

*Krzysztof Bieńczyk, Tomasz Rochatka, Arkadiusz Stachowiak,
Przemysław Tyczewski, Wiesław Zwierzycki
Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych
Politechnika Poznańska*

MIGRACJA POWIETRZA DO WNĘTRZA NADWOZIA IZOTERMICZNEGO PODZAS OTWARCIA DRZWI

Streszczenie: W pracy zaprezentowano wyniki z własnych badań procesu migracji powietrza do wnętrza nadwozia przez otwarte drzwi. Eksperymenty wykonano dla różnego czasu otwarcia drzwi w wariacji z kurtyną paskową i bez kurtyny paskowej.

Słowa kluczowe: migracja powietrza, nadwozie chłodnicze, badania

Wstęp

Ciepło do nadwozia izotermicznego z kontrolowaną temperaturą wnika na drodze:

- przewodzenia przez ściany, dach i podłogę,
- konwencji przez nieszczelności i podczas otwarcia drzwi.

Ocenę ilości wnikającego ciepła przez ściany i nieszczelności dokonuje się w stacjach badań na zgodność z Umową ATP [ATP] podczas rutynowych testów. Natomiast określeniem ilości ciepła i wilgoci wnikającego podczas otwarcia drzwi zajmowano się tylko w nielicznych opracowaniach np. [Tsc, 2002].

Podejmowane są różnorodne próby zmierzające do minimalizacji ilości powietrza wnikającego przez otwarte drzwi. Przykładowo w centrach dystrybucyjnych luki przeładunkowe wyposażone są w rękawy ograniczające migrację powietrza z otoczenia do wnętrza pojazdu. W przypadku przewozów dystrybucyjnych wyładunek zamówionych partii towaru odbywa się z reguły z pominięciem doków.

Czynione są różnorodne próby ograniczenia migracji. W lodowniach służących do dystrybucji głęboko zamrożonej żywności stosuje się kilka (do 6 sztuk) niewielkich drzwi bocznych po każdej stronie nadwozia. Inne rozwiązanie może być

zastosowane w dystrybucyjnych nadwoziach chłodniczych, polegające na zastosowaniu kurtyn paskowych względnie kurtyn powietrznych. Ze względu na znaczny koszt instalacji kurtyn powietrznych nieuzasadnione jest ich stosowanie w klimacie umiarkowanym. Perspektywicznie wydaje się zastosowanie znacznie tańszych kurtyn paskowych. W niniejszym artykule zostaną przedstawione wyniki badania efektywności kurtyn paskowych.

Cel eksperymentu

Celem eksperymentu było przeanalizowanie zmian temperatury i wilgotności względnej powietrza w przestrzeni ładunkowej pojazdu dystrybucyjnego. Eksperymenty były prowadzone dla dwóch wariantów z kurtyną paskową i bez kurtyny.

Eksperymenty badawcze polegały na tym, że po schłodzeniu przestrzeni ładunkowej (w momencie automatycznego wyłączenia agregatu) otwierano jedno skrzydło drzwi tylnych i dokonywano pomiaru temperatury oraz wilgotności powietrza wewnątrz nadwozia. Rejestracja danych pomiarowych następowała w odstępach 15 sekund. Na podstawie tak uzyskanych przebiegów charakteryzujących zmiany mikroklimatu wyznaczono następnie (dla przedziałów czasu odpowiadających poszczególnym pomiarom):

masę powietrza suchego (m_g) znajdującego się w nadwoziu o objętości (V):

$$m_g = \frac{p_a \cdot V}{T_i (R_g + X_i \cdot R_w)} \quad (1)$$

gdzie:

- p_a – ciśnienia absolutne powietrza wilgotnego,
- T – zmierzona temperatura powietrza,
- R_g – stała gazowa powietrza suchego,
- R_w – stała gazowa pary wodnej,
- X – zawartość wilgoci w powietrzu,

masę pary wodnej (m_w) znajdującej się w nadwoziu o objętości (V):

$$m_w = X_i \cdot m_g \quad (2)$$

ciepło zakumulowane w powietrzu wypełniającym nadwozie (Q):

$$Q = m_w \cdot h_i \quad (3)$$

gdzie:

- h_i – entalpia powietrza.

Entalpię powietrza (h_i) oraz zawartość wilgoci (X_i) wyznaczano na podstawie średniej zmierzonej temperatury (t_i) oraz wilgotności (ϕ_i) stosując zależności aproksymujące własności powietrza wilgotnego podane w pracy [Szczechowiak 1985].

Stanowisko badawcze

Badania eksperymentalne były prowadzone na stanowisku modelowym znajdującym się w laboratorium chłodnictwa i przechowywania Politechniki Poznańskiej. Stanowisko składało się z:

- nadwozia izotermicznego o wymiarach wewnętrznych 1,880x1,480x1,880 m; zewnętrznych 2,000x1,600x2,000 m
- agregatu chłodniczego V-200 Max produkcji firmy Thermo King (wydajność chłodnicza 1945 W w temperaturze 0⁰ C).

Okładziny ścian wykonane są z blachy stalowej pokrytej farbą akrylową, a izolację termiczną stanowi pianka poliuretanowa. Nadwozie posiada dwuskrzydłowe drzwi tylne o kącie otwarcia 270⁰. Do rejestracji wyników wykorzystany był system Agilant współpracujący z komputerem PC. Oprogramowanie systemu pomiarowego wykonano w języku HP VEE. Pomiar temperatury wykonywany był przy użyciu termoelementów Pt-100 w wersji czteroprzewodowej klasy 1/5B DIN. Natomiast do rejestracji wilgotności względnej były używane czujniki firmy Galltec Mela z dokładnością wskazań $\pm 2\%$ w przedziale 5-95%.

Wyniki badań

Wykonano 6 eksperymentów badawczych. W poszczególnych próbach wydłużano czas otwarcia drzwi. Wynosił on odpowiednio 2, 4 i 6 minut. Badania wykonano dla wariantu z kurtyną paskową oraz bez kurtyny. Charakterystykę poszczególnych eksperymentów zamieszczono w tablicy 1. Zawiera ona:

- maksymalną temperaturę powietrza wewnątrz nadwozia osiąganą w okresie otwarcia drzwi,

Tabela 1. Charakterystyka eksperymentów badawczych

Table 1. Characteristics of research experiments

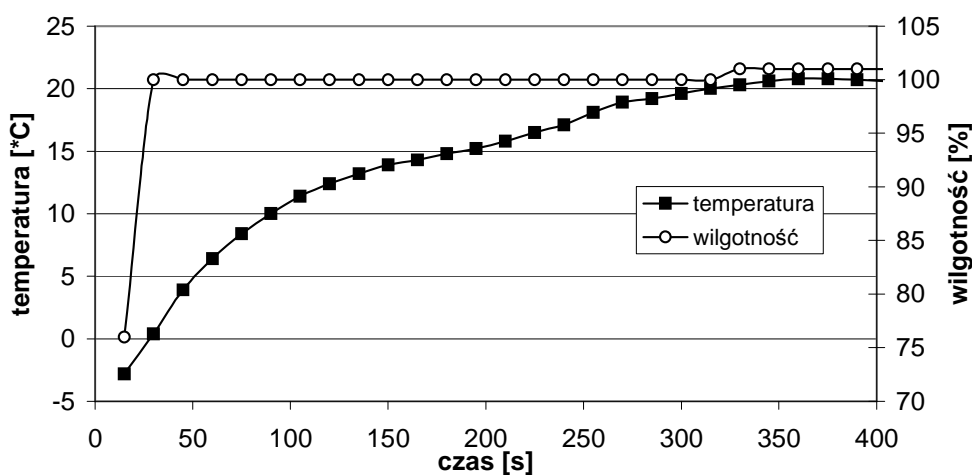
Nr	Czas otwarcia drzwi	Kurtyna paskowa	Maksymalna temperatura	Ciepło wnikające wskutek otwarcia drzwi	Ciepło przenikające przez ścianki
	[min]		[°C]	[kJ]	[kJ]
1	2	bez kurtyny	11,8	220	39,2
2	4		17,0	280	78,4
3	6		20,8	340	117,7
4	2	z kurtyną	7,5	140	39,2
5	4		11,5	180	78,4
6	6		12,8	210	117,7

- ilość ciepła zakumulowaną w powietrzu wewnątrz nadwozia,
- ilość ciepła, która przeniknęłaby przez ścianki do wnętrza nadwozia w czasie odpowiadających okresowi otwarcia drzwi (obliczenia wykonano przyjmując, że globalny współczynnik przenikania ciepła wynosi $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, temperatura wewnątrz nadwozia 4°C a temperatura otoczenia 28°C).

Na rysunku 1 przedstawiono zmiany temperatury oraz wilgotności powietrza wewnątrz nadwozia w trakcie testu, w którym czas otwarcia drzwi wynosił 6 minut i nie zastosowano kurtyny paskowej. Prezentowane na wykresie dane stanowią średnie wartości wyznaczone na podstawie wskazań:

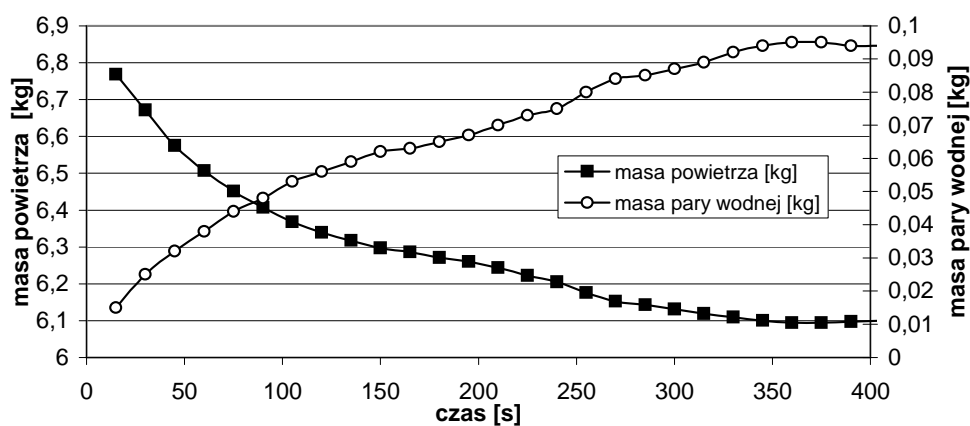
- 5 czujników temperatury rozmieszczonych w tylnej części podwozia w płaszczyźnie prostopadłej do ścian bocznych,
- 2 czujników wilgotności zamocowanych odpowiednio w przedniej i tylnej części zabudowy.

W kolejnym kroku korzystając z charakterystyk opisujących zmiany mikroklimatu w przestrzeni ładunkowej wykonano analizy obliczeniowe stosując opisane wcześniej zależności funkcyjne (1-3). Przykładowe wyniki analiz pokazano na rysunkach 2 oraz 3. Pierwszy wykres przedstawia zmiany masy powietrza suchego i pary wodnej wewnątrz nadwozia wywołane otwarciem drzwi. Natomiast na rysunku 3 porównano proces akumulacji ciepła wewnątrz nadwozia w ciągu 6 minut po otwarciu drzwi tylnych w przypadku z kurtyną paskową i bez kurtyny.



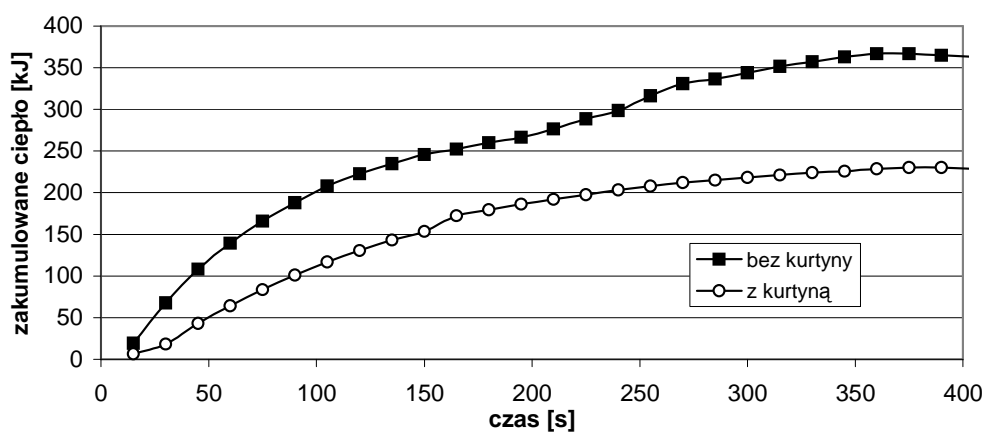
Rys. 1. Zmiany temperatury oraz wilgotności powietrza wewnątrz nadwozia (czas otwarcia drzwi 6 minut, bez kurtyny paskowej)

Fig. 1. Changes of temperature and air humidity inside the body (time of door opening 6 minutes, without a stripe curtain)



Rys. 2. Zmiany masy powietrza suchego i pary wodnej wewnątrz nadwozia wywołane otwarciem drzwi (czas otwarcia drzwi 6 minut, bez kurtyny paskowej)

Fig. 2. Changes of dry air and vapour masses inside the body caused by opening of the door (time of door opening 6 minutes, without a stripe curtain)



Rys. 3. Porównanie procesu akumulacji ciepła wewnątrz nadwozia w przypadku wentylacji z zastosowaniem kurtyny paskowej i bez kurtyny

Fig. 3. A comparison of the process of heat accumulation inside the truck body during ventilation with use of belt curtain and without it

Wnioski

Prezentowane w artykule wyniki badań oraz rezultaty analiz obliczeniowych wskazują, że:

- w wyniku otwarcia drzwi do wnętrza nadwozia wnika stosunkowo duża ilość ciepła; jest to od 3 do 5 razy większa „porcja” niż ciepło przenikające przez ścianki zabudowy,
- zastosowanie kutyny paskowej obniża o około 40% ilość ciepła wnikażącego do wnętrza nadwozia wskutek otwarcia drzwi.

Bibliografia

Umowa międzynarodowych o przewozach szybko psujących się artykułów o specjalnych środkach transportu do tych przewozów (ATP) Genewa, 2003

Tso C.P., Yu S.C.M., Poh H.J., Jolly P.G. 2002. Experimental study on the heat and mass transfer characteristics in a refrigerated truck. *International Journal of Refrigeration*, vol. 225, nr 5.

Szczechowiak E. 1985. Analityczne obliczanie parametrów powietrza wilgotnego. *Chłodnictwo*, nr 8.

MIGRATION OF AIR INTO ISOTHERMIC TRUCK BODY DURING OPENING OF THE DOOR

Summary

The study analyses the results of own research of air migration into the truck body through the open door. The experiments were performed for different times of door opening in variants with a stripe curtain and without it.

Key words: air migration, cooling truck body, research