

ARKADIUSZ STACHOWIAK, WIESŁAW ZWIERZYCKI,  
KRZYSZTOF BIEŃCZAK, TOMASZ ROCHATKA, PRZEMYSŁAW TYCZEWSKI

## DOSKONALENIE JAKOŚCI DROGOWYCH ŚRODKÓW ORAZ PROCESU CHŁODNICZEGO TRANSPORTU ŻYWNOSCI

### Streszczenie

W artykule scharakteryzowano prace wykonane w Instytucie Maszyn Roboczych i Pojazdów samochodowych Politechniki Poznańskiej wspomagające rozwój drogowych środków chłodniczego transportu żywności (badania certyfikacyjne ATP, kompleksowe diagnozy zabudów termoizolacyjnych, narzędzia komputerowe).

W drugiej (zasadniczej) części zaprezentowano możliwości programu komputerowego umożliwiającego symulowanie wymiany ciepła w chłodniczych komorach ładunkowych. Algorytm obliczeniowy programu stanowią równania różniczkowe chwilowych mocy cieplnych przepływających pomiędzy przewożonym ładunkiem, powietrzem wewnątrz przestrzeni ładunkowej, agregatem chłodniczym, ścianami nadwozia i otoczeniem środka transportu. Praca zawiera wyniki obliczeń symulacyjnych dotyczące oceny:

- możliwości obniżenia temperatury ładunku podczas transportu,
- skutków niedostatecznego schładzania wnętrza nadwozia przed załadunkiem,
- nieprawidłowego przepływu powietrza wewnątrz nadwozia (np. wskutek niewłaściwego rozmieszczenia ładunku).

Wymienione przypadki stanowią najczęstsze przyczyny problemów związanych z utrzymaniem wymaganej temperatury ładunku żywnościowego w trakcie transportu.

**Słowa kluczowe:** chłodniczy transport żywności, symulacja, wymiana ciepła, termowizja

### Wprowadzenie

Wiele nowoczesnych technologii utrwalania żywności wymaga stosowania obniżonej temperatury w ogniwach przechowalniczych i transportowych. Zasadnicze znaczenie ma dobór temperatury optymalnej dla poszczególnych grup produktów oraz utrzymanie jej zmian (wahań) w minimalnym zakresie.

---

*Dr inż. A. Stachowiak, prof. dr hab. inż. W. Zwierzycki, dr inż. K. Bieńczak, dr inż. T. Rochatka, dr inż. P. Tyczewski, Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, Wydz. Maszyn Roboczych i Transportu, Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań*

Szczegółowe informacje o warunkach chłodniczego transportu żywności zawiera międzynarodowa umowa ATP (ang. A - agreement, T - transportation, P - perishable) [1-3]. Dokument ten określa: zalecane zakresy temperatury transportu grup towarów żywnościowych łatwo psujących się, klasyfikację pojazdów i wymagania jakie powinny one spełniać, metody badań i znakowania nadwozi do transportu żywności. Podstawą klasyfikowania nadwozi pod względem termoizolacyjności jest globalny współczynnik przenikania ciepła „k” [ $W/(m^2 \cdot K)$ ], podający w istocie ilość ciepła [w Watach), które przenika przez przegrodę izolacyjną o powierzchni  $1 m^2$ , przeliczoną na różnicę temperatur  $= 1K$ . Im niższa wartość współczynnika „k”, tym lepsze właściwości termoizolacyjne.

Badaniami samochodowych nadwozi chłodniczych na zgodność z wymaganiami międzynarodowej umowy ATP zajmują się w Polsce dwie stacje: Centralny Ośrodek Chłodnictwa (COCH) w Krakowie i Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych w Poznaniu. Przedstawiciele tych instytucji biorą również udział w pracach komisji ONZ WP11, zajmującej się rozwojem metod badania środków technicznych do transportu żywności łatwo psującej się.

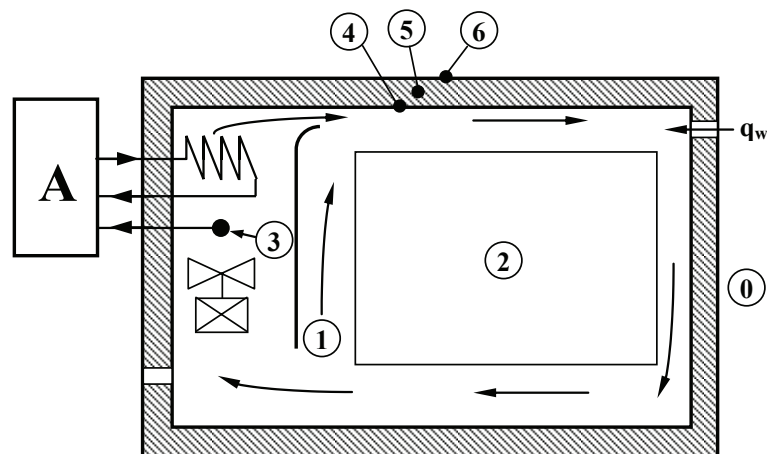
W Politechnice Poznańskiej prowadzi się prace zarówno nad doskonaleniem metod badania zabudów chłodniczych [4-6], jak i nad modelowaniem temperaturowych warunków transportu żywności w komorach samochodowych. Prace z tych obu zasygnalizowanych kierunków badań sprzyjają rozwojowi pojazdów chłodniczych (ich układów magazynowo-przechowalniczych) oraz optymalizacji samego procesu przechowania żywności w układach transportowych.

W wyniku realizacji w latach 2002-2004 projektu badawczego KBN5T07B02022 nt. „Fizyczne podstawy diagnostyki układów termoizolacyjnych do transportu żywności” opracowano i wdrożono kompleksowy system diagnostyczny, w którym procedury pomiarowe proponowane w umowach ATP zostały uzupełnione o metody pomocnicze (między innymi o technikę termowizyjną czy też metody ścianki pomocniczej i skrzynki grzejnej). W efekcie końcowym powstał system diagnostyczny wspomagający (weryfikujący) rozwiązania konstrukcyjne, technologiczne (montażowe) w grupie produktów nowych oraz ułatwiający dobór technologii naprawczych zabudów eksploatowanych [4, 5].

W ramach projektu autorzy wspomnianego artykułu wykonali badania termowizyjne kilkuset zabudów chłodniczych, rejestrując występujące w nich mostki cieplne. Uzyskany materiał opracowano w formie „katalogu” pomocnego w doskonaleniu konstrukcji i montażu zabudów oraz planowaniu ich napraw w przypadku awarii lub zużycia eksploatacyjnego [4-6]. Wnioski z tej pracy znalazły liczne praktyczne zastosowania w gospodarce krajowej. W projekcie [4, 5] opracowano również modele matematyczne wiążące parametry termoizolacyjne zabudów samochodowych i zmiany temperatury wewnątrz przestrzeni ładunkowej (jeden z modeli utworzono stosując metodę

elementów skończonych do rozwiązywania ogólnego równania nieustalonego przewodnictwa ciepła [5]). Zajęto się również prawidłowością doboru agregatów chłodniczych, opracowując odpowiedni program komputerowy, którego podstawą była norma DIN 8959 [7].

W najnowszych pracach zespołu podjęto próby modelowania warunków temperaturowych w komorach (ładowniach) samochodowych pojazdów chłodniczych. W Zakładzie Maszyn Spożywczych i Transportu Żywności Politechniki Poznańskiej opracowano program komputerowy, który umożliwia symulowanie procesu wymiany ciepła w chłodniczym środku transportu w różnych sytuacjach eksploatacyjnych. Działanie programu polega na prognozowaniu zmian temperatury ładunku, powietrza i elementów konstrukcyjnych nadwozia. Zasadniczo opracowane narzędzie ma ułatwiać wskazywanie prawdopodobnych przyczyn wystąpienia w trakcie transportu znaczących zmian temperatury ładunku. Tworząc program komputerowy wykorzystano model opisany w pracy [8]. Chłodniczy środek transportu żywności podzielono na 6 elementów składowych przedstawionych na rys. 1.



0 – otoczenie nadwozia / body surrounding, 1 – powietrze wewnątrz zabudowy / inside air, 2 – ładunek / load, 3 – czujnik temperatury wew. nadwozia / inside temperature sensor, 4 – poszycie wewnętrzne nadwozia / inside sheathing, 5 – izolacja termiczna nadwozia / thermal isolation, 6 – poszycie zewnętrzne nadwozia / outside sheathing, A – agregat chłodniczy / cooling aggregate,  $q_w$  – strumień ciepła wymiany wskutek wentylacji / air flow changed through ventilation

Rys. 1. Model nadwozia chłodniczego.

Fig. 1. Model of refrigerated body.

Źródło: [8].

Do opisu wymiany ciepła zastosowano równania różniczkowe chwilowych mocy cieplnych przepływających między sąsiednimi węzłami (i-1), (i) oraz (i+1). Zasadniczą postać takiego równania można przedstawić następująco:

$$q_i = q_{i-1,i} + q_{i+1,i} \quad (1)$$

Lewa strona równania jest strumieniem ciepła akumulacji ( $q_i$ ) w kolejnych węzłach układu. Strumień ten jest iloczynem pojemności cieplnej skupionej w danym węźle układu oraz temperatury rozpatrywanego węzła. Prawa strona równania to moc cieplna przepływająca między rozpatrywanym aktualnie i-tym węzłem, a jego najbliższym otoczeniem tzn. węzłami (i-1) oraz (i+1).

Opracowany na podstawie omówionego algorytmu program komputerowy poddano weryfikacji. Wstępna weryfikacja polegała na wykonaniu obliczeń symulacyjnych przypadków odzwierciedlających ogólne standardy w zakresie doboru i eksploatacji chłodniczych środków transportu żywności. Takie normatywne wytyczne stanowią w tym zakresie:

- międzynarodowa umowa ATP [1-3],
- dane katalogowe producentów agregatów chłodniczych zawierające maksymalne gabaryty nadwozia (objętość lub długość), wewnątrz którego dane urządzenie chłodnicze jest w stanie utrzymać wymaganą temperaturę [9],
- norma DIN 8959 [10] umożliwiająca analityczne oszacowanie zapotrzebowania wydajności chłodniczej odnoszącej się do rzeczywistych warunków eksploatacji.

Na rys. 2. przedstawiono przykładową zależność między maksymalną objętością nadwozia a zapotrzebowaniem wydajności chłodniczej według wytycznych producenta agregatów (symbole punktowe aproksymowane linią przerywaną). Dane te charakteryzują transport ładunku:

- schłodzonego w temperaturze 6°C (temp. otoczenie 30°C),
- w trybie dystrybucyjnym z czterokrotnym rozładunkiem w ciągu godziny (czas otwarcia drzwi podczas rozładunku nie przekracza 3 min),
- z wykorzystaniem nadwozia o współczynniku przenikania ciepła 0,5 W/(m<sup>2</sup>K).

Linią ciągłą zaznaczono zapotrzebowanie wydajności chłodniczej oszacowane na podstawie normy DIN 8959 odnoszące się do powyższych warunków eksploatacji.

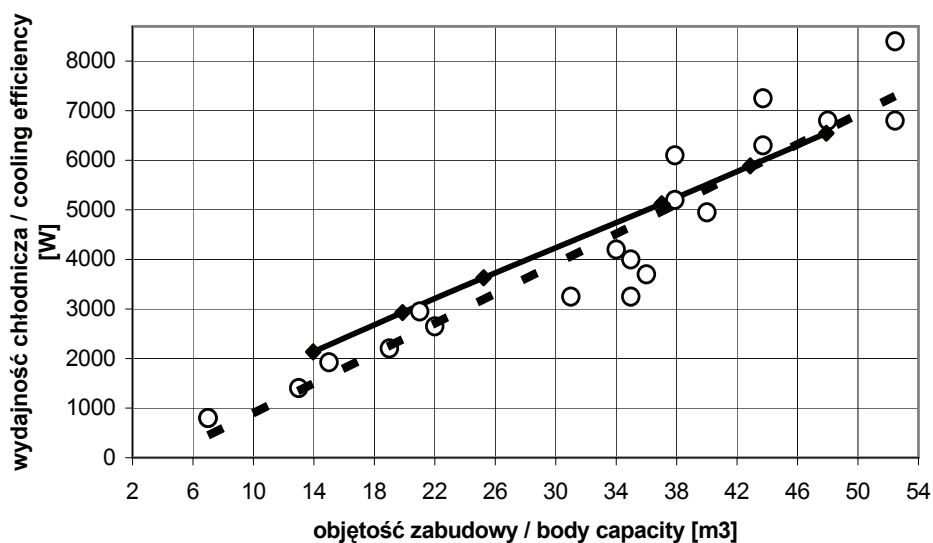
Przystępując do weryfikacji programu przyjęto następujące kryterium oceny: jeżeli zastosowany w programie algorytm właściwie opisuje proces wymiany ciepła w chłodniczym środku transportu żywności, to uzyskane za jego pomocą wyniki obliczeń symulacyjnych nie powinny wykazywać znaczącego wzrostu temperatury ładunku przewożonego w nadwoziu wyposażonym w agregat chłodniczy dobrany i eksploatowany zgodnie z wytycznymi producenta.

Badania kryterium dokonano w zakresie długości nadwozi od 3 do 7 m. Przedstawione w dalszej części wyniki charakteryzują nadwozie o długości 4,6 m, objętości

22 m<sup>3</sup> i ładowności 2500 kg. Wykonane symulacje dot. dwóch różnych agregatów chłodniczych:

- V-200 MAX – zgodnie z wytycznymi producenta przeznaczony do utrzymania temperatury 6°C w przestrzeni ładunkowej o maksymalnej objętości 22 m<sup>3</sup>,
- V-200 – kolejne w typoszeregu producenta urządzenie o wydajności chłodniczej mniejszej o 25%.

Otrzymane za pomocą programu w obu wariantach zmiany temperatury ładunku przedstawiono na rys. 3. Uzyskane przebiegi pozwalają pozytywnie zweryfikować zastosowany w programie model wymiany ciepła. Zgodnie z przyjętym kryterium oceny w przypadku agregatu dobraneo i eksploatowanego zgodnie z wytycznymi producenta wyniki symulacji nie wykazują znaczącego wzrostu temperatury ładunku. Przy zastosowaniu agregatu chłodniczego o niższej wydajności tendencja wzrostowa pojawia się już w początkowej fazie transportu dystrybucyjnego. Widoczny na wykresie chwilowy wzrost temperatury ładunku odpowiada okresowi rozładunku, kiedy agregat chłodniczy jest wyłączony. Po zakończeniu czynności rozładunkowych (po zamknięciu drzwi) następuje ponowne uruchomienie agregatu i dość szybkie obniżenie temperatury.



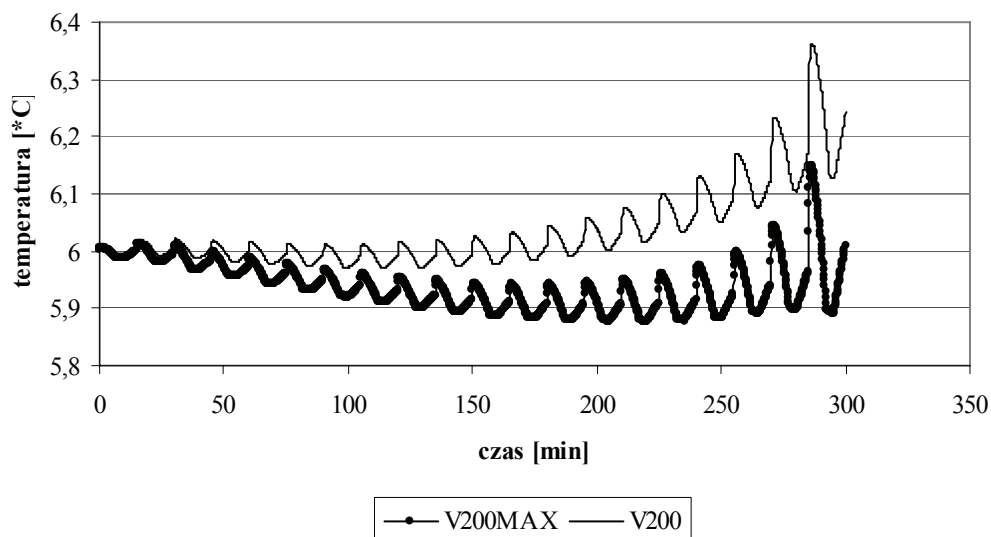
Rys. 2. Zależność między maksymalną objętością nadwozia a zapotrzebowaniem wydajności chłodniczej.

Fig. 2. Relationship between maximal capacity of the body and request of cooling efficiency.

Zasadnicza weryfikacja programu komputerowego polegała na porównaniu wyników symulacji z rezultatami badań. Eksperymenty badawcze dotyczyły nadwozia o objętości około 8 m<sup>3</sup> i współczynnika przenikania ciepła 0,7 W/(m<sup>2</sup>K). Nadwozie

wyposażono w agregat chłodniczy osiągający przy temp. 6°C wydajność rzędu 2 kW. Ładunek stanowiły kartoniki o pojemności 1 dm<sup>3</sup> napelnione wodą. Kartoniki umieszczono w skrzynkach o wymiarach 600 × 400 × 230 mm. Wzdłuż nadwozia ulokowano 3 rzędy skrzynek. W każdym rzędzie znajdowało się 5 warstw opakowań. Skrzynki umieszczono na paletach. Szerokość kanału umożliwiającego przepływ powietrza między opakowaniami wynosiła około 60 mm. Badania polegały na pomiarze temperatury ładunku i powietrza w trakcie schładzania. Początkowa temp. ładunku wynosiła około 13°C. Agregat chłodniczy pracował przy nastawie termostatu na poziomie 6°C. W trakcie badań dokonywano pomiaru i rejestracji temperatury:

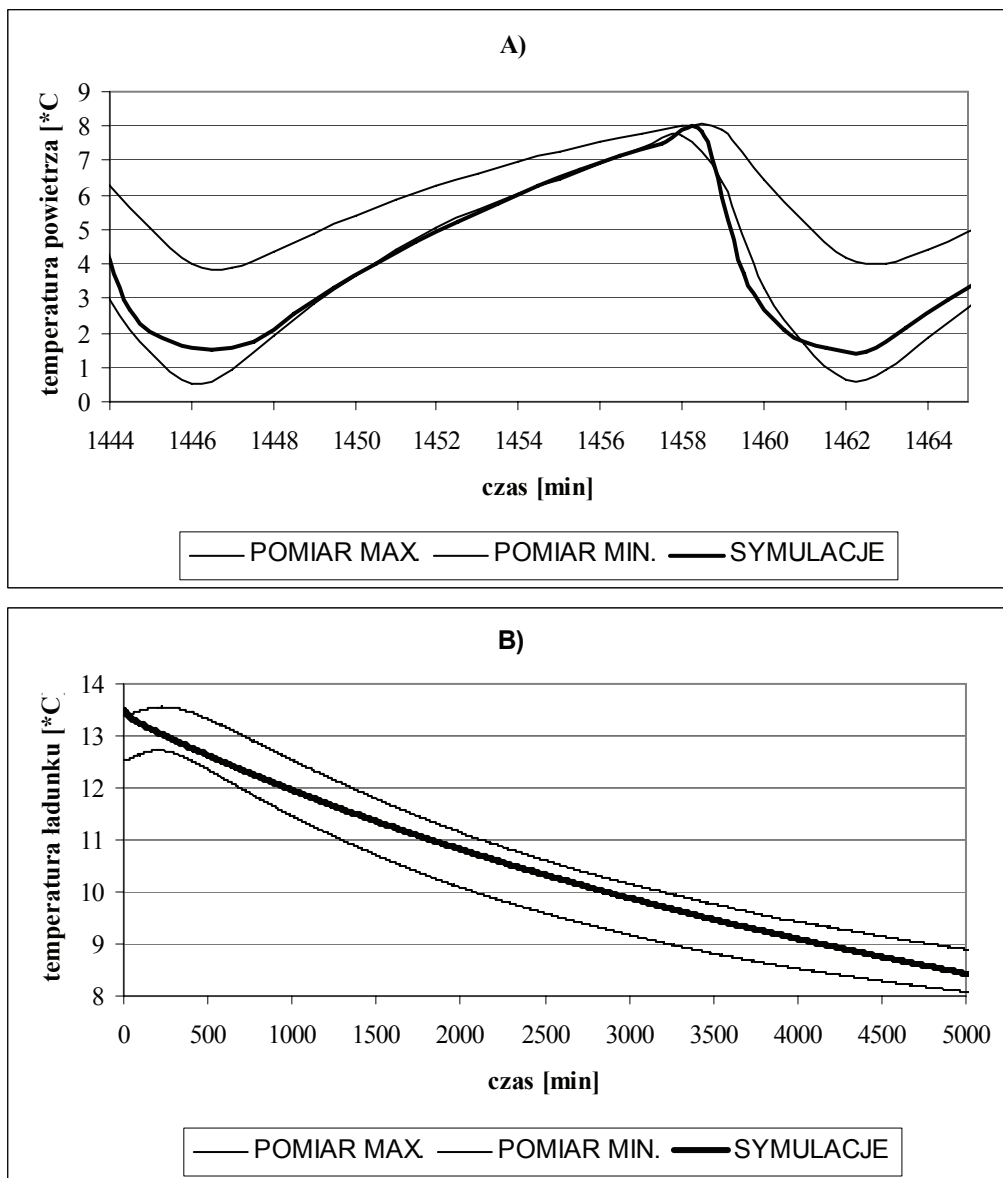
- ładunku (w 40 punktach) – w dolnej, środkowej i górnej warstwie z przodu oraz z tyłu nadwozia,
- powietrza (w 16 punktach) – w kanałach między skrzynkami oraz między skrzynkami i ścianą nadwozia, na wlocie i wylocie powietrza z agregatu chłodniczego.



Rys. 3. Temperatura ładunku w nadwoziu o objętości 22 m<sup>3</sup> z agregatem chłodniczym: a) V-200 MAX, b) V 200.

Fig. 3. Temperature of the load of the body of 22 m<sup>3</sup> capacity for cooling unit: a) V-200 MAX, b) V 200.

Porównanie wyników badań i obliczeń dotyczyło zmian temperatury ładunku oraz powietrza wewnątrz nadwozia. Kluczowe znaczenie dla tempa schładzania ładunku ma cykl pracy agregatu chłodniczego w trybie WŁĄCZ/WYŁĄCZ. Rys. 4A wskazuje, że w przypadku odpowiednich danych charakteryzujących układ sterowania pracą agregatu chłodniczego wyniki programu dość dobrze odwzorowują relacje między czasem pracy i czasem wyłączenia z uwzględnieniem zakresu zmian temperatury powietrza.



Rys. 4. Wyniki badań i symulacji: a) temperatura powietrza, b) temperatura ładunku.

Fig. 4. Result of research and simulation: a) Air temperature, b) Load temperature.

Uzyskane dla tych samych danych zmiany temperatury ładunku przedstawiono na rys. 4B. W całym analizowanym zakresie wyniki obliczeń mieszczą się w obszarze zmienności wyników pomiarów. Można zatem uznać, że zastosowany w programie komputerowym model analityczny (traktujący każdy element środka transportu – w tym ładun-

nek i powietrze – jako obiekt jednorodny) właściwie odzwierciedla ogólne tendencje złożonego procesu wymiany ciepła w rzeczywistych warunkach eksploatacji.

Po dokonaniu wstępnej oceny wyników generowanych przez program przystąpiono do analizowania sytuacji eksploatacyjnych stanowiących najczęstsze przyczyny problemów związanych z utrzymaniem wymaganej temperatury ładunku żywnościowego w trakcie transportu. Za pomocą programu zbadano następujące przypadki:

1. Ładunek przed umieszczeniem wewnątrz nadwozia nie został schłodzony do temperatury wymaganej w trakcie transportu – celem analizy było oszacowanie możliwości obniżenia temperatury ładunku w trakcie transportu,
2. Wnętrze nadwozia nie zostało schłodzone przed załadunkiem do temperatury wymaganej w trakcie transportu – celem analizy było sprawdzenie jak w zaistniałej sytuacji zmieni się temperatura ładunku,
3. Nieprawidłowy przepływ powietrza w nadwoziu – analiza ma na celu wykazanie jak niekorzystny jest przewóz ładunku z wykorzystywaniem całej przestrzeni ładunkowej (bez pozostawienia miejsca na cyrkulację powietrza).

W tab. 1. zamieszczono wartości wskazujące czas potrzebny w trakcie transportu na obniżenie temperatury ładunku z poziomu  $6,5^{\circ}\text{C}$  do wymaganych  $6,0^{\circ}\text{C}$ . Przedstawione wyniki otrzymano przy założeniu, że nie występują przerwy w pracy agregatu związane z rozładunkami. W każdym z analizowanych przypadków prognozowany czas schładzania przekraczał potencjalny dobowy czas pracy kierowcy (8 godz.). Należy zatem podkreślić, że urządzenia chłodnicze stosowane w transporcie żywności dobrze spełniają swoją rolę tylko wtedy, gdy ich zadaniem jest wyłącznie utrzymywanie temperatury ładunku na poziomie ustalonym w warunkach przewozu. Przygotowanie ładunku (obniżenie temperatury) musi nastąpić przed załadunkiem.

Tabela 1

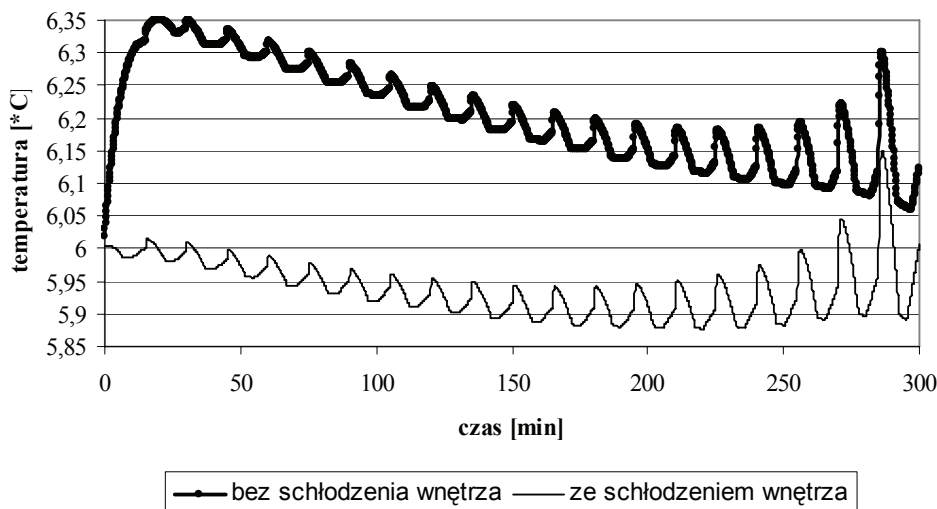
Czas schładzania ładunku.  
Time of chilling the load.

Objętość nadwozia [ $\text{m}^3$ ] Body capacity [ $\text{m}^3$ ]	15	22	29
Czas schładzania ładunku od $6,5$ do $6,0^{\circ}\text{C}$ [h] Time of chilling the load [h]	14,8	12,5	9,5

Przed załadunkiem należy schłodzić wnętrze nadwozia. Skutki zaniedbań w tym względzie przedstawiono na rys. 5., z którego można odczytać, jak zmienia się temperatura ładunku w przypadku, gdy początkowa temperatura wewnątrz nadwozia równa jest temperaturze otoczenia ( $30^{\circ}\text{C}$ ). Symulacje dotyczą opisanego wcześniej nadwozia o objętości  $22 \text{ m}^3$ . Porównując przebiegi z rys. 5. łatwo zauważyć, że brak schłodzenia wnętrza nadwozia skutkuje znacznym wzrostem temperatury ładunku w początkowej

fazie transportu. Wzrost ten jest na tyle duży, że mimo wydłużenia czasu pracy agregatu chłodniczego (o około 10%) nie udaje się osiągnąć wymaganego poziomu 6°C. Zaniedbanie schłodzenia wnętrza nadwozia przed załadunkiem może prowadzić do:

- pogorszenia jakości ładunku wskutek wzrostu jego temperatury,
- wzrostu kosztów transportu w wyniku wydłużenia czasu pracy agregatu chłodniczego.



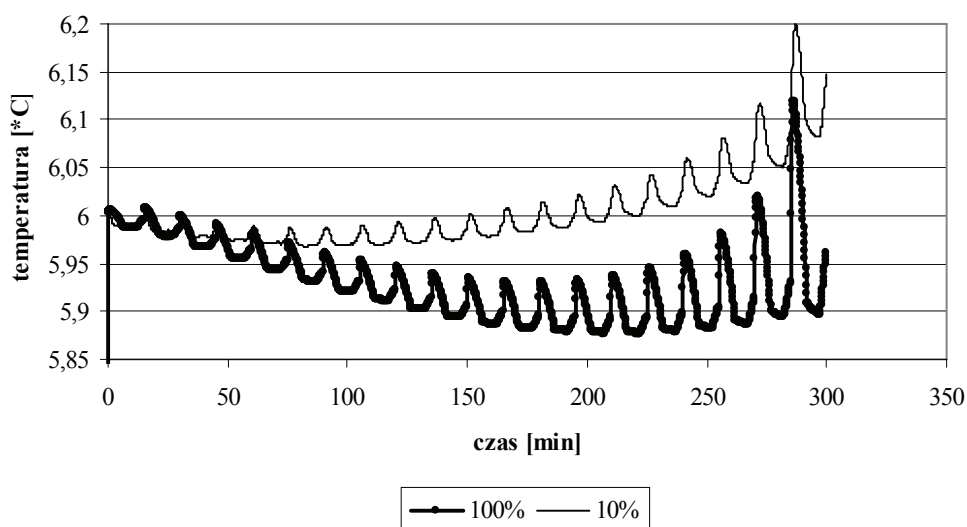
Rys. 5. Temperatura ładunku w sytuacji, gdy wnętrze nadwozia nie zostało schłodzone przed załadunkiem.

Fig. 5. Load temperature when the body was not chilled before loading.

Pełne wykorzystanie wydajności chłodniczej zamontowanego agregatu możliwe jest tylko w przypadku, gdy strumień schłodzonego powietrza może swobodnie przepływać wokół ładunku. Warunkiem zaistnienia takiego stanu jest właściwe rozmieszczenie ładunku wewnątrz nadwozia. Zbyt wąskie kanały między sąsiednimi rzędami opakowań lub opakowaniami i ścianami nadwozia mogą znacząco ograniczyć przepływ powietrza schłodzonego w agregacie (zmniejszyć intensywność wymiany ciepła). Opracowany w Zakładzie Maszyn Spożywczych i Transportu Żywności Politechniki Poznańskiej program komputerowy umożliwia symulowanie takich sytuacji poprzez przyjęcie do obliczeń mniejszej niż nominalna wartości wydatku wentylatorów agregatu chłodniczego. Na rys. 6. przedstawiono zmiany temperatury ładunku w sytuacji, gdy wydatek powietrza stanowi:

- 100% wartości nominalnej – odwzorowanie prawidłowego wykorzystania schłodzonego strumienia powietrza (cały strumień schłodzonego powietrza przepływa w kanałach między opakowaniami),

- 10% wartości nominalnej – odwzorowanie nieprawidłowego wykorzystania schłodzonego strumienia powietrza (niewielka część strumienia schłodzonego powietrza przepływa w kanałach między opakowaniami).



Rys. 6. Temperatura ładunku przy różnym wykorzystaniu strumienia schłodzonego powietrza.

Fig. 6. Load temperature with different usage of cooled air flow.

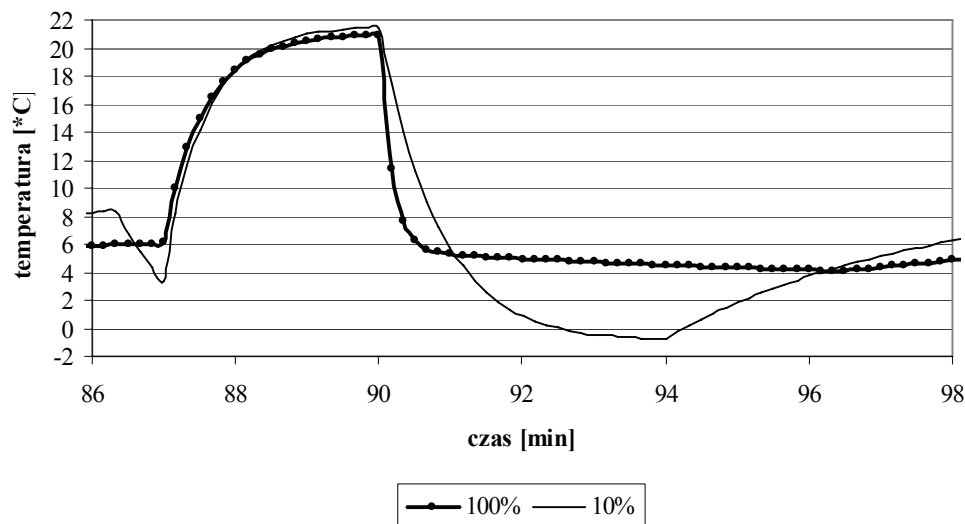
Na podstawie prezentowanych wyników można sformułować następujące wnioski:

- przy częściowym (10%) wykorzystaniu strumienia powietrza schłodzonego w agregacie następuje stopniowy wzrost temperatury ładunku w trakcie eksploatacji do 6,08°C – wzrost ten wynika z gorszych warunków wymiany ciepła w kanałach między opakowaniami (niższa wartość współczynnika konwekcji),
- w warunkach gorszej wymiany powietrza wyłączenie agregatu następuje przy znacznie niższej temperaturze powietrza (rys. 7) – obniżanie temperatury powietrza poniżej 0°C jest szczególnie niebezpieczne, w przypadku ładunków o dużej zawartości wody może bowiem spowodować zamrożenie, obniżenie własności i w efekcie utratę wartości handlowej.

Przedstawione przykłady obliczeniowe wskazują, że omawiany program komputerowy potrafi w sposób właściwy prognozować skutki (zasadniczo w postaci zmiany temperatury ładunku) wynikające z eksploatacji chłodniczego środka transportu żywności w warunkach innych niż standardy „dobrej praktyki transportowej”. Dotychczasowe analizy dotyczyły jednak pojedynczych wymuszeń, stąd celowe jest przeanalizowanie przykładu wykorzystania programu do analizy bardziej złożonej sytuacji eksploatacyjnej. Korzystając z możliwości programu podjęto próbę ustalenia przyczyn wzro-

stu temperatury ładunku (w konsekwencji zniszczenie ładunku) w sytuacji, która miała miejsce w praktyce transportowej i została opisana w pracy [11]. „Mrożony drób był przewożony latem podczas silnych upałów. Wymagana temperatura przewozu wynosiła  $-20^{\circ}\text{C}$ . Wskutek powtarzających się kłopotów z przekroczeniem granicy Ukrainy i Mołdawii naczepa z ładunkiem przez kilka dni stała na przejściu granicznym narażona na oddziaływanie wysokiej temperatury (około  $46^{\circ}\text{C}$ ). Po 20 upalnych dniach ładunek powrócił do kraju. Po wjeździe na teren Polski stwierdzono wycieki z przewożonego mięsa i zmierzono jego temperaturę, która wynosiła od  $-3$  do  $0^{\circ}\text{C}$ ” [11]. Jako główną przyczynę wzrostu temperatury uznano zbyt długi czas przewozu (20 dni zamiast 3 dni). W opisanym przypadku wykonano symulację zmian temperatury ładunku w ciągu 20 dni eksploatacji. Uzyskane wyniki przedstawiono na rys. 8. Obliczenia dotyczyły 3 wariantów:

- A) właściwości termoizolacyjne nadwozia ( $k = 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) i wydajność chłodnicza agregatu odpowiednia do transportu ładunku w temp.  $-20^{\circ}\text{C}$  – w tym przypadku nie stwierdzono znaczącego wzrostu temperatury ładunku, a czas pracy agregatu stanowił około 80% czasu eksploatacji,
- B) bardzo złe właściwości termoizolacyjne nadwozia ( $k = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) – zmiana spowodowana długotrwałą eksploatacją i procesami starzeniowymi) i wydajność chłodnicza typowa dla naczep przewożących ładunek zamrożony – w tej sytuacji następuje wzrost temperatury ładunku (do około  $-15^{\circ}\text{C}$ ) a agregat pracuje w sposób ciągły,

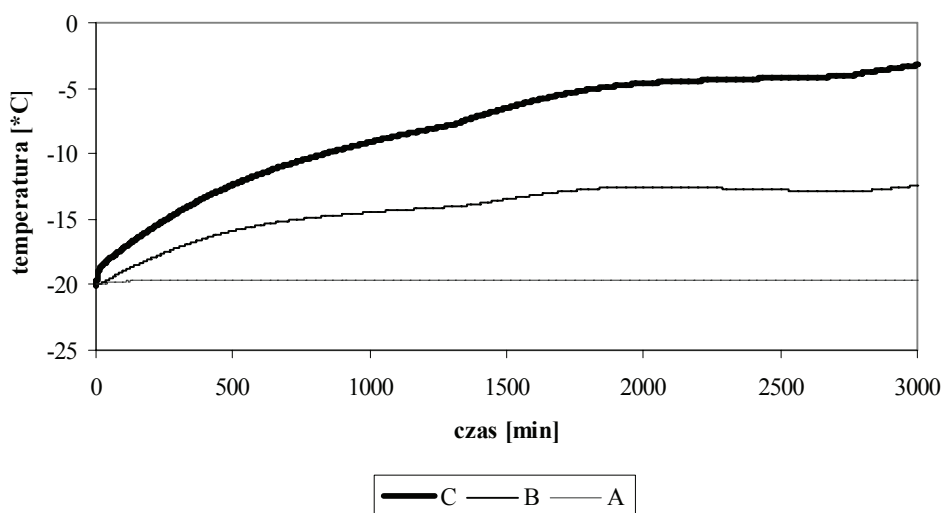


Rys. 7. Temperatura powietrza przy różnym wykorzystaniu strumienia schłodzonego powietrza.

Fig. 7. Air temperature with different usage of cooled air flow.

C) przy zachowaniu właściwości termoizolacyjnych z poprzedniego punktu przyjęto niższą o 30% wydajność chłodniczą (zmiana wynikająca z bardzo wysokiej temperatury otoczenia oraz wyťažonej pracy urządzenia) – dopiero w tym przypadku temperatura ładunku wzrosła do poziomu (około  $-4^{\circ}\text{C}$ ) porównywalnego z opisem historii zdarzenia [11].

Uzyskane wyniki wskazują, że zasadniczą przyczyną wzrostu temperatury mrożonych korpusów drobiowych mógł być spadek wydajności chłodniczej agregatu, spowodowany wysoką temperaturą otoczenia i ciągłą pracą. Negatywny efekt może również być związany z pogorszeniem właściwości termoizolacyjnych nadwozia (efekt starzenia). Należy zauważyć, że gdyby ładunek dotarł do celu zgodnie z planem (po 3 dniach), w żadnym z analizowanych przypadków nie nastąpiłoby rozmrożenie.



Rys. 8. Temperatura mrożonego drobiu.

A)  $k=0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , 7700 W B)  $k=1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , 7700 W C)  $k=1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , 5900 W

Fig. 8. Frozen poultry temperature.

## Podsumowanie

Omówione w artykule przykłady obliczeniowe wskazują, że program komputerowy opracowany w Zakładzie Maszyn Spożywczych i Transportu Żywności Politechniki Poznańskiej pozwala dość dobrze określić:

- optymalne warunki eksploatacji danego środka transportu,
- skutki niewłaściwej eksploatacji nadwozia chłodniczego.

Cechy te umożliwiają wykorzystanie programu do identyfikacji prawdopodobnych przyczyn uszkodzenia ładunku w następstwie wzrostu temperatury podczas transportu (rozwiązywanie problemów na styku przewoźnik – ubezpieczyciel).

*Praca była prezentowana podczas XXXVII Ogólnopolskiej Sesji Komitetu Nauk o Żywności PAN, Gdynia, 26 – 27.IX.2006.*

### Literatura

- [1] Umowa o międzynarodowych przewozach szybko psujących się artykułów żywnościowych i o specjalnych środkach transportu przeznaczonych do tych przewozów (ATP) z dnia 26.XI.1984. Dz. U. 1984 r. Nr 49, poz. 254. Zał.
- [2] Umowa ATP z Uzupełnieniami (tekst angielski); <http://www.unece.org/trans/main/wp11/atp.html>
- [3] <http://www.unece.org/trans/main/wp11/teststation04.pdf>
- [4] Projekt badawczy KBN5T07B02022 nt „Fizyczne podstawy diagnostyki układów termoizolacyjnych do transportu żywności”. Pod kier. K. Bieńczaka (IMRiPS Pol. Poznańskiej, 2002-2004)
- [5] Bieńczak K. (pod red.): Fizyczne podstawy diagnostyki układów termowizyjnych do transportu żywności. Wyd. ITeE, s. Biblioteka Problemów Eksploatacji”, Radom 2004
- [6] Zwierzycki W., Bieńczak K., Rochatka T., Stachowiak A., Tyczewski P.: Termowizja w badaniach samochodowych nadwozi chłodniczych; cz. I Założenia kompleksowego systemu diagnozy nadwozi chłodniczych, *Chłodnictwo & Klimatyzacja*, 1-2/2006, **1-2**, 68-71. cz. II , *Chłodnictwo & Klimatyzacja*, 2006, **3**, 60-63.
- [7] Bieńczak K., Stachowiak A., Tyczewski P. Zwierzycki W.: Dobór samochodowych agregatów chłodniczych, *Chłodnictwo & Klimatyzacja*, 2005, **11**, 57-61.
- [8] Grajner J., Kwaśniewski S.: Dynamika wymiany ciepła w pojazdach chłodniczych, *Chłodnictwo & Klimatyzacja*, 1998, **1**, 37-39.
- [9] [www.thermoking.pl](http://www.thermoking.pl)
- [10] DIN 8959: Insulated food carriers – Requirements and testing
- [11] Samochody chłodnicze w transporcie żywności. Wyd. SYSTHERM, Poznań 2005.

### QUALITY IMPROVEMENT OF TRANSPORTATION UNITS AND COOLING PROCESSES OF FOOD TRANSPORTATION

#### Summary

There was described survey lead by Poznan University of Technology scientists supporting development of transportation units for cooling food transportation (certification tests ATP, complex tests of thermal insulation bodies, computer tools) in this article.

In the second part, there was presented possibilities of the computer program which allows simulating the heat exchange in cooling load chambers. The counting algorithm consists of differential equation of temporary thermal power going through between: transported load, air flow inside the cargo space, cooling aggregate, walls of the body and the surroundings of mean of transportation. The survey includes the results of the following simulations:

- decreasing temperature ability of the load,
- consequences of improper cooling of the inside cargo space before loading,
- incorrect air flow inside the body (ex. by wrong disposing of the load).

All those mentioned above accidents are the most common reasons of the problems connected to keeping the appropriate temperature of the food load during transportation.

**Key words:** cooling food transport, simulation, thermal exchange, thermo-vision 