transportowego od producenta – wytwórcy do konsumenta. Produkty wrażliwe, takie jak żywność łatwopsująca się, wyroby medyczne, szczepionki, wrażliwe na zmiany temperatury chemikalia, dzieła sztuki czy delikatna aparatura kontrolno-pomiarowa wymagają kontroli temperatury lub temperatury i wilgotności, powinny w całym łańcuchu dostaw być przemieszczane i przechowywane w specjalnych nadwoziach wyposażonych w wyizolowaną cieplnie przestrzeń w której urządzenia techniczne są w stanie utrzymać wymaganą temperaturę niezależnie od temperatury na zewnątrz nadwozia. Większość transportów odbywa się w warunkach gdy temperatura wewnątrz jest niższa niż na zewnątrz, ale są transporty w północnych częściach Europy zimą, gdy żywność w stanie świeżym musi być transportowana w temperaturach otoczenia rzędu -30 .. -40 °C. Nie brakuje też transportów towarów, gdy nawet w lecie należy podgrzewać produkt spożywczy – czekoladę lub tłuszcz, aby nie nastąpiło zestalenie ponieważ ponowny proces topnienia przy rozła-

dunku powoduje pogorszenie własności ww produktów. Aby sprostać takim wymaganiom nadwozie izotermiczne i chłodnicze musi wyposażone w odpowiedniej jakości izolację i dodatkowo urządzenie chłodnicze lub grzewcze.

## 1. Konstrukcja nadwozi izotermicznych i chłodniczych

Nadwozia izotermiczne i chłodnicze zbudowane są z paneli izolacyjnych w których rdzeń z materiału izolacyjnego jest chroniony poszyciem. Podstawową wadą materiałów izolacyjnych stosowanych na izolację cieplną jest ich niska wytrzymałość mechaniczna. Materiał izolacyjny cechuje się budową porowatą, w którym gaz cięższy od powietrza (trudniej taki gaz wprowadzić w ruch konwekcyjny, który jest odpowiedzialny za przenoszenie ciepła przez porowatą strukturę) jest zamknięty w komórkach osnowy. Materiał izolacyjny jest tak miękki, że samodzielnie nie nadaje się do budowy nadwozi izotermicznych i chłodniczych. Niestety oprócz niskiej wytrzymałości mechanicznej współczesne materiały stosowane do izolacji cieplnej są wrażliwe na wpływy otoczenia głównie wilgoć a ponieważ są to materiały na bazie tworzyw sztucznych są również wrażliwe na promieniowanie UV. Z tych względów materiał izolacyjny nie jest jedynym tworzywem wykorzystywanym do budowy paneli izolacyjnych z których buduje się nadwozia izotermiczne i chłodnicze. Współcześnie wykorzystuje się poliuretan oraz styropian ekstrudowany XPS. Poliuretan ma niższy (czyli korzystniejszy) współczynnik przewodzenia ciepła lambda (0,024-0,025 W/mK), a styropian ekstrudowany XPS ma nieco większy współczynnik przewodzenia ciepła lambda (0,029-0,030 W/mK). Na potrzeby budowy nadwozi izotermicznych i chłodniczych przeznaczonych do transportu w stanie świeżym trzeba zastosować minimum 40mm materiałów izolacyjnych, a dla nadwozi przeznaczonych do transportów w stanie zamrożonym i głęboko zamrożonym minimum 60mm izolacji. Często elementy nadwozia izotermicznego i chłodniczego najbardziej narażone na silną operację słoneczną działającą bezpośrednio na dach oraz pośrednio od rozgrzanego asfaltu czyli podłoga wykonuje się z zastosowaniem grubszej warstwy materiału izolacyjnego. Izolacja dachu i podłogi sięga grubości 100-150mm.

Drugim ważnym materiałem z którego buduje się panele nadwozi chłodniczych jest poszycie chroniące materiał izolacyjny. Funkcje ochronne można podzielić na zabezpieczenie materiału izolacyjnego od obciążeń skupionych lub rozproszonych oraz na ochronę od wpływu czynników środowiskowych – wilgoć i UV. Stosunkowo miękki materiał izolacyjny okleja się laminatem grubości 1,5-2,5mm lub blachą stalową lakierowaną grubości 0,5-1,0mm. Dzięki wytrzymałości mechanicznej tworzywa z którego jest wykonane poszycie panel nabiera wytrzymałości wystarczającej do zastosowania w budowie nadwozi izotermicznych i chłodniczych.

Funkcja ochronna polega na zabezpieczeniu materiału izolacyjnego przed wnikięciem wilgoci, która zwiększa współczynnik przewodzenia ciepła materiału izolacyjnego. Drugim czynnikiem środowiskowym niszczącym strukturę materiału izolacyjnego jest promieniowanie UV. Do materiałów izolacyjnych generalnie nie dodaje się stabilizatorów poprawiających odporność na UV ponieważ zakłada się, że i tak materiał izolacyjny nie jest stosowany samodzielnie lecz

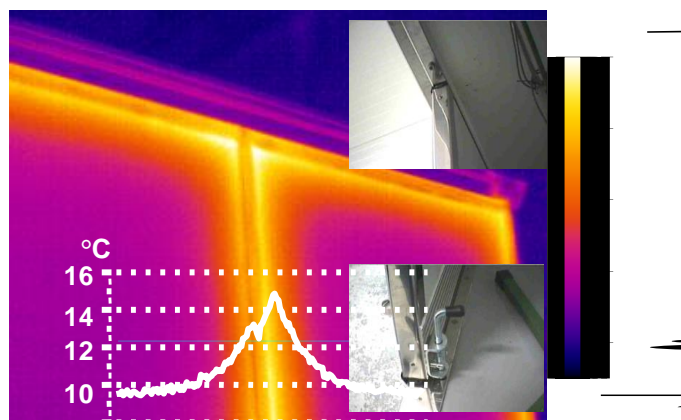
z osłonami chroniącymi ten materiał przed destrukcyjnym wpływem wody i promieniowaniem UV.

Stosowanie dwóch tworzyw konstrukcyjnych (o różnych właściwościach cieplnych i mechanicznych) do budowy paneli z których zbudowane jest nadwozie napotyka na poważny problem, jak zakończyć panel. Poszycia cechują się większą wytrzymałością mechaniczną, ale posiadają większy współczynnik przewodzenia ciepła w przypadku materiałów izolacyjnych jest odwrotnie dobre właściwości izolacyjne okupione są niską wytrzymałością mechaniczną. Stosowanie w obrębie złączy paneli wzmocnień konstrukcyjnych usztywnia konstrukcję nadwozia ale pogarsza właściwości izolacyjne łączeń paneli a przez to całego nadwozia, gdy nie zostają zastosowane wzmocnienia na krawędziach paneli wytrzymałość nadwozia jako całości będzie dużo gorsza niż ze wzmocnieniami. Najbardziej jaskrawym przykładem konfliktu między wytrzymałością mechaniczną a izolacyjnością nadwozia są skrzydła drzwi oraz próg. Mechanicznie obciążone elementy wymagają zastosowania wzmocnień w obrębie krawędzi skrzydła ale te wzmocnienia pogarszają właściwości izolacyjne. Jedynym racjonalnym rozwiązaniem w takiej sytuacji jest stosowanie wzmocnień wraz z pogrubieniem materiału izolacyjnego, aby częściowo zniwelować straty ciepła związane z wzmocnieniem krawędzi skrzydła drzwi. Dla nadwozia przeznaczonego do transportów w ujemnych temperaturach wykonanego z 60mm materiału izolacyjnego standardem jest zastosowanie 80mm materiału izolacyjnego na skrzydła drzwi. Zwiększenie grubości izolacji drzwi oprócz redukcji strat ciepła przez miejsca, gdzie zastosowano wzmocnienia związane z mocowaniem zawiasów, zamknięć oraz obróbką krawędzi drzwi, ma jeszcze drugi aspekt – wzrost sztywności tego ruchomego elementu co pozytywnie wpływa na trwałość drzwi.

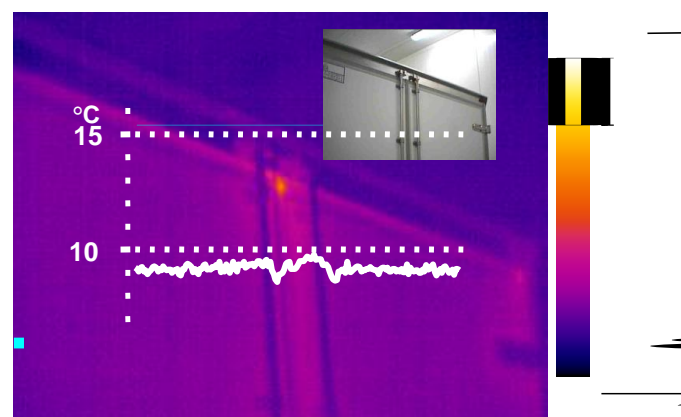
## 2. Analiza błędów konstrukcyjnych nadwozi izotermicznych i chłodniczych

Stosowanie nowych materiałów i technologii do budowy nadwozi izotermicznych i chłodniczych połączone z oczekiwaniami klientów wymuszającymi zwiększenie ładowności nadwozia kosztem masy nadwozia przy niezmiennym DMC pojazdu jest możliwe tylko dzięki rozwojowi konstrukcji. Ale ten rozwój należy odczytywać jako coraz większe komplikowanie konstrukcji zdolnej do przewożenia większych ilości ładunków lżejszym nadwoziem. Presja czasu realizacji projektu i gotowego produktu często realizowanego indywidualnie pod potrzeby klienta, połączona z nowymi technologiami i materiałami oraz oszczędnościami w na etapie zakupu surowców i materiałów do budowy nadwozi, wcześniej czy później kończy się popełnianiem błędów konstrukcyjnych. Błąd w założeniu do projektu, przyjęciu błędnego rozwiązania, spełnianiu oczekiwań klientów skutkuje realizacją nadwozia, którego straty ciepła są większe niż oczekiwał klient. Niestety ten scenariusz był, jest i będzie powtarzalny. Rys. 1. przedstawia system zamknięć drzwi, którego podstawową wadą jest brak dostatecznego nacisku na uszczelnienie a przez to złe przyleganie uszczelnienia do ramy drzwi. Zdjęcie termowizyjne nie daje cienia wątpliwości, że przyjęte rozwiązanie konstrukcyjne to poważny błąd i skutkuje wzrostem strat ciepła w bilansie cieplnym nadwozia. Dla porównania rys. 2 przedstawia zdjęcie termowizyjne poprawnie zaprojektowanych i zmontowanych drzwi ze standardowymi zamknięciami. Kolor ciemniejszy na zdjęciu z rys. 2 przy tej samej skali temperatur jak na rys. 1 oznacza mniejsze straty ciepła w obrębie drzwi.

Kolejne dwa rysunki przedstawiają skutki ciepłe różnych konstrukcji krawędzi skrzydeł drzwi. Na rys. 3 przedstawiono skrzydła drzwi z blaszanymi poszyciami, w których krawędzie poszycia są zagięte i połączone ze sobą.

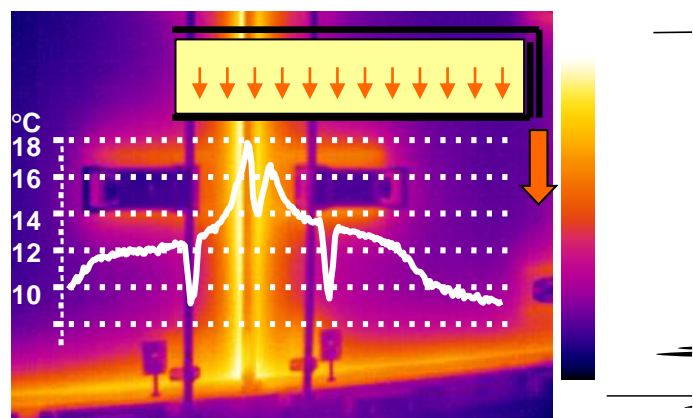


Rys. 1. Zdjęcie nietypowego zamknięcia drzwi i skutek cieplny przyjętego rozwiązania – duże straty ciepła obserwowane na zdjęciu termowizyjnym

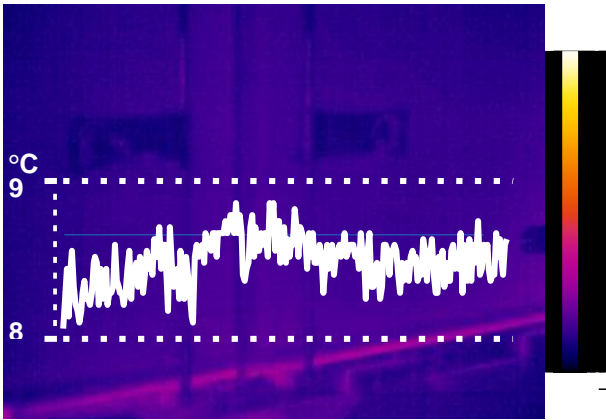


Rys. 2. Zdjęcie standardowo zamykanych drzwi tylnych – małe straty ciepła obserwowane kamerą termowizyjną.

Od strony mechanicznej zagięcie i połączenie poszyc jest bardzo dobrym rozwiązaniem, ale poszycia o różnych temperaturach połączone ze sobą powodują intensywną wymianę ciepła. Rys. 4. przedstawia inną konstrukcję zabezpieczenia materiału izolacyjnego na krawędziach. Poszycia wykonane z laminatu kończą się na krawędzi skrzydła drzwi a materiał izolacyjny jest chroniony za pomocą listwy w kształcie litery C z tworzywa sztucznego zintegrowanej z uszczelką. Przy tych samych skalach temperatur na obydwu zdjęciach jaśniejsze barwy na rys. 3 wskazują większe straty ciepła niż na rys. 4.



Rys. 3. Zdjęcie termowizyjne skrzydła drzwi z zagiętymi poszyciami na krawędziach i połączonymi dla usztywnienia konstrukcji skrzydła – jasne barwy wskazują miejsca dużych strat ciepła głównie na krawędziach.

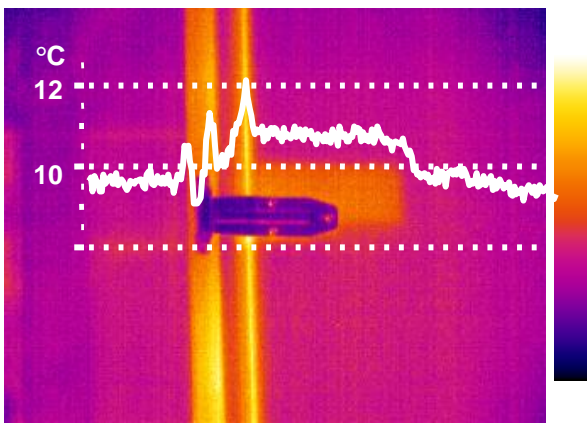


Rys. 4. Zdjęcie termowizyjne skrzydeł drzwi z krawędziami zabezpieczonymi listwą z tworzywa zintegrowaną z uszczelką – ciemne barwy wskazują małe straty ciepła w porównaniu z krawędziami pokazanymi na rys. 3.

### 3. Analiza błędów technologicznych nadwozi izotermicznych i chłodniczych

Nadwozia izotermiczne i chłodnicze to coraz bardziej zaawansowane technicznie konstrukcje wykonane z nowoczesnych materiałów. Niestety im bardziej zaawansowana konstrukcja tym więcej miejsc, gdzie człowiek montujący tą konstrukcję może popełnić błędy. Generalnie błędy technologiczne związane są z błędami ludzkimi na etapie wytwarzania. Zmieniony osprzęt w trakcie wytwarzania nadwozia (z powodu zmiany wymagań klienta lub braku jakiegoś komponentu i konieczności zastąpienia innym) skutkuje często zmianą rozstawu mocowania. Zmieniony lub zmodyfikowany projekt każdorazowo wydrukowany w postaci nowych rysunków wykonawczych może za późno trafić na produkcję i powstają rozbieżności między projektem a obiektem oddanym użytkownikowi do eksploatacji.

Na rys. 5 przedstawiono zdjęcie mocowania zawiasu skrzydła drzwi tylnych. Pod poszyciem jest umieszczone wzmocnienie, do którego jest mocowany zawias, ale spawacz mocujący wzmocnienie do ramy skrzydła drzwi lub monter drzwi źle wyznaczyli położenie elementów, którego skutkiem jest powstanie mocno osłabionego węzła (z 3 śrub swoje zadanie pełni tylko jedna śruba, druga jest zamocowana na brzegu wzmocnienia i przy obciążeniu grozi wyrwaniem z krawędzi wzmocnienia a trzecia śruba jest tylko utrzymywana na poszyciu. Ironia polega na tym, że przed wypadnięciem drzwi z nadwozia, wyżej opisany błąd bez kontroli termowizyjnej nie jest do wychwycenia przez kontrolę techniczną producenta.

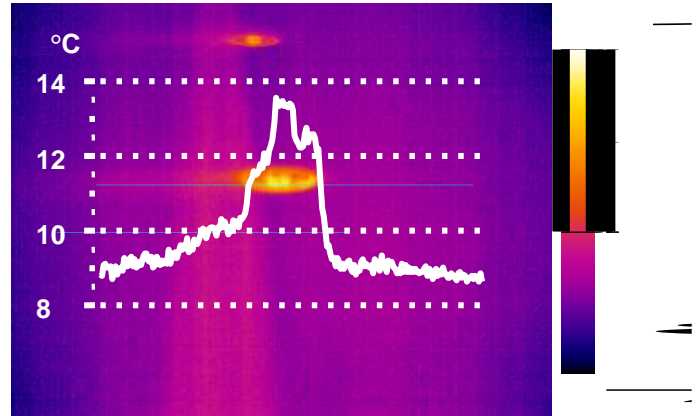


Rys. 5. Zdjęcie błędnie zmontowanego zawiasu skrzydła drzwi

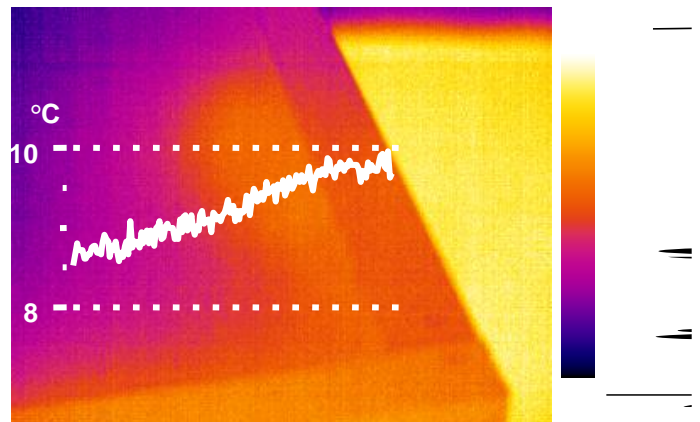
Rys. 6. przedstawia kolejny błąd popełniony przez człowieka na etapie produkcji, położenie otworów montażowych agregatu chłod-

niczego nie pokrywa się z położeniem wzmocnień zatopionych w materiale izolacyjnym. Cały ciężar agregatu spoczywa piance poliuretanowej i na blasze poszycia. Taki montaż nie gwarantuje trwałości zamontowanego agregatu.

Kolejny przykład błędu technologicznego przedstawia rys. 7. - skutki błędu programowania ilości komponentów w maszynie od odmierzenia, mieszania i wtrysku składników pianki poliuretanowej do formy – blach poszycia. Gdy ze względu na niewłaściwe proporcje lub ilość wtrysniętych składników pianki poliuretanowej początkowy proces rozrostu pianki zostanie zakłócony, powstają niedolewki pianki - miejsca niewypełnione pianką lub wypełnione pianką o mniejszej gęstości, która wykazuje się gorszymi własnościami izolacyjnymi co może zarejestrować kamera termowizyjna.



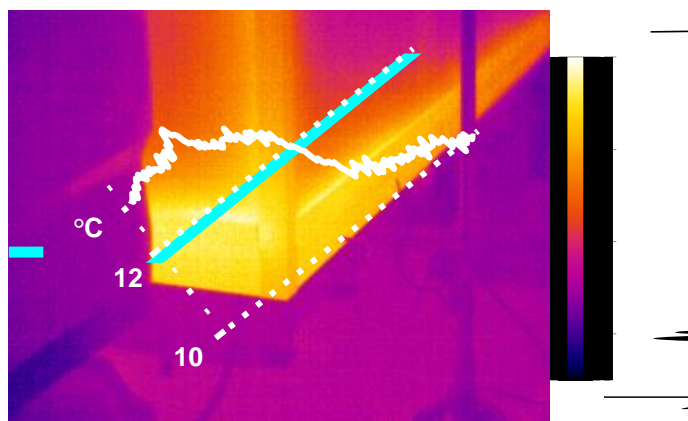
Rys. 6. Zdjęcie termowizyjne błędu położenia łączników mocowania agregatu chłodniczego w nadwoziu.



Rys. 7. Zdjęcie termowizyjne niedolewka pianki w narożniku płyty dachowej – jaśniejsze miejsce na narożniku płyty wskazuje brak pianki poliuretanowej

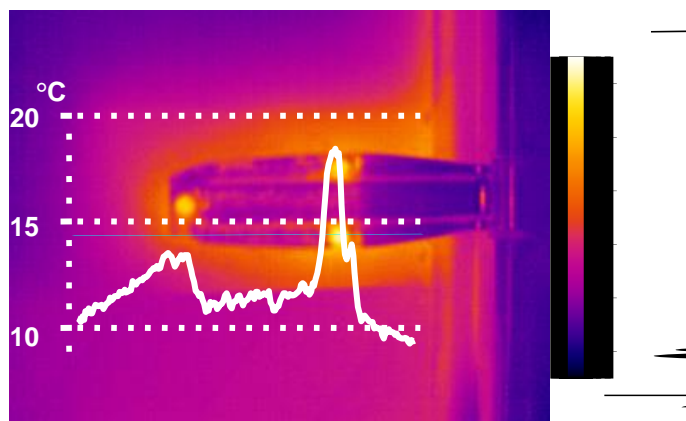
### 4. Analiza błędów eksploatacyjnych nadwozi izotermicznych i chłodniczych

Wyprodukowane i oddane do eksploatacji nadwozie podlega dalszym procesom pogorszenia stanu technicznego w tym własności izolacyjnych, których źródłem są błędy człowieka. Niewłaściwa eksploatacja może doprowadzić nadwozie do drastycznego pogorszenia własności izolacyjnych. Przykładem może być przewóz towarów nieodpowiednim nadwoziem, np. ryb w stanie świeżym wiezionym w lodzie, który topniejąc i zalewając podłogę może przedostać się do materiału izolacyjnego przez co zamoczony materiał izolacyjny traci swoje własności izolacyjne. Na rys. 8 przedstawiono zwykle nadwozie chłodnicze bez specjalnej podłogi tzw. wanny po 2 latach transportu ryb w stanie świeżym.



**Rys. 8.** Skutki ciepłe przewodzenia ryb w stanie świeżym nadwoziem bez specjalnej podłogi typu wanny po 2 latach eksploatacji.

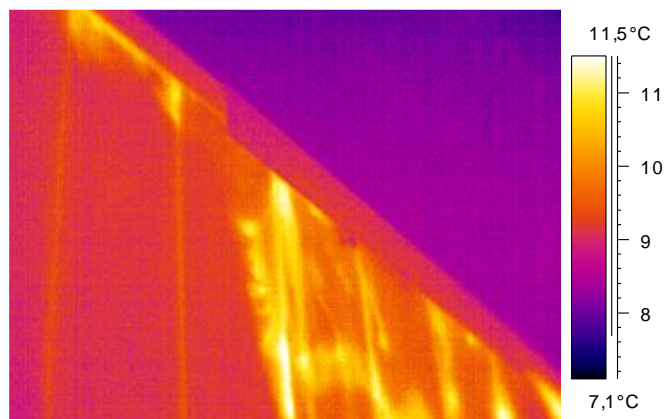
Obiekt poddany eksploatacji podlega procesowi zużycia czyli pogorszenia cech użytkowych w przypadku nadwozi chłodniczych chodzi o własności izolacyjne. Lecz oprócz ciągłego powolnego procesu pogarszania się własności izolacyjnych, nadwozie podlega również mniejszym lub większym awariom o charakterze lokalnym, skutkującym nagłym pogorszeniem się własności izolacyjnych z powodu uszkodzenia nadwozia na skutek zdarzenia losowego. O ile ciągle pogarszanie własności izolacyjnych pozostaje przez użytkownika bez prób naprawy nadwozia o tyle nagłe pogorszenia związane z uszkodzeniem miejscowym często skutkuje podejmowaniem działań mających za cel przywrócenie parametrów z przed uszkodzenia czyli przeprowadzenia tzw. naprawy. O ile naprawa jest przeprowadzana przez firmę posiadającą odpowiednie technologie, zaplecze techniczne i wyszkolony personel to jest spora szansa, że skutki takiej naprawy (odtworzone własności izolacyjne) będą zbliżone do własności izolacyjnych z przed awarii. Niestety ilość źle wykonanych napraw świadczy o tym, że naprawy nie są wykonywane przez profesjonalne firmy a powód jest prosty, dobrze wykonane naprawy są drogie. Rys. 9, 10 i 11 przedstawiają skutki niefachowo wykonanych napraw. Jasne kolory łączników – śrub wskazują, że łączniki zostały zamontowane w otworach wywierconych przez grubość materiału izolacyjnego a to poważny błąd. Zawiasy montuje się wkręcając śruby w osadzone wcześniej nitonakrętki, które obejmują poszycie i blachę wzmacniającą pod poszyciem, a nie wierząc otwór przez grubość skrzydła drzwi i łącząc metalowym łącznikiem strefy o różnych temperaturach. Kolejne zdjęcia pokazują próby naprawy podstawowymi narzędziami i najprostszymi technologiami, (wierćło, śruby, pas blachy, blachowkręty, nity zrywalne zwykłe). Z punktu widzenia estetyki naprawa wygląda dużo lepiej niż niezabezpieczone uszkodzenie, ale zdjęcie w podczerwieni i nie pozostawia cienia wątpliwości, że cel naprawy – przywrócenie stanu uszkodzonego fragmentu izolacji do stanu z przed uszkodzenia nie został osiągnięty. Szczególnie rys. 11 pokazuje, że zasłonięcie uszkodzenia zamontowanym kawałkiem blachy bez zabezpieczenia uszkodzenia przed wnikaniem wody opadowej i z mycia nadwozia to stanowczo za mało. Pod miejscem „naprawy” widać jasne miejsca – efekt zamoczenia materiału izolacyjnego - wzrostu strat ciepła przez mokry materiał izolacyjny. Dla porównania w miejscu na lewo od „naprawy”, gdzie nie występowało wnikanie wody do struktury kamera termowizyjna nie zarejestrowała tak dużego wzrostu strat ciepła jak pod naprawianym uszkodzeniem.



**Rys. 9.** Skutek ciepły niefachowej naprawy mocowania zawiasu.



**Rys. 10.** Skutek ciepły niefachowej naprawy rozerwanego poszycia zewnętrznego



**Rys. 11.** Skutek ciepły niefachowej naprawy uszkodzenia górnej krawędzi ściany bocznej

## Wnioski

Nadwozia izotermiczne i chłodnicze to skomplikowane technicznie obiekty, które aby dobrze pełniły swoje zadania (magazynowania i przemieszczania) musi być dobrze zaprojektowane, dobrze wyprodukowane i dobrze eksploatowane. Każdy błąd na dowolnym etapie życia obiektu skutkuje wzrostem strat ciepła przez izolację ciepło / zimnochronną a to powoduje wzrost kosztów eksploatacji nadwozia (głównie paliwa zasilającego silnik spalinowy napędu agregatu chłodniczego, wzrost kosztów serwisowania agregatów chłodniczych – częstsze wizyty w serwisie związane z osiągnięciem limitu pracy agregatu, większą emisję CO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub> do atmosfery.

### Bibliografia

1. Rochatka T.: Termowizja jako narzędzie w diagnostyce uszkodzeń nadwozi izolowanych i chłodniczych. *Autobusy Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 12/2017, s. 1267-1270
2. Rochatka T.: Zastosowanie termowizji do badania nadwozi izotermicznych przeznaczonych do transport żywności, IX Konferencja Krajowa: Termografia I termowizja w podczerwieni, Ustroń – Jaszowiec, 19-21 Października 2011, pod. Red. Prof. Bogusława Więcka, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 201, s. 103-105

---

#### Analysis of constructional, technological and operational errors isothermal and refrigerated bodies

The article presents problems related to the design, construction and operation of isothermal and refrigeration bodies. The structure, materials and technology of modern isothermal and cooling bodies are discussed. Numerous examples of causes of structural errors made by designers, technological mistakes made by employees during the manufacturing process and exploitation made by users of

isothermal and refrigeration bodies are discussed. Mistakes made at various stages of the production process or use result in an increase in heat losses of the refrigeration bodies, increase in the refrigeration unit operating costs (fuel and service), increase in CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions to the atmosphere, deterioration of the transported food and other products. The effects of mistakes made - an increase in heat loss - can be quantitatively and qualitatively tested. To illustrate the effects of errors made at various stages of production and use, the example thermal imaging material of constructional, technological and operating heat bridges [1], [2] was quoted.

---

**Keywords:** isothermal and refrigeration body, damage to the body, thermovision

**Autor:**

dr inż. **Tomasz Rochatka** – Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Transportu, Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, tomasz.rochatka@put.poznan.pl