

ZAPWENIENIE BEZPIECZEŃSTWA KONSUMENTOWI ŻYWNOSCI W OGNIWIE TRANSPORTOWYM ŁAŃCUCHA CHŁODNICZEGO

PROVIDING SECURITY FOR FOOD CONSUMER IN TRANSPORT LINK OF REFRIGERATION CHAIN

W Zakładzie Maszyn Spożywczych i Transportu Żywności Politechniki Poznańskiej od kilku lat prowadzone są prace mające na celu zapewnienie bezpieczeństwa konsumentowi żywności w ogniwie transportowym łańcucha chłodniczego. W artykule tym przedstawiono program obliczeniowy umożliwiający wyznaczenie temperatury transportowanej żywności w zależności od stanu nadwozia, temperatury otoczenia, wydajności agregatu chłodniczego i właściwości ładunku. Wskazano na potrzebę opracowania procedur pozwalających diagnozować stan nadwozi przeznaczonych do przewozu żywności łatwo psującej się. Scharakteryzowano wybraną procedurę diagnostyczną. Omówiono narzędzia wspomagające diagnozowanie.

Słowa kluczowe: transport, żywność, diagnoza, bezpieczeństwo konsumenta.

For some years, Division of Food Machines and Transport of Poznań University of Technology carries out works aiming at providing security for food consumer in transport link of refrigeration chain. This paper presents a computer programme enabling to determine the food transport temperature depending on the body condition, ambient temperature, capacity of the refrigerated unit and load property. There is pointed out the necessity to elaborate procedures allowing to diagnose the condition of the bodies designed for perishable food transport. The chosen diagnostic procedure has been characterised. The tools aiding diagnosis have been discussed.

Keywords: transport, food, diagnosis, consumer security.

1. Wstęp

Konsument bezwzględnie domaga się, aby spożywana żywność nie zagrażała jego życiu i zdrowiu. Ważne jest zatem dążenie, aby ograniczyć potencjalne zagrożenie do akceptowalnego poziomu w każdym z ogniw łańcucha żywnościowego. Służą temu między innymi systemy zapewnienia jakości, np. HACCP. W łańcuchu żywnościowym występują nie tylko ogniwa związane z przetwarzaniem i szeroko rozumianym magazynowaniem, ale także ogniwa transportowe. Łańcuch żywnościowy w przypadku żywności łatwo psującej się zwany jest w literaturze łańcuchem chłodniczym. W łańcuchu chłodniczym ogniwo transportowe występuje wielokrotnie.

Do przemieszczania żywności łatwo psującej się na lądzie wykorzystywane są specjalistyczne pojazdy drogowe zapewniające transport w kontrolowanych temperaturach. Wymagania, jakie mają spełniać środki transportu żywności łatwo psującej się określone są przez „Umowę o międzynarodowych przewozach szybko psujących się artykułów żywnościowych i o specjalnych środkach transportu przeznaczonych do tych przewozów (ATP)” [16]. W umowie ATP określone są:

- temperatury, w jakich należy przewozić wybrane produkty spożywcze,
- klasyfikacja pojazdów do przewozu żywności,
- metody badania i znakowania pojazdów do przewozu żywności.

W dalszej części artykułu zostaną omówione prace realizowane w Zakładzie Maszyn Spożywczych i Transportu Żywności wchodzącym w skład Instytutu Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych Politechniki Poznańskiej mające na celu wzrost bezpieczeństwa żywnościowego w ogniwie transportowym.

Prace te dotyczą:

- prognozowania temperatury ładunku w zależności od stanu nadwozia i temperatury otoczenia,

1. Introduction

Consumers are absolutely demanding that the consumed food cannot be dangerous for their life or health. So, it is important to aim at restricting the potential danger of an accepted level in each link of the food chain. The quality assurance systems, such as for example HACCP are, among others, used for this purpose. The food chain contains not only links connected with processing and widely ment storing but also the transport ones. In case of the perishable food, the food chain in the literature is called the refrigeration chain. In the refrigeration chain the transport link occurs many times.

In order to transport the perishable food on land they use special road vehicles ensuring transport in controlled temperatures. Requirements which are to be met by the perishable foodstuff transport means are determined by “Agreement on the international carriage of perishable foodstuff and on the special equipment to be used for such carriage (ATP)” [16]. The agreement ATP determines the following:

- temperatures in which given food products should be transported,
- classification of vehicles designed for food transport,
- methods of testing and marking the vehicles for food transport.

The further part of this paper discusses works carried out in The Division of Food Machines and Transport being a part of The Institute of Machines and Motor Vehicles of Poznań University of Technology aiming at increasing the food safeness in the transport link.

These works refer to:

- forecasting the load temperature depending on the body condition and ambient temperature,

- zapewnienia wysokiego poziomu technicznego nadwozi do przewozu żywności.

2. Kod do wyznaczania temperatury ładunku

Jak wynika z rozważań zamieszczonych w pracy S. Jamesa [7] temperatura jest tym parametrem, który najsilniej wpływa na zachowanie cech jakościowych transportowanej żywności. S. E. Flores w opracowaniu [6] wyraża pogląd, iż w przypadku warzyw świeżo ciętych odstępstwa od optymalnej temperatury podczas przechowywania i transportu są miarą zagrożenia konsumenta. Uzasadnione jest rozszerzenie tegoż poglądu na całą transportowaną żywność łatwo psującą się. Dlatego też zachodziła potrzeba przygotowania narzędzi obliczeniowych umożliwiających wyznaczenie temperatury transportowanej żywności.

2.1. Prace związane z modelowaniem warunków chłodniczego transportu żywności

Przed przystąpieniem do budowy własnego kodu obliczeniowego przeanalizowano prace realizowane w innych ośrodkach naukowych na świecie.

Analizę przepływu powietrza i odbioru ciepła z nadwozia wypełnionego ładunkiem ułożonym na paletach z wykorzystaniem metod komputerowej dynamiki płynów i metod eksperymentalnych przedstawiono w artykule [11] J. Moureh'a i D. Flicka. Wyniki eksperymentów numerycznych porównywano z wynikami eksperymentów fizycznych. Budując stanowisko modelowe, jak i tworząc procedury obliczeniowe, przyjęto bardzo silne założenie upraszczające, iż nie zachodzi wymiana ciepła pomiędzy ładunkiem a cyrkulującym w nadwoziu powietrzem. Założono, że wymiana ciepła odbywa się tylko pomiędzy ścianami nadwozia a powietrzem, które transportuje ciepło wnikające do parownika.

Przyjęte założenie nie jest spełnione:

- po załadunku, gdyż temperatura powietrza i ładunku mogą się różnić (różnica temperatur powoduje przepływ ciepła),
- w przypadku przewozu świeżych owoców i warzyw.

Świeże owoce i warzywa generują tzw. ciepło oddychania. Wartość tego ciepła dla wielu owoców i warzyw jest tego samego rzędu co ciepło przenikające przez ściany nadwozia na drodze przewodzenia. Należy w tym miejscu nadmienić, że z punktu widzenia równań opisujących transport ciepła to ciepło oddychania należy traktować jako „produkt” wewnętrznych źródeł ciepła. Przedstawione w omówionym artykule wyniki należy traktować jako przybliżone.

G. Comini, G. Cortella i O. Saro w pracy [5] przedstawili model matematyczny opisujący transport ciepła w ładunku i w przestrzeniach międzyładunkowych nadwozia, a także w ścianach nadwozia chłodniczego. Cyrkulację powietrza w nadwoziu wymuszają wentylatory stanowiące integralną część chłodnicy agregatu chłodniczego. Do rozwiązywania układu równań różniczkowych autorzy wykorzystują metodę elementów skończonych. Przyjęte w trakcie rozwiązywania równań założenia upraszczające podlegały weryfikacji eksperymentalnej. W efekcie rozwiązania równań otrzymano pola temperatur w ładunku i przestrzeniach międzyładunkowych.

Modelowanie przepływu powietrza w nadwoziu chłodniczym omówiono w artykule N. Zental-Menia, J. Moureh'a, D. Flicka [17]. Autorzy przebadali wymienione zjawisko na modelu fizycznym i przy użyciu programu obliczeniowego FLUENT. Wykonane eksperymenty potwierdziły przydatność tego programu.

- assuring the high mechanical level of bodies designed for food transport.

2. Code for load temperature determination

Following the discussions presented in the work by S. James [7] the temperature is the parameter being the most influencing on maintaining the quality features of the transported food. S. E. Flores in his work [6] expresses the opinion that in case of fresh cut vegetables the departures from the optimum temperature during their storage and transport are the measure of danger for consumers. It is well-founded to expand the opinion for the whole transported perishable food. For this reason, it was necessary to prepare calculation tools enabling to determine the temperature of the transported food.

2.1. Works concerning modelling of conditions for refrigeration food transport

Before starting to build the own computer code the works carried out in other research centers in the world were analysed.

The analysis of the air flow and heat reception from the body filled with load placed on palletes with the use of computer fluid dynamic methods and the experimental methods, is presented in the paper [11] by J. Moureh i D. Flick. The results of the numerical experiments were compared with the ones of the physical experiments. Building a model stand and creating calculation procedures, they assumed a very strong simplifying presumption that there was no heat transfer between the load and air circulating in the body. They assumed that the heat transfer took place only between the body walls and air transporting heat entering to the evaporator.

The presumption is not met:

- after loading, as the temperature of air and load can be different (the temperature difference causes the heat transfer),
- when fresh fruit and vegetables are transported.

Fresh fruit and vegetables generate heat of respiration. The value of this heat for many fruit and vegetables is of the same order as the heat transfer the body walls through conduction. It should be pointed out here that from the point of view of equations describing the heat transfer, the heat of respiration should be treated as “a product” of internal heat sources. The results presented in the discussed paper should be treated as rough.

G. Comini, G. Cortella and O. Saro in the work [5] presented a mathematical model describing the heat transfer in the load and in the body interload spaces and also in the refrigeration body walls. The air circulation in the body is enforced by the fans being the integral part of the evaporator of the refrigeration unit. The authors use the finite elements method for solving the differential equations system. The simplifying presumptions used when solving equations were the subject of of the experimental verification. In the effect of solving the equations they obtained the thermal fields in the load and interload spaces.

Modelling of the air flow in the refrigeration body was discussed in the paper by N. Zental-Menia, J. Moureh, D. Flick [17]. The authors tested the mentioned phenomenon on the physical model and with the use of the comuter programme FLUENT. The performed experiments confirmed the effectiveness of the programme.

The influence of the refrigeration chamber design solutions on the temperature distribution and the air flow speed was analysed in the elaboration [8] by Jing Xie, Xiao-Hua Qu, Jun-Ye

Wpływ rozwiązań konstrukcyjnych komory chłodniczej na rozkład temperatur i prędkości przepływu powietrza analizowali w opracowaniu [8] Jing Xie, Xiao-Hua Qu, Jun-Ye Shi, Da-Wen Sun. Analizy były prowadzone dla komory nie wypełnionej ładunkiem.

Proces wymiany ciepła pomiędzy ścianą a upakowanym złożem rozważany jest w pracy [9] przez O. Laguerre, S. Ben Amara, D. Flicka. Problem ten rozwiązywany jest z użyciem metod obliczeniowych i eksperymentalnych.

Zmiany temperatury mrożonej żywności ułożonej na paletach w kartonach w zależności od temperatury otoczenia analizowali w pracy [10] J. Moureh i E. Derens. Obliczenia wykonano dla temperatur otoczenia występujących we Francji w lutym i lipcu. W modelu obliczeniowym uwzględniany jest transport ciepła na drodze promieniowania. Wyniki obliczeń porównywane są z wartościami z pomiarów. Różnice temperatur pomiędzy wartościami obliczonymi i zmierzonymi nie przekraczają 1,5 °C.

Zagadnieniom związanym z budową ogólnego modelu umożliwiającego symulację schładzania żywności w powietrzu poświęcona jest praca [4] L.A. Companone, S.A Giner, R.H. Maschioni. Autorzy do budowy modelu wykorzystują ogólne równanie bilansu energii i masy. Równanie to uproszcili dla założonych kształtów schładzanych ciał (nieskończona płyta, nieskończony walec, kula). Dla wymienionych geometrii określono warunki brzegowe, korzystając między innymi z warunków symetrii. W obliczeniach przyjęto, iż współczynnik wnikania ciepła zależy zarówno od składowej konwekcyjnej jak i od składowej radiacyjnej.

Do analizy przyjęto dwa przypadki:

- podczas schładzania powierzchnia ciała jest zwilżona,
- podczas schładzania powierzchnia ciała zwilżona jest sporadycznie.

Do rozwiązania opracowanego układu równań zastosowano metodę Cranka-Nicolsona.

Wykonany program poddano walidacji. Do analizy przyjęto, iż schładzane ciało ma kształt kuli o promieniu 0,03m.

Obliczenia wykonano dla następujących danych wejściowych:

- temperatura początkowa 25°C,
- prędkość przepływu powietrza 2 m/s,
- współczynnik wnikania ciepła 21,57 W/(m²K),
- wilgotność względna 70%,
- temperatura powietrza 0 °C.

Parametry ciała stałego przyjęto takie, jak wartości średnie dla jabłek:

- przewodność cieplna 0,5626 W/(mK),
- ciepło właściwe 3751,79 J/(kgK),
- gęstość 864,16 kg/m³.

W obliczeniach każdą z kul dyskretyzowano 11 punktami odległymi o $\Delta r = 0,003\text{m}$, krok czasowy wynosił $\Delta t = 60\text{s}$.

Wyniki z obliczeń porównane z wartościami zmierzonymi wykazały dobrą zgodność.

2.2. Charakterystyka własnego modelu obliczeniowego

Po wnikliwej analizie przydatności programów komercyjnych i autorskich w sposób świadomy zrezygnowano z tych pierwszych do wyznaczania temperatury ładunku w czasie transportu, gdyż niemożliwe jest wniknięcie w ich strukturę i przystosowanie do specyficznych warunków panujących w nadwoziu chłodniczym.

Shi, Da-Wen Sun. The analyses were done for the chamber being not filled with the load.

The process of the heat transfer between the wall and the packed load is considered in the work [9] by O. Laguerre, S. Ben Amara, D. Flick. This problem is solved with the use calculation and experimental methods.

Temperature changes of frozen food placed on the palletes in cardboard boxes depending on the ambient temperature were analysed in the work [10] by J. Moureh and E. Derens. Calculations were carried out for ambient temperatures occurring in France in February and July. The heat transport on the radiation path is taken into account in the calculation model. The calculation results are compared with the measurements values. The temperature differences between the calculation and measurement values do not exceed 1.5 °C.

The work [4] by L.A. Companone, S.A Giner, R.H. Maschioni discusses problems connected with the construction of the general model enabling the simulation of food cooling with air. The authors use the general equation of the energy and mass balance for the construction of the model. They simplified the equation for the assumed shapes of the cooled objects (infinite plate, infinite cylinder, sphere). For the mentioned geometries they determined the boundary conditions using, among others, symmetry conditions. They assumed in the calculations that the convective heat transfer coefficient depends both on the convective component and on the radiation component.

The following two cases were assumed for the analysis:

- the surface of the object is wetted during cooling,
- the surface of the object is occasionally wetted during cooling.

In order to solve the elaborated system of equations the Crank-Nicolson method was used.

The executed programme was subjected to validation. For the analysis, they assumed that the shape of the cooled object is a sphere of the radius 0.03m.

The calculations were carried out for the following input data:

- initial temperature 25°C,
- airflow speed 2 m/s,
- convective heat transfer coefficient 21.57 W/(m²K),
- relative humidity 70%,
- air temperature 0 °C.

Parameters of the solid were taken as for mean values for apples:

- thermal conductivity 0.5626 W/(mK),
- specific heat 3751.79 J/(kgK),
- density 864.16 kg/m³.

In calculations, each sphere was digitized with 11 points distanced of $\Delta r = 0.003\text{m}$, the time step was $\Delta t = 60\text{s}$.

The calculation results compared with the measured values showed good conformity.

2.2. Characteristics of own calculation model

After deep analysis concerning usefulness of commercial and author's programmes, they intentionally resigned of the first ones designed for the load temperature determination during transport as it is impossible to penetrate their structure and to adapt to special conditions taking place in the refrigeration body.

W Zakładzie Maszyn Spożywczych i Transportu Żywności Politechniki Poznańskiej stworzono kod umożliwiający określenie rozkładu temperatury w transportowanym ładunku i cyrkulującym w nadwoziu powietrzu. Do budowy kodu przyjęto schemat koncepcyjny pokazany na rysunku 1.

W modelu obliczeniowym chłodniczego środka transportu uwzględniono:

- ścianki nadwozia o znanym współczynniku przenikania ciepła (k); temperatura powietrza otaczającego nadwozie wynosi (t_o),
- rzędy opakowań z ładunkiem rozmieszczone wzdłuż nadwozia w odstępach (δ_p),
- powietrze przepływające w kanałach wzdłuż ładunku; znana jest temperatura powietrza wpływającego (z agregatu chłodniczego) do przestrzeni ładunkowej oraz prędkość powietrza w każdym z kanałów.

Zasadniczo do matematycznego opisu wymiany ciepła w ładunku i w ścianach środka transportu wykorzystano równanie niestabilnego przewodzenia ciepła [14]:

$$\rho c \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \dot{q} \quad (1)$$

gdzie: ρ - gęstość, c - ciepło właściwe, t - temperatura, τ - czas, λ - przewodność cieplna, \dot{q} - moc wew. źródła ciepła odniesiona do jednostki objętości, x, y - współrzędne położenia.

Warto w tym miejscu nadmienić, iż przewodność cieplna przemieszczanej żywności może ulegać zmianie wskutek zachodzących procesów fizyko-chemicznych związanych przykładowo z dojrzewaniem czy też psuciem. Dlatego też w równaniu (1) przyjęto, iż przewodność jest zmienna, chociaż w praktycznych obliczeniach trudno jest uwzględnić powyższy fakt, gdyż w literaturze np. [1] brak jest informacji o zmianach przewodności produktów spożywczych w procesie przechowywania i transportu.

Przy rozwiązywaniu zagadnień niestabilnego przepływu ciepła muszą być znane warunki brzegowe, które informują o wielkościach determinujących przebieg procesu na powierzchni (brzegu) ciała. W analizowanej sytuacji mogą wystąpić trzy rodzaje warunków brzegowych:

1. dany jest rozkład temperatury na powierzchni ciała,

$$t = t_B \quad (2)$$

2. dany jest rozkład strumieni ciepła na powierzchni ciała (warunek brzegowy drugiego rodzaju występuje na powierzchni adiabatycznej oraz w płaszczyźnie symetrii $q_s = 0$),

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial n} = q_s \quad (3)$$

The Division of Food Machines and Transport of Poznań University of Technology created a code enabling to determine the temperature distribution in the transported load and air circulating in the body. For the code building the theory scheme shown in the figure 1 was assumed.

The calculation model of the transport mean covers as follows:

- body walls of the known heat transfer coefficient (k); the body ambient temperature is (t_o),
- rows of packs with the load distributed along the body at intervals (δ_p),
- air overflowing in passages along the load; the temperature of air flowing-in (from the refrigerated unit) to the load space and air velocity in each passage are known.

Fundamentally, for the mathematic description of the heat transfer in the load and in the walls of the transport mean the following equation of the transient heat conduction was applied [14]:

$$\rho c \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \dot{q} \quad (1)$$

where: ρ - density, c - specific heat, t - temperature, τ - time, λ - thermal conductivity, \dot{q} - rate of internal heat generation, x, y - position coordinates.

It is worth mentioning here that thermal conductivity of the relocated foodstuff can change in the effect of occurring physical chemistry processes caused, for example, by ripening or spoilage. For this reason, in the equation (1) they assumed that conductivity is a variable, although in practice, in calculations it is difficult to take the above fact into account as in literature, e.g. [1] there is no information on changes of foodstuff products conductivity during the storage and transport process.

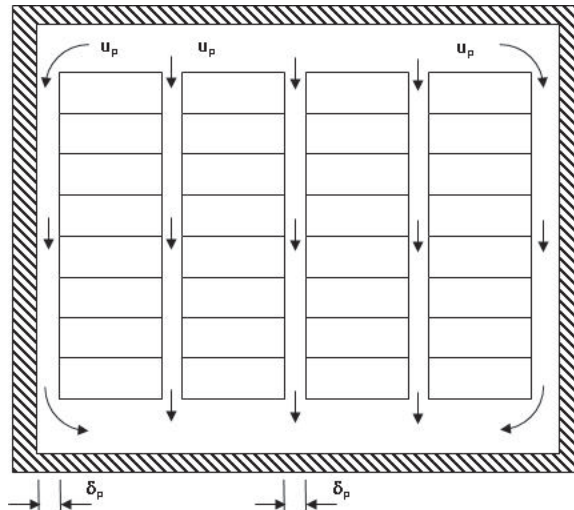
When solving problems of transient heat overflow the boundary conditions have to be known as they inform about values determining the process course on the surface of the object. In the analysed situation, three kinds of boundary conditions can occur:

1. there is given the temperature distribution on the surface of the object,

$$t = t_B \quad (2)$$

2. there is given the heat flux distribution on the surface of the object (the boundary condition of the second kind occurs on the adiabatic surface and in the symmetry plane $q_s = 0$),

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial n} = q_s \quad (3)$$



Rys. 1. Model obliczeniowy chłodniczego środka transportu [5]
Fig. 1. Calculation model of refrigerated transport mean [5]

gdzie: $\partial t/\partial n$ – gradient temperatury w kierunku zewnętrznej normalnej do powierzchni, q_s – strumień ciepła dopływający do powierzchni

3. dana jest temperatura t_f strugi płynu omywającego powierzchnię i współczynnik α wnikania ciepła

$$\alpha(t_f - t_s) = \lambda \frac{\partial t}{\partial n} \quad (4)$$

W przypadku łącznej analizy przewodzenia i konwekcji należy uwzględnić oddziaływanie między ładunkiem i powierzchnią. Dlatego też w modelu matematycznym zastosowano [5] dodatkowo ogólne równanie bilansu energii dla powietrza przepływającego w kanale:

$$\rho_p c_p S_p \left(\frac{\partial t_p}{\partial \tau} + u_p \frac{\partial t_p}{\partial s} \right) = \frac{\partial}{\partial s} \left(-\lambda_p S_p \frac{\partial t_p}{\partial s} \right) - \alpha_r p (t_p - t_s) \quad (5)$$

gdzie: S_p – pole przekroju kanału w kierunku prostopadłym do kierunku ruchu powietrza, p – wysokość kanału, t_s – temperatura ścianki, u_p – prędkość powietrza, α_r – współczynnik przejmowania ciepła, t_p – temperatura powietrza (indeks „p” oznacza powietrze w kanale)

Powyższa zależność może być stosowana w przypadku, gdy wymiary kanału spełniają następujący warunek (długość/szerokość $\gg 1$). Po przekształceniu równanie (5) przyjmuje postać:

$$\rho_p c_p \delta_p \left(\frac{\partial t_p}{\partial \tau} + u_p \frac{\partial t_p}{\partial s} \right) = \frac{\partial}{\partial s} \left(\lambda_p \delta_p \frac{\partial t_p}{\partial s} \right) - \alpha_r (t_p - t_s) \quad (6)$$

gdzie: δ_p – szerokość kanału.

Przedstawione równania posłużyły do budowy własnego kodu obliczeniowego. W kodzie tym do rozwiązania otrzymanego układu równań wykorzystano metodę elementów skończonych. Stworzony kod uwiarygodniono w sposób eksperymentalny. Proces walidacji opisano w pracy [2]. Na rysunku 2 pokazano zgodność wyników uzyskanych z programu obliczeniowego i eksperymentu fizycznego w tych samych punktach ładunku (wartości z pomiarów poprzedzone są literami „cz”, a z obliczeń słowem „punkt”).

3. Charakterystyka narzędzi wspomagających doskonalenie nadwozi do przewozu żywności

Ogólne wymagania, jakie muszą spełniać nadwozia, aby można było transportować w nich żywność szybko psującą się w sposób bezpieczny dla konsumenta określone są w umowie ATP.

W tym celu stworzono, w ramach grantu KBN 5T7B02022 pt. „Fizyczne podstawy diagnostyki układów termoizolacyjnych do transportu żywności”, kompleksowy system oceny nadwozi do przewozu żywności.

Diagnoza może służyć:

- klasyfikacji nadwozia zgodnie z wymogami umowy ATP,
- ocenie eksploatowanego nadwozia w celu określenia jego stanu,
- określeniu słabych miejsc w celu:
 - doskonalenia nowej konstrukcji,
 - planowania remontu,
- ocenie wykonanej naprawy.

Optymalne sekwencje badań cząstkowych umożliwiające pełną realizację celu diagnozy przedstawiono w pracy [3] będącej sprawozdaniem ze wspomnianego grantu.

where: $\partial t/\partial n$ – temperature gradient in the direction of normal external to the surface, q_s – heat flux flowing to the surface

3. there is given the temperature t_f of the liquid stream flowing on the surface and the convective heat transfer coefficient α

$$\alpha(t_f - t_s) = \lambda \frac{\partial t}{\partial n} \quad (4)$$

In case of total analysis of conduction and convection, the interaction between the load and air should be taken into account. That is why in the mathematic model, they applied [5] the additional, general equation of the energy balance for air flowing in the passage:

$$\rho_p c_p S_p \left(\frac{\partial t_p}{\partial \tau} + u_p \frac{\partial t_p}{\partial s} \right) = \frac{\partial}{\partial s} \left(-\lambda_p S_p \frac{\partial t_p}{\partial s} \right) - \alpha_r p (t_p - t_s) \quad (5)$$

where: S_p – the canal area in the perpendicular direction to the air movement, t_s – wall temperature, u_p – air speed, α_r – heat transfer coefficient, t_p – air temperature, $S_p = \delta_p p$ – cross-section of the flow passage, p – thickness of the domain, (index „p” means: air in the passage),

The above equation can be applied when the passage dimensions meet the following condition (length/width $\gg 1$). After rearranging the equation (5) has the following form:

$$\rho_p c_p \delta_p \left(\frac{\partial t_p}{\partial \tau} + u_p \frac{\partial t_p}{\partial s} \right) = \frac{\partial}{\partial s} \left(\lambda_p \delta_p \frac{\partial t_p}{\partial s} \right) - \alpha_r (t_p - t_s) \quad (6)$$

where: δ_p – width of the flow passage.

The presented equations were used for building the own computer code. In this code the finite elements method was used for solving the obtained system of equations. The created code was made valid in the experimental way. The process of validation was described in the work [2]. The figure 2 shows the conformity of results obtained on the basis of the computer programme and the physical experiment in the same load points (the measurements values are preceded with the letters “cz”, and the calculation ones with the word “punkt” [“point”]).

3. Characteristics of tools helpful in improving foodstuff transport bodies

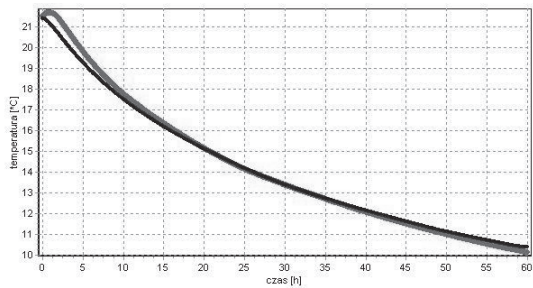
General requirements concerning the bodies which have to be met for the perishable foodstuff transport to be safe for the consumer are determined in the agreement ATP.

For this purpose within the grant KBN 5T7B02022 entitled “Physical bases of diagnostics concerning heat-insulating systems for foodstuff transport” a complex system of evaluation for the foodstuff transport bodies was created.

Diagnosis can be used to:

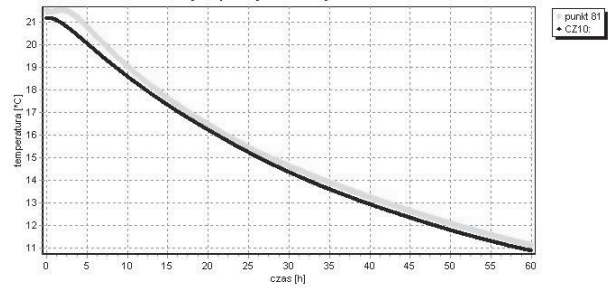
- classify bodies in accordance with the requirements of the agreement ATP,
- evaluate the used body in order to determine its condition,
- define weak points in order to:
 - improve new design,
 - plan a repair,
- evaluate the performed repair.

Optimum sequences of partial examinations enabling complete achievement of the purpose of the diagnosis are presented



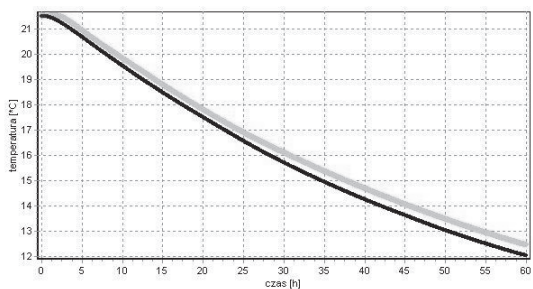
Rys. 2a. Temperatury ładunku w wybranych punktach podczas schładzania

Fig. 2a. Load temperatures in selected points during cooling down



Rys. 2b. Temperatury ładunku w wybranych punktach podczas schładzania

Fig. 2b. Load temperatures in selected points during cooling down



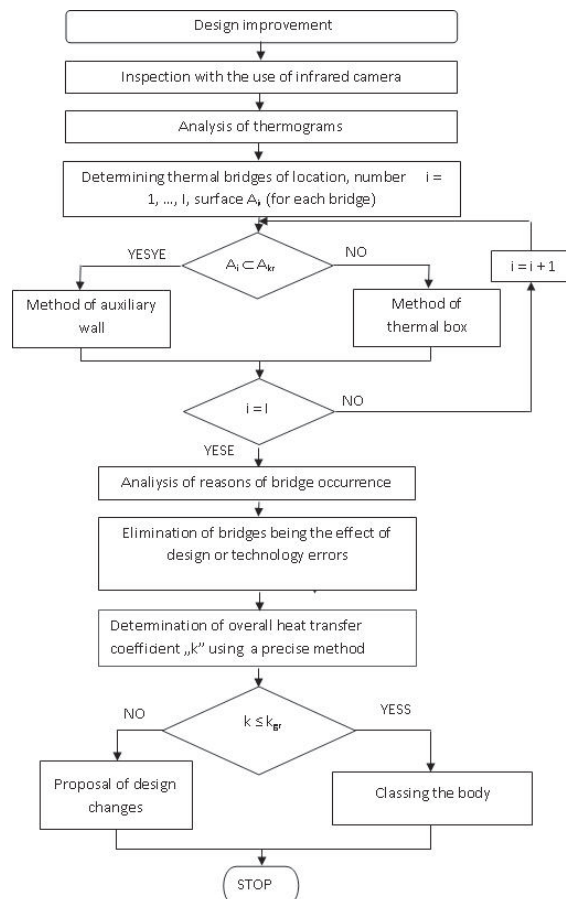
Rys. 2c. Temperatury ładunku w wybranych punktach podczas schładzania

Fig. 2c. Load temperatures in selected points during cooling down

Na rysunku 3 przedstawiono przykładowo działania diagnostyczne przy doskonaleniu nowej konstrukcji.

Proces doskonalenia polega między innymi na eliminacji słabych miejsc tzw. „mostków cieplnych”. Lokalizacji mostków cieplnych, po wytworzeniu różnicy temperatur pomiędzy wnętrzem nadwozia a otoczeniem, najlepiej dokonać przy użyciu kamery termowizyjnej. Analizując termogramy można określić ilość mostków, powierzchnię każdego z mostków oraz ich położenie. Jeśli powierzchnia A_i i -tego mostka zawiera się w kole o powierzchni A_{kr} , to można przyjąć, iż mostek ma charakter punktowy. Oceny ilościowej (lokalny współczynnik przenikania ciepła) dla tegoż mostka można dokonać metodą ścianki pomocniczej. Wartość powierzchni A zależna jest od średnicy czujnika typu „ścianki pomocniczej”. Jeśli wzmiankowana relacja nie zachodzi ($A_i \not\subset A_{kr}$), to do oceny mostka należy wykorzystać skrzynkę grzejną.

Powyższą analizę należy przeprowadzić dla wszystkich wykrytych mostków, spełnienie tegoż warunku oznacza, iż prawdziwa jest relacja $i = I$, gdzie i – kolejny numer analizowanego



Rys. 3. Schemat procesu doskonalenia nowej konstrukcji

Fig. 3. Scheme of new design improvement process

in the work [3] being a report of the mentioned grant.

The figure 3 presents exemplary diagnostic actions when improving a new design.

The process of improvement, among others, lies in the elimination of weak points, so called heat leakage bridges. The best way to localize the thermal bridges is to use an infrared camera when the temperature difference between the body inside and the environment takes place. Analysing the thermograms one can determine the number of bridges, the area of each bridge and their location. If the area A of i^{th} bridge is contained in the circle of the area A_{kr} , it can be assumed that the bridge is of pointwise character. The quantitative evaluation (local heat transfer coefficient) for this bridge can be made with the auxiliary wall method. The value of the area A depends on the diameter of the “auxiliary wall” type sensor. If the mentioned situation does not occur ($A_i \not\subset A_{kr}$), one can use the thermal box for the evaluation of the bridge.

The above analysis should be carried out for all the found bridges; when this condition is met it means that relation $i = I$, where i – the consecutive num-

mostka, I – najwyższy numer przypisany mostkowi. Po dokonaniu analizy ilościowej wszystkich zarejestrowanych mostków należy ustalić przyczynę ich powstania. W procesie tym pomocny jest projekt nadwozia oraz opis technologii wykonania elementów składowych nadwozia i ich montażu. Wykonana analiza powinna określić przyczyny powstania mostków, tzn. czy są one spowodowane:

- koniecznymi (np. ze względów wytrzymałościowych) rozwiązaniami konstrukcyjnymi,
- błędami konstrukcyjnymi, np. złe zaprojektowanie wzmocnień pod agregat,
- błędami technologicznymi (np. wystąpienia niedolewek pianki w procesie spieniania z powodu niewykonania od powietrzników w okładzinach płyt).

Po usunięciu mostków będących następstwem błędów konstrukcyjnych i technologicznych należy wykonać wyznaczenie wartości globalnego współczynnika przenikania ciepła „ k ” metodą dokładną. Jeśli wartość współczynnika „ k ” nie przekracza wartości granicznej (k_{gr}), to nadwozie otrzymuje potwierdzenie klasy. W przeciwnym razie należy sformułować propozycję zmian konstrukcji np. pogrubienia dachu lub podłogi.

Z powyżej przedstawionych rozważań wynika, iż nadwozia te muszą cechować się określoną izolacyjnością cieplną, której miarą jest globalny współczynnik przenikania ciepła.

Globalny współczynnik przenikania ciepła „ k ” wyznaczany jest w stanie ustalonym z zależności (7):

$$k = \frac{Q}{A_{sr} |t_w - t_z|} \quad (7)$$

gdzie: k – globalny współczynnik przenikania ciepła, Q – ciepło przenikające przez ściany, dach, podłogę i drzwi nadwozia, A_{sr} – średnia powierzchnia nadwozia obliczana z wzoru (8), t_z – temperatura zewnętrzna, t_w – temperatura wewnętrzna,

$$A_{sr} = \sqrt{A_z A_w} \quad (8)$$

gdzie: A_z – powierzchnia zewnętrzna nadwozia, A_w – powierzchnia wewnętrzna nadwozia.

Procedury wyznaczania współczynnika „ k ” opisane są w umowie ATP. Praktyczny sposób wyznaczania przedstawiono w monografii [3].

W zależności od wartości globalnego współczynnika przenikania ciepła wyróżnia się dwie klasy nadwozi izotermicznych:

- nadwozia izotermiczne z izolacją wzmocnioną $k \leq 0,4W/(m^2K)$,
- nadwozia izotermiczne z izolacją normalną $k \leq 0,7W/(m^2K)$.

Wyznaczeniem wartości wspomnianego współczynnika zajmuje się sieć upoważnionych laboratoriów spełniających wymagania sformułowane przez Grupę Roboczą WP-11 ONZ i Podkomisję D2/3 Międzynarodowego Instytutu Chłodziactwa.

W Polsce upoważnione laboratoria znajdują się w:

- Centralnym Ośrodku Chłodziactwa w Krakowie,
- Instytucie Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych Politechniki Poznańskiej.

Wymienione powyżej laboratoria dokonują również wyznaczenia wydajności chłodniczej lub grzewczej urządzeń kształtujących kryptoklimat w nadwoziu.

Globalny współczynnik przenikania ciepła stanowi uśrednioną po powierzchni wartości lokalnych współczynników przenikania ciepła. Dążąc do minimalizacji wartości współczynnika

ber of the analysed bridge, I – the highest number of the bridge, is true. After the quantity analysis of all the recorder bridges the reason of their occurrence should be established. In this process the body design and the description of the executive technology of the body components and their assembly are very useful. The performed analysis should determine the reasons of the occurrence of bridges, i.e. if they are caused by:

- necessary (for example, for strength reasons) design solutions,
- design errors, for example, incorrect design of reinforcement for the unit,
- technology errors (for ex., misrun foam casting in the process of foaming in the effect of the lack of vents in the plate lining).

After the elimination of bridges being the effect of design and technology errors the determination of the value of the overall heat transfer coefficient „ k ” should be made with the use of the precise method. If the value of the coefficient „ k ” does not exceed the boundary value (k_{gr}), the class of the body is confirmed. Otherwise, the proposal of the design changes, for ex. roof or floor thickening, should be prepared.

The above presented considerations show that the bodies must have certain thermal insulating power the measure of which is the overall heat transfer coefficient.

The overall heat transfer coefficient „ k ” is determined in a steady state in the equation (7):

$$k = \frac{Q}{A_{sr} |t_w - t_z|} \quad (7)$$

where: k – overall heat transfer coefficient, Q – heat transfer through the body walls, roof, floor and doors, A_{sr} – mean body surface calculated from the formula (8), t_z – external temperature, t_w – internal temperature,

$$A_{sr} = \sqrt{A_z A_w} \quad (8)$$

where: A_z – external surface of the body, A_w – internal surface of the body.

Procedures for the determination of the coefficient „ k ” are described in the agreement ATP. A functional way for the determination was presented in the monograph [3].

Depending on the value of the overall heat transfer coefficient there are two classes of the insulated bodies:

- insulated bodies with reinforced insulation $k \leq 0.4W/(m^2K)$,
- insulated bodies with normal insulation $k \leq 0.7W/(m^2K)$.

A net of authorised laboratories meeting the requirements defined by the United Nations Working Group WP-11 and Subcommittee D2/3 of the International Institute of Refrigeration.

In Poland the authorised laboratories are in:

- Research Refrigeration Centre in Cracow,
- Institute of Machines and Motor Vehicles of Poznań University of Technology.

The above mentioned laboratories also determine the refrigerating capacity or calorific effect creating the body cryptoclimate.

The overall heat transfer coefficient is the averaged value, after the surface, of the local heat transfer coefficients. Aiming at the minimization of the heat transfer coefficient value, the heat leakage bridges should be eliminated at first. The mentioned bridges cause not only the increase of overall heat transfer

przenikania ciepła w pierwszej kolejności należy eliminować mostki ciepła. Wspomniane mostki powodują nie tylko wzrost wartości globalnego współczynnika przenikania ciepła, ale także są miejscami, w których mogą rozwijać się mikroorganizmy zakażające transportowaną żywność. Problem zakażenia żywności przez rozwijające się mikroorganizmy jest szczególnie istotny w przypadku cystern używanych do przewożenia mleka. Na powyższy fakt zwrócono uwagę w monografii [18], w rozdziale poświęconym cysternom.

Do identyfikacji miejsc, w których występują mostki ciepła najwygodniej jest wykorzystać technikę termowizyjną. Zdjęcia termowizyjne umożliwiają nie tylko wskazanie miejsca występowania mostka, ale także jego powierzchnię. Przykładowe zdjęcie termowizyjne drzwi tylnych nadwozia izotermicznego pokazano na rysunku 4.

Powyższe zdjęcie wykonano od strony zewnętrznej nadwozia, przy temperaturach wewnątrz nadwozia 32,5 °C a na zewnątrz nadwozia 7, 5 °C.

Należy w tym miejscu nadmienić, iż obszerny katalog mostków cieplnych przedstawiono w pracach [3, 18].

Metoda termowizyjna pozwala wskazać miejsca występowania mostków cieplnych, jednakże nie umożliwia wyznaczenia wartości lokalnych współczynników przenikania ciepła.

Do wyznaczenia wartości lokalnych współczynników przenikania ciepła w pracy [3] rekomendowane są dwie metody:

- ścianki pomocniczej dla mostków o małej powierzchni,
- osłoniętej skrzynki grzejnej dla mostków o większej powierzchni.

Ścianka pomocnicza musi być znacznie cieńsza niż ścianka, dla której wyznaczany jest strumień przepływającego ciepła. W sposób poglądowy ideę pomiaru przy użyciu wspomnianych czynników pokazano na rysunku 5.

W układach pomiarowych wykorzystujących czujniki typu ścianka pomocnicza wymagane jest spełnienie warunku (9):

$$\Delta t \ll (t_{f2} - t_{f1}) \quad (9)$$

Spełnienie tegoż warunku oznacza, iż czujnik w sposób nieistotny zakłóca przepływ ciepła przez badany element.

Wspomniany typ czujników jest produkowany przez wyspecjalizowane firmy. Przykładowe rozwiązanie czujników pokazano na zdjęciu zamieszczonym na rysunku 6.

Ideę pomiarów przy użyciu skrzynki grzejnej, w oparciu o informacje zawarte w normie

coefficient value but they are also the places where micro-organisms infecting the transported foodstuff can develop. The problem of infecting food by expanding micr-organisms is specially important in case of tanks used to transport milk. The above fact was pointed out in the monograph [18], in the chapter devoted to tanks.

In order to identify places where the thermal bridges occur, it is most convenient to use the infrared technology. The infrared photos enable not only to indicate places where the bridge can occur but also determine its surface. The exemplary infrared photos of the back door of the insulated body are shown in fig. 4.

The above photo was taken from outside the body at temperatures: inside the body 32.5 °C and outside the body 7. 5 °C.

It should be pointed out here that a wide-ranging catalogue of heat leakage bridges was presented in the works [3, 18].

The infrared method allows to show places of heat leakage bridges occurrence, however, it does not allow to determine the local heat transfer coefficient values.

The work [3] recommends two methods for the determination of the local heat transfer coefficient values, namely:

- auxiliary wall for bridges of small surface,
- shielded thermal box for bridges of larger surface.

The auxiliary wall must be much thinner than the wall for which the flowing heat flux is determined. The idea of the measurement with the use of the mentioned elements is shown, in a pictorial way, in the figure 5.

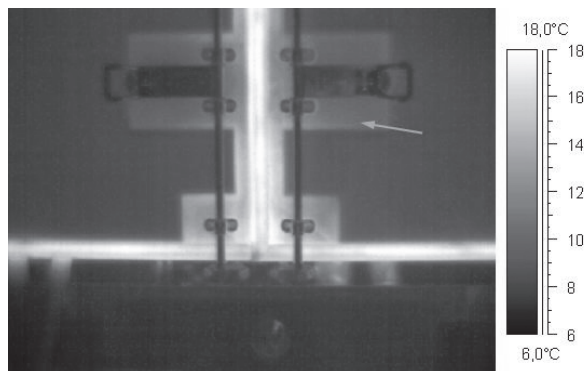
In the measurement systems where sensors of the auxiliary wall type are applied the following condition (9) must be met:

$$\Delta t \ll (t_{f2} - t_{f1}) \quad (9)$$

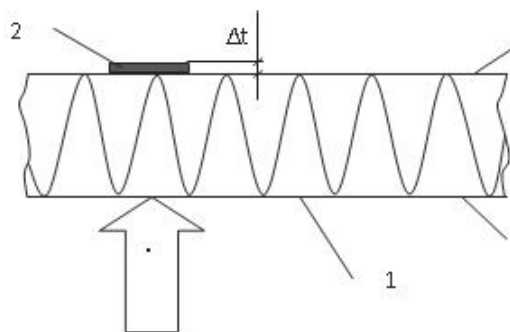
Meeting of this condition means that the sensor essentially disturbs heat transfer through the tested element.

The mentioned type of sensors is manufactured by specialized firms. The exemplary sensor solution is shown in the photo in the figure 6.

The idea of measurements with the use of the thermal box on the basis of information contained in the standard PN EN



Rys. 4. Zdjęcie termowizyjne drzwi tylnych nadwozia izotermicznego
Fig. 4. The infrared photo of of the back door of the insulated body

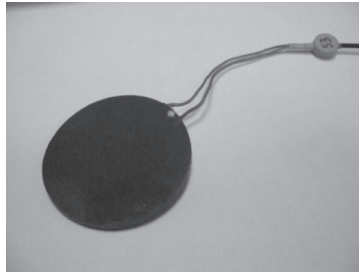


Rys. 5. Wyznaczanie strumienia przepływającego ciepła metodą ścianki pomocniczej: 1-układ termoizolacyjny, 2-czujnik typu ścianka pomocnicza, t_{f1} , t_{f2} -temperatury na ściankach układu termoizolacyjnego, Δt -spadek temperatury na ściance pomocniczej, q -strumień przepływającego ciepła

Fig. 5. Determination of the flowing heat flux with the auxiliary wall method: 1-heat insulating system, 2-sensor of auxiliary wall type, t_{f1} , t_{f2} -temperatures on walls of heat insulating system, Δt -temperature drop on the auxiliary wall, q -flowing heat flux

PN EN ISO 8990:1998 [12], ilustruje rysunek 7.

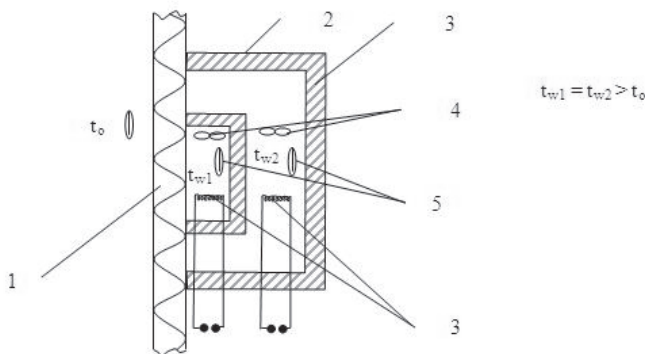
Pomiar przeprowadza się w warunkach ustalonego przepływu ciepła. Temperatura we wnętrzu skrzynki pomiarowej t_{w1} ma taką samą wartość jak temperatura t_{w2} w skrzynce zewnętrznej osłonowej. Równość temperatur $t_{w1} = t_{w2}$ zapewnia, iż przez ściany skrzynki wewnętrznej nie następuje przepływ ciepła. Całkowite ciepło wygenerowane w skrzynce wewnętrznej przepływa przez badany fragment układu termoizolacyjnego.



Rys. 6. Czujnik pomiarowy typu ścianka pomocnicza
Fig. 6. The measurement sensor of the auxiliary wall type

ISO 8990:1998 [12] is illustrated in the figure 7.

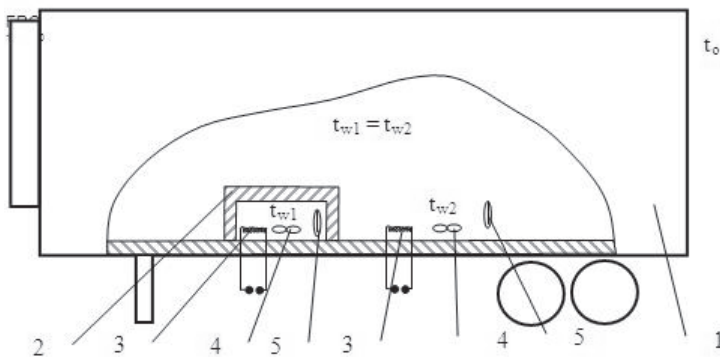
The measurement is to be carried out in the steady state heat transfer conditions. The temperature inside the measurement box t_{w1} has the same value as the temperature t_{w2} in the external insulating box. The equal temperatures $t_{w1} = t_{w2}$ ensure that the thermal flow does not occur through the walls of the internal box. The total heat generated in the internal box flows through the tested fragment of the heat-insulating system.



Rys. 7. Układ pomiarowy z osłoniętą skrzynką grzejną: 1-badany element, 2-wewnętrzna skrzynka grzejna, 3-zewnętrzna skrzynka grzejna, 4-wentylator, 5- czujnik temperatury, 6-grzejnik o regulowanej mocy, t_{w1} -temperatura w wewnętrznej skrzynce grzejnnej, t_{w2} -temperatura w zewnętrznej skrzynce grzejnnej, t_o -temperatura otoczenia
Fig. 7. The measurement system with the shielded thermal box: 1-tested element, 2-internal thermal box, 3-external thermal box, 4-fan, 5- temperature sensor, 6-heater of adjustable power, t_{w1} -temperature in the internal thermal box, t_{w2} -temperature in the external thermal box, t_o -ambient temperature

Skrzynkę ochronną w przypadku badanego nadwozia izotermicznego może stanowić samo nadwozie, tak jak to pokazano na rysunku 8.

In case of the tested insulation body the protecting box can be the body itself as it is shown in the figure 8.



Rys. 8. Układ do pomiaru współczynnika przenikania ciepła 1-nadwozie (naczepa), 2-skrzynka grzejna, 3-grzejnik, 4-wentylator, 5-czujnik, t_{w1} -temperatura wewnątrz skrzynki grzejnnej, t_{w2} -temperatura we wnętrzu nadwozia, t_o -temperatura otoczenia
Fig. 8. The system for the measurement of the heat transfer coefficient, 1-body (semi trailer), 2-thermal box, 3-heater, 4-fan, 5-sensor, t_{w1} -temperature inside the thermal box, t_{w2} - temperature inside the body, t_o -ambient temperature

Skrzynkę pomiarową projektuje się tak, aby zminimalizować strumienie ciepła:

- przepływające przez ściany skrzynki,
- przepływające równoległe do badanej powierzchni.

Pierwszy z wymienionych strumieni można zminimalizować w dwojaki sposób:

- stosując do budowy skrzynki pomiarowej materiały o dużym oporze cieplnym,
- minimalizując różnicę temperatur pomiędzy przestrzenią utworzoną przez skrzynkę pomiarową i nadwoziem stanowiącym skrzynkę ochronną.

Drugi z wymienionych strumieni można zmniejszyć, jeśli:

- stosunek powierzchni ograniczonej przez skrzynkę badawczą jest znacznie mniejszy niż powierzchni badanej ściany,

The measurement box is designed so as to minimize the heat fluxes:

- flowing through the box walls,
- flowing in parallel to the tested surface.

The first of the mentioned fluxes can be minimized in one of the bellow two ways:

- applying for the construction of the measurement box, materials of high heat resistance,
- minimizing the temperature difference between the space created by the measurement box and the body being the protecting box.

The second of the mentioned fluxes can be decreased, when:

- the ratio of the area restricted by the test box is much smaller than in case of the surface of the tested wall,

- stosunek powierzchni ograniczonej przez skrzynkę grzejącą do obwodu tej powierzchni ma dużą wartość.

W przestrzeni skrzynki pomiarowej, jak i skrzynki ochronnej winno być zachowane jednorodne pole temperatur. Użytkuje się to przez zainstalowanie w skrzynce pomiarowej jak i w nadwoziu wentylatorów. Sprawdza się to przez umieszczenie czujników temperatury.

Czujniki temperatury powinny być umieszczone w odległości nie mniejszej niż 0,1 m od ścianek, tak aby znajdowały się poza obszarem termicznej warstwy przyściennej. Skrzynkę grzejącą przedstawiono na zdjęciu zamieszczonym na rysunku 9.

Nadwozia do przewozu żywności winny być szczelne i ograniczać:

- wnikanie zanieczyszczeń z otoczenia,
- wymianę ciepła na drodze infiltracji powietrza.

Zbudowany w Politechnice Poznańskiej układ pomiarowy do badania szczelności nadwozia powstał w oparciu o wytyczne zawarte w normie PN-EN 13829 [13].

Układ pomiarowy do badania szczelności nadwozi izotermicznych przedstawiono na rysunku 10.

Zastosowanie normy miało na celu wykorzystanie metod badania szczelności budynków do badania szczelności komór chłodniczych zarówno stacjonarnych, jak i samochodowych.

Norma PN-EN 13829 [13] ogólnie określa, iż urządzenie wprowadzające powietrze w ruch ma umożliwić wytworzenie określonego zakresu wartości nadciśnienia i podciśnienia w stosunku do otoczenia oddzielnego obudową. System wprowadzający w ruch powinien zapewnić stały przepływ powietrza przy każdej różnicy ciśnień w czasie niezbędnym do wykonania odczytów strumienia przepływu powietrza. Jako urządzenie wprowadzające powietrze w ruch wykorzystano wentylator.

Z uwagi na małe wartości badanej różnicy ciśnień zastosowano do pomiarów U-rurkę. Wymieniony przyrząd spełnia wymogi normy, gdyż umożliwia pomiar ciśnienia z dokładnością ± 2 Pa w zakresie od 0 Pa do 60 Pa.

Do pomiaru strumienia przepływu powietrza zastosowano zwężkę pomiarową typu kryza o średnicy wewnętrznej d

- the ratio of the surface restricted by the thermal box to the circuit of the surface has a high value.

In the space of the measurement box and the protecting box the temperature field should be maintained as homogenous. It can be achieved by installing fans in the measurement box and in the body. This can be checked by mounting the temperature sensors.

The temperature sensors should be located in the distance not smaller than 0.1 m from the walls so as to be outside the thermal boundary layer. The thermal box is presented in the photo shown in the figure 9. the nearsurface layer.

The bodies for the foodstuff transport should be tight and should keep to minimum:

- impurity penetration from the environment,
- heat transfer through air infiltration.

The measurement system for testing the body tightness was built in Technical University in Poznan on the basis of guidelines contained in the standard PN-EN 13829 [13].

The measurement system for testing the insulation body tightness is presented in the figure 10.

The aim of the application of the standard was to use methods for testing the buildings tightness to test the refrigeration chambers.

The standard PN-EN 13829 [13] determines, in general, that the apparatus putting air in motion is to enable the creation of the defined values range of overpressure and underpressure in relation to

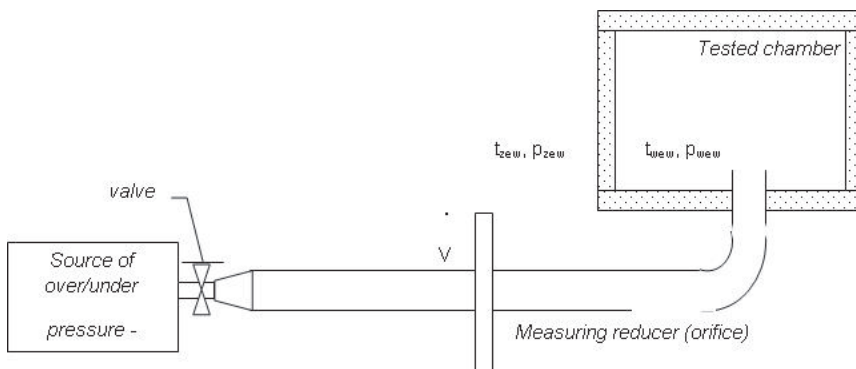
environment separated with the casing. The system which is putting in motion should ensure a constant air flow at each pressure difference and in time being necessary to make readings of the air flow flux. As the apparatus putting air in motion the fan was used.

Due to small values of the tested pressure difference the U-pipe was used for the measurements. The mentioned device meets the requirements of the standard as it makes possible the measurement of pressure with exactness ± 2 Pa in the range from 0 Pa to 60 Pa.

In order to measure the air flow flux they applied a measuring reducer of the orifice type of the inside diameter $d = 0.025$



Rys. 9. Widok wnętrza skrzynki grzejącej
Fig. 9. View of the thermal box inside



Rys. 10. Schemat stanowiska do pomiaru szczelności komory chłodniczej
Fig. 10. The scheme of the stand for the measurement of the refrigerated chamber

= 0,025 m i średnicy zewnętrznej $D = 0,070$ m (przewężenie zwężki wynosi $\beta = 0,36$). Instalację wykonano z rur PCV.

4. Podsumowanie

Przedstawione w artykule prace zrealizowane w Zakładzie Maszyn Spożywczych i Transportu Politechniki Poznańskiej zostały wdrożone do praktyki gospodarczej. Program obliczeniowy posłużył między innymi do rozstrzygnięcia kwestii spornych w relacji przewoźnik – załadowca – towarzystwo ubezpieczeniowe. Program ten jest także bardzo pomocny w procesie szkolenia przewoźników, gdyż pozwala modelować rzeczywiste sytuacje, jakie mogą wystąpić w trakcie przemieszczania żywności, w szczególności na dalekie odległości.

Natomiast procedury wspomagające doskonalenie nadwozi izotermicznych znalazły zastosowanie w firmach je wytwarzających i serwisujących. Niektóre z tych firm wyrażają pogląd, iż dzięki zastosowaniu tych procedur wzrosła ich konkurencyjność.

5. Literatura

1. ASHRAE Handbook, 1994, Refrigeration. Systems and applications.
2. Bieńczak K. Modelowanie warunków termicznych chłodniczego przewozu żywności. Rozprawy nr 434. Poznań: Wydawnictwo PP, 2009.
3. Bieńczak K (red.). Fizyczne podstawy diagnostyki układów termoizolacyjnych do transportu żywności, Poznań: ITE, 2004.
4. Campanone L A, Giner S A, Mascheroni R H. Generalized model for the simulation of food refrigeration. Development and validation of the predictive numerical method. *International Journal of Refrigeration* 2002; 25: 975-984.
5. Comini G, Cortella G, Saro O. Finite element Analysis of coupled conduction and convection in refrigerated transport. *International Journal of Refrigeration* 1995; 18(2): 123 – 131.
6. Estradu-Flores S. Safe temperature regulations during the road transport of fresh cuts. Washington, D.C: International Congress of Refrigeration, 2003.
7. James S. The Chill Chain “from Caracass to Consumer”. *Meat Science* 1996; 43(8): 203-216.
8. Jing Xie, Xiao-Hua Qu, Jun-Ye Shi, Da-Wen Sun. Effects of design parameters on flow and temperature fields of a cold store by CFD simulation. *Journal of Food Engineering* 2006; 77: 355-363.
9. Laguerre O, Ben Amara S, Flick D. Heat transfer between wall and packed bed crossed by low velocity airflow. *Applied Thermal Engineering* 2006; 26.
10. Moureh J, Derens E. Numerical modelling of the temperature increase in frozen food packaged in pallets in the distribution chain. *International Journal of Refrigeration* 2000; 23: 540-552.
11. Moureh J, Flick D. Airflow pattern and temperature distribution inatriptical refrigerated truck with palets. *International Journal of Refrigeration* 2004; 27 (5).
12. PN-EN ISO 8990, 1998 Izolacja cieplna. Określenie właściwości związanych z przenikaniem ciepła w stanie ustalonym. Metoda kalibrowanej i osłoniętej skrzynki grzejnej.
13. PN-EN 13829, Właściwości cieplne budynków. Określenie przepuszczalności powietrznej budynków, Metoda pomiaru ciśnieniowego z użyciem wentylatora.
14. Szargut J. Modelowanie numeryczne pól temperatury. Warszawa: WNT, 1992.
15. Tso C P, Yo S C M, Poh H J, Jolly P G. Experimental Study on the Heat and Mass Transfer Characteristics in Refrigerated Truck. *International Journal of Refrigeration* 2002; 25.
16. Umowa o międzynarodowych przewozach szybko psujących się artykułach żywnościowych i o specjalnych środkach transportu przeznaczonych do tych przewozów. Dziennik Ustaw PRL, załącznik do numeru 49, poz. 254 z dnia 26 października 1984 roku.
17. Zertal-Menia N, Moureh J, Flick D. Modelisation simplifiee des coulements d’air dans un vehicule frigorifique. *International Journal of Refrigeration* 2002; 25.
18. Zwierzycki W, Bieńczak K (red.). Pojazdy chłodnicze w transporcie żywności. Poznań: SYSTHERM D. Gazińska S.J., 2006.

m and the outer diameter $D = 0.070$ m (the reducer contraction is $\beta = 0.36$). The installation was made of PCV pipes.

4. Recapitulation

The works presented in this paper and carried out at The Division of Food Machines and Transport of Poznań University of Technology were applied in practise. The calculation programme was used, among others, to settle disputable matters in relations: carrier – shipper – insurance company. The programme is also very useful during the training process designed for carriers as it allows to model the real situations which can take place during the food transport, especially for long distances.

On the other hand, procedures aiding the improvement of the insulated bodies were applied in firms producing them and servicing. Some of the firms express the opinion that their competitiveness grew due to the application of the procedures.

Dr inż. Krzysztof BIEŃCZAK

Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych
 Politechnika Poznańska
 ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, Polska
 e-mail: krzysztof.bieniczak@put.poznan.pl
