

Karolina Perz, Łukasz Mamoński, Aleksandra Rewolińska

Wpływ barwy nadwozia chłodniczego na jego parametry cieplne

JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2018.458

Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

W artykule omówione zostało zagadnienie wpływu barwy nadwozi chłodniczych na parametry cieplne izolacji. Przeprowadzono badania gęstości strumienia ciepła przepływającego przez okładziny metalowe, a następnie na ich podstawie obliczono ich współczynnik przenikania ciepła. W dalszej części artykułu przeanalizowano wpływ barwy nadwozia na przewodność cieplną ścianki trójwarstwowej składającej się z izolacyjnego rdzenia (styropian) i dwóch zewnętrznych okładzin o różnej barwie. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że barwa nadwozia wpływa na wartość przenikającego przez nie ciepła.

Słowa kluczowe: nadwozie chłodnicze, współczynnik przenikania ciepła, barwa nadwozia chłodniczego.

Wstęp

Odpowiednia barwa pojazdu ma na celu zminimalizowanie temperatury zewnętrznej części ścian. Barwa nadwozia ma bardzo duże znaczenie w przypadku transportów chłodniczych obsługiwanych odpowiednio przystosowanymi do tego celu pojazdami. Nie od dziś wiadomo, że ciemne barwy nagrzewają się szybciej od jaśniejszych. Nadwozia chłodnicze są wyposażone w odpowiednie izolacje termiczne, które chronią je przed wpływem wyższej temperatury otoczenia. Nie bez powodu większość z nich jeździ w kolorze białym. Spotyka się pojazdy chłodnicze oklejone w różnych barwach, najczęściej firmowych, co teoretycznie przekłada się na większe straty w bilansie cieplnym pojazdu.

Umowa ATP [1] czyli „umowa o międzynarodowych przewozach szybko psujących się artykułów żywnościowych i o specjalnych środkach transportu przeznaczonych do tych przewozów”, przyjęta w Genewie dnia 1 września 1970r. stanowi dokument wyjściowy dla określenia warunków przewozu żywności, a także określa klasyfikację środków transportu przeznaczonych do jej przewozu. Głównym jej celem jest polepszenie jakości transportu artykułów żywnościowych w trakcie trwania przewozu.

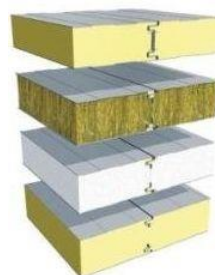
Umowa ta określa warunki, które należy spełniać aby zachować jakość, zdrowotność oraz smak artykułów spożywczych podczas trwania transportu. Umowa określa również jakie produkty żywnościowe są podatne na popsucie, temperatury w jakich należy przewozić te towary. Warunki dotyczące temperatur nie ograniczają się tylko do świeżych produktów. Określone są również temperatury podczas przewozu żywności zamrożonej i głęboko zamrożonej. Pojazdy przeznaczone do tych przewozów muszą spełniać warunki określone w tej umowie, takie jak konkretne warunki termoizolacyjne. Pojazd musi być również wyposażony w źródło chłodu lub ciepła, które zapewni uzyskanie oraz utrzymanie temperatury panującej wewnątrz nadwozia na właściwym poziomie. Opisuje również warunki i sposoby badań pojazdów przeznaczonych do tych przewozów a ponadto sposób oznaczania pojazdów. Badania, których głównym celem jest określenie właściwości termoizolacyjnych pojazdu, polegają na określeniu globalnego współczynnika przenikania ciepła przez ściany zabudowy.

Celem pracy jest wykazanie wpływu barwy zewnętrznych ścian nadwozia chłodniczego na jego nagrzewanie się promieniowaniem słonecznym.

1 Nadwozie chłodnicze

1.1 Budowa nadwozia chłodniczego

Zadaniem nadwozi chłodniczych do transportu żywności jest zapewnienie odpowiedniej izolacyjności pomiędzy wnętrzem komory, a jej otoczeniem, dlatego też wykonane są z płyt izolacyjnych, najczęściej trójwarstwowych. Składają się one z dwóch konstrukcyjnych okładzin i izolacyjno – konstrukcyjnego rdzenia wykonanego z materiału o odpowiednich właściwościach cieplnych (rys. 1). Zadaniem warstwy wypełniającej (rdzenia) jest zapewnienie całej konstrukcji odpowiedniej izolacyjności. Okładziny chronią materiał izolacyjny przede wszystkim przed działającymi wymuszeniami zewnętrznymi zapewniając płycie odpowiednią wytrzymałość.



Rys. 1. Budowa płyty izolacyjnej [2]

Właściwości tych materiałów sprawiają, że są one bardzo interesującym tworzywem konstrukcyjnym o szerokich właściwościach praktycznego zastosowania. Przy produkcji pojazdów chłodniczych jako warstwa izolacyjna stosowane są trzy podstawowe rodzaje izolacji, należą do nich:

1. spieniony polistyren,
2. pianka poliuretanowa,
3. pianka winylowa (spieniony PCW).

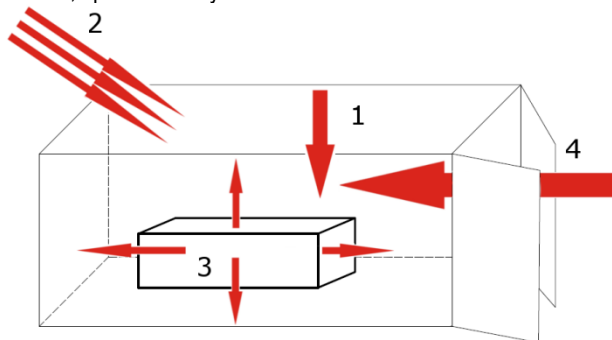
Najpopularniejszą jednocześnie będąc najlepszą w aktualnym czasie izolacją termiczną stosowaną w nadwoziach jest pianka poliuretanowa. Zastosowanie tego materiału dokonało przełomu w produkcji nadwozi chłodniczych, umożliwiła przejście z produkcji tradycyjnej nadwozi, na nowoczesne samonośne nadwozia chłodnicze. Swoją popularność pianka poliuretanowa zawdzięcza przede wszystkim dzięki dobrym właściwościom cieplnym. Okładziny płyt często są wykonywane z blachy, laminatu, itp.

1.2 Bilans cieplny nadwozia chłodniczego

Podstawą do prawidłowego zaprojektowania układu chłodniczego zabudowy chłodniczej jest bilans cieplny. Aby prawidłowo dobrać odpowiedni agregat chłodniczy należy dokonać odpowiednich obliczeń. Jednym z ważnych aspektów które należy uwzględnić jest bilans cieplny podczas transportu. Należy w takim wypadku uwzględnić wiele rodzajów strat, najważniejsze z nich (rys.2) to:

1. Przenikanie ciepła przez ściany nadwozia,
2. Wpływ promieniowania słonecznego,
3. Ciepło wytwarzane przez produkt,

4. Strumień ciepła dostający się do wnętrza nadwozia wraz z powietrzem, spowodowany otwieraniem drzwi.



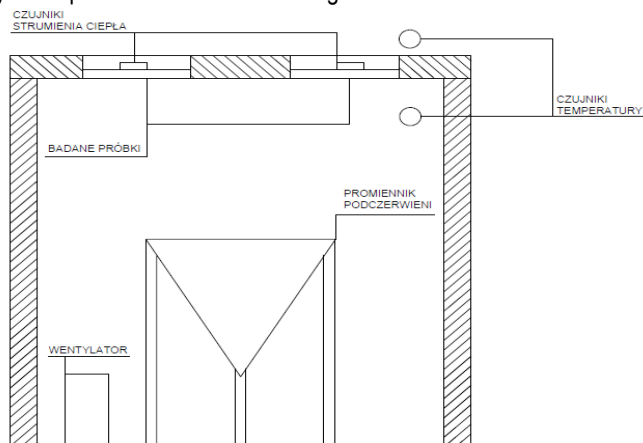
Rys.2 Źródła ciepła w bilansie cieplnym: 1- przenikanie ciepła powietrza z zewnątrz, 2- ciepło promieniowania słonecznego, 3- ciepło produktu, 4- ciepło dostarczane podczas otwierania drzwi 4

W rzeczywistości tylko dwa czynniki mają największy wpływ na bilans ciepła, jest to przenikanie ciepła od powietrza przez izolację nadwozia oraz straty wywołane przez otwieranie drzwi. Udział tych czynników w bilansie cieplnym to około 85 do 95% , podczas wykonywania transportu. W słoneczny dzień wpływ promieniowania w bilansie strat ciepła może wynieść nawet powyżej 20%[4]. Wartość ta będzie zależna od mocy promieniowania słonecznego docierającego do Ziemi, a konkretnie do jej powierzchni. Określa to stała słoneczna, czyli ilość energii promieniowania słonecznego przed wejściem do atmosfery, a jej średnia wartość wynosi 1361 [W/m²]. Innym parametrem mającym wpływ na straty ciepła w nadwoziu jest wartość albedo, czyli zdolność powierzchni do odbijania promieniowania słonecznego. Jest to stosunek ilości odbitego do pochłoniętego promieniowania słonecznego. W przypadku nawozi chłodniczych istotne jest, aby wartość ta była możliwie największa, dlatego większość pojazdów jest koloru białego, gdzie albedo wynosi około 60%. W transporcie można spotkać również pojazdy z szyldami reklamowymi oraz całe nadwozia w różnych kolorach. Skrajnym przypadkiem będzie nadwozie chłodnicze w kolorze, bądź nadwozie które zostało całkowicie obklejone kolorowymi barwami firmowymi.

2 Badanie współczynnika przenikania ciepła izolacji chłodniczej

2.1 Stanowisko pomiarowe

Celem przeprowadzonych badań było określenie stopnia wpływu barwy badanego obiektu na jego nagrzewanie się, na skutek oddziaływania promieniowania słonecznego.



Rys. 3 Schemat stanowiska pomiarowego

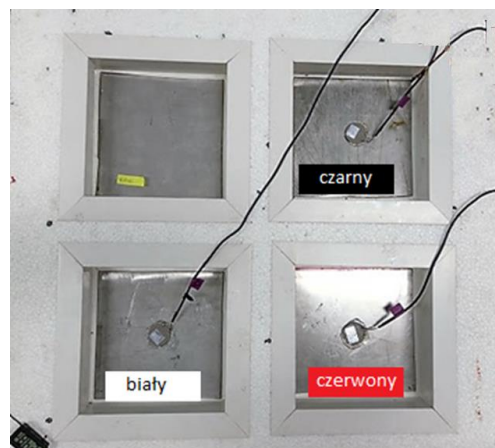
Rysunek 3 przedstawia schemat stanowiska pomiarowego. Zbudowane jest ono z płyt ze spienionego polistyrenu, w formie prostopadłościanu. Górna część, tzw. przykrycie, umożliwia wstawienie próbek. Stanowisko ma imitować skrzynkę grzejną, umożliwiającą wytworzenie różnicy temperatur pomiędzy wnętrzem skrzynki a otoczeniem. W środku znajduje się promiennik podczerwieni, który symuluje promieniowanie słoneczne. Jako promiennik podczerwieni została użyta lampa o mocy 150 W. Została ona ustawiona w taki sposób, aby bezpośrednio oddziaływała na badane próbki. Dodatkowo w środku zamontowano mały wentylator który zapewnia ruch powietrza wewnątrz stanowiska, celem lepszego rozprowadzania powstałego ciepła.

2.2 Obiekt badań

Obiektem badań jest próbki o wymiarach 200x200x1 mm wykonane z blachy nierdzewnej, oraz ze spienionego polistyrenu. Próbkę z blachy symulowały zewnętrzną okładzinę warstwy izolacyjnej pojazdu, a polistyren stanowił rdzeń zapewniający odpowiednie właściwości cieplne konstrukcji. Próbkę z blachy na potrzeby badań zostały obklejone samoprzylepną folią samochodową w trzech kolorach – białym, czerwonym i czarnym (rys. 4). Parametry folii samoprzylepnej:

1. Materiał – PVC,
1. Odporność na promieniowanie UV,
2. Grubość – 105 μm ,
3. Odporność na temperatury od -38°C do 135°C,
4. klej akrylowy.

Odpowiednio przygotowane próbki zostały umieszczone w wyznaczonych miejscach w stanowisku pomiarowym (rys. 4).



Rys. 4 Stanowisko pomiarowe podczas trwania badania, na rysunku uwzględniono kolor blach

Pomiary strumienia ciepła wykonane zostały za pomocą rejestratora firmy Almeno, wyposażonego w trzy czujniki do pomiaru strumienia ciepła. Czujnik ten jest uniwersalnym miernikiem cyfrowym, który umożliwia szereg różnych pomiarów w zależności od podłączonych czujników. Temperatury (wewnętrzna oraz zewnętrzna) zostały zarejestrowane przez termometry cyfrowe.

2.3 Przebieg badań i wyniki pomiarów

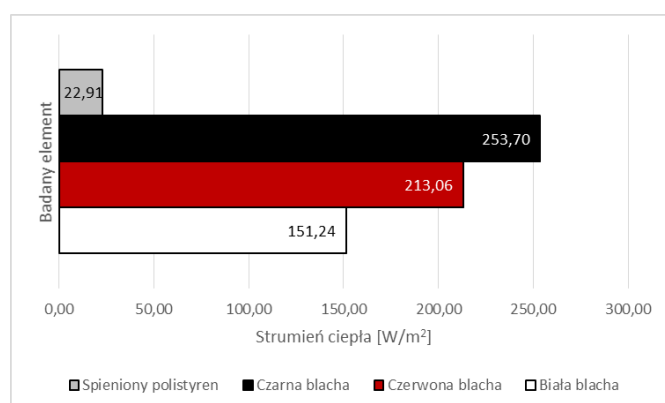
Pomiary dokonywane na stanowisku pomiarowym dotyczyły przewodności cieplnej materiałów, pomiaru parametru gęstości strumienia ciepła. Jako pierwsze zostały wykonane pomiary dla blach oklejonych folią w barwach odpowiednio białym, czerwonym oraz czarnym. Czujniki zostały przyklejone do blach za pomocą specjalnej pasty silikonowej. Pomiary wykonywane były przez 5 dni. Każdego dnia stanowisko było uruchamiane, następnie blachy były wygrzewane przez 8 godzin przy wykorzystaniu promiennika podczerwieni, a następnie rejestrowano wartości mierzone. Następnie stanowisko

było wyłączane i uruchamiane po wyrównaniu wszystkich temperatur (blach, wewnętrznej oraz otoczenia). Przedstawione wyniki (tab. 1) zostały uśrednione, a ich wartości zostały wykorzystane w dalszych obliczeniach.

Tab.2. Wyniki pomiarów strumienia ciepła dla izolacji

Numer pomiaru	Temperatura Zewnętrzna [° C]	Temperatura wewnętrzna [° C]	Gęstość strumienia ciepła q [W/m ²]
1	24,10	50,10	23,10
2	23,00	50,15	22,20
3	23,70	50,10	23,55
4	23,10	50,05	22,90
5	24,1	50,10	22,80
Średnia:	23,60	50,10	22,91

Wartości strumienia ciepła wszystkich badanych materiałów zostały przedstawione na rys. 5. Analizując przedstawione na nim dane, można zauważyć znaczącą różnicę przenikania ciepła pomiędzy polistyrenem, a blachą (co jest faktem niezaprzeczalnym). Jednocześnie wyniki pomiarów dotyczące próbek wykonanych blachy okazały się zgodne z przewidywaniami, tzn. powierzchnia o ciemniejszej barwie lepiej absorbuje promieniowanie niż powierzchnia o jaśniejszej barwie. Różnica strumienia ciepła pomiędzy poszczególnymi barwami okleiny rośnie około 50 W/m²K zaczynając od barwy białej.



Rys. 5 Zestawienie średnich wartości gęstości strumienia ciepła badanych próbek.

W drugiej kolejności analogicznie do pomiarów oklejonych blach, wykonano również pomiary izolacji cieplnej w postaci spienionego polistyrenu, z tą różnicą że wygrzewanie materiału trwało 24 godziny ze względu na grubość materiału. Średnie wartości strumienia ciepła w tym przypadku zostały uśrednione, wyniki pomiarów (tab. 2) zostały wykorzystane w dalszych obliczeniach.

Tab. 1 Wyniki pomiarów strumienia ciepła oraz temperatury dla obklejonych blach

Numer pomiaru	Temperatura zewnętrzna [°C]	Temperatura wewnętrzna [°C]	Gęstość strumienia ciepła q [W/m ²]		
			Biała	Czerwona	Czarna
1	23,20	50,00	158,30	200,20	250,70
2	22,60	50,10	190,00	230,00	270,30
3	24,50	50,10	130,00	210,00	250,10
4	23,00	50,10	152,70	205,60	247,00
5	24,10	50,20	125,20	219,50	250,40
Średnia:	23,48	50,10	151,24	213,06	253,70

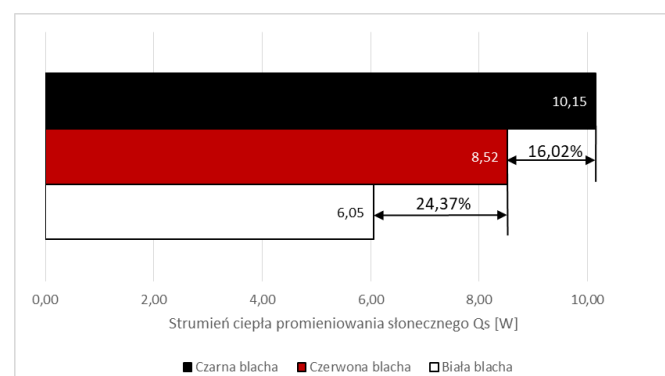
Na podstawie wyników uzyskanych z badań wykonane zostały obliczenia strumienia ciepła przenikającego przez przegrody i wyznaczono współczynnik promieniowania słonecznego zaabsorbowanego przez powierzchnię. Otrzymane wartości współczynników absorpcyjności porównano z wartościami wskazanymi w pracy [5], które dla poszczególnych barw wynoszą:

- $a_{1c} = 0,9$ – barwy ciemne,
- $a_{1s} = 0,7$ – barwy szare, zielone, itp.,
- $a_{1j} = 0,5$ – barwy jasne (biała).

Otrzymane w wyniku eksperymentu wartości tego współczynnika wykazują dużą zgodność z wartościami przedstawionymi w literaturze.

Tab.3. Wyniki obliczeń parametrów izolacyjności próbek

Materiał	Gęstość strumienia ciepła [W/m ²]	Strumień ciepła [W]	Współczynnik przenikania ciepła [W/m ² K]	Współczynnik absorpcyjności
Blacha Czarna	257,70	10,15	9,68	0,90
Blacha Czerwona	213,06	8,52	8,00	0,76
Blacha Biała	151,24	6,05	5,68	0,54
Styropian	22,91	0,92	0,86	-



Rys. 6 Zestawienie wyników obliczeń strumienia ciepła promieniowania słonecznego

Analizując powyższe wyniki obliczeń, można wywnioskować, że wpływ barwy zabudowy chłodniczej ma istotny wpływ na strumień ciepła promieniowania słonecznego Q_s , przepływający przez izolację. Warto zauważyć że wartości obliczeń między skrajnymi barwami (białą i czarną) różnią się od siebie o około 40% (rys.6). Oznacza to, że nadwozia wykończone czarną zabudową pochłaniają większą ilość ciepła, co wpływa znacznie na zwiększenie przepływającego przez nie strumienia ciepła o około 40%, niż pojazdy chłodnicze z zabudową barwy białej, a w przypadku nadwozia barwy czerwonej (różnobarwnej), zmiana wartości strumienia ciepła wyniesie 24% w stosunku do barwy białej. Im większa powierzchnia wymiany ciepła

w danym kolorze na powierzchni zabudowy, tym większa ilość ciepła przeniknie do wnętrza (zwiększy się współczynnik przewodzenia ciepła).

W następnym kroku na podstawie uzyskanych wyników wyznaczono wartości współczynników przenikania ciepła dla zestawu izolacyjnego, składającego się z rdzenia w postaci polistyrenu o grubości 0,06 m i dwóch okładzin wykonanych z blachy stalowej. Okładziny zewnętrznej części izolacji przyjmują odpowiednio barwy – białą, czerwoną i czarną – jej grubość wynosi 0,002 m. Do wyznaczenia współczynnika przenikania ciepła izolacji trójwarstwowej wykorzystano zależność [5]:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (1)$$

gdzie:

α_1 , α_2 – współczynniki przejmowania ciepła na powierzchniach zewnętrznych izolacji,

λ – przewodność cieplna poszczególnych warstw,

δ – grubość poszczególnych warstw.

Wyniki obliczeń zostały przedstawione w tabeli nr 4.

Tab. 4. Wartości współczynnika przenikania ciepła zestawów izolacyjnych

Zestaw izolacyjny	Współczynnik przenikania ciepła [W/m ² K]
Blacha biała + styropian + blacha biała	0,64
Blacha biała + styropian + blacha czerwona	0,66
Blacha biała + styropian + blacha czarna	0,68

Wyznaczone wartości współczynników przenikania ciepła ścian warstwowych wykazały różnice zależne od barwy zewnętrznej okładziny. Analizując wyniki umieszczone w tabeli można zauważyć, że wpływ barwy okładziny nie jest już tak znaczący jak w przypadku pomiaru gęstości strumienia ciepła samej blachy, jednak należy pamiętać, że głównym elementem zabezpieczającym przed utratą ciepła w takim zestawie jest izolacyjny rdzeń (w tym przypadku styropian), który spełnił swoje zadanie. Okładzina zewnętrzna o barwie białej będzie generowała mniejsze zapotrzebowanie energetyczne wynikające z zapewnienia odpowiedniej temperatury wewnątrz nadwozia chłodniczego przez agregat, niż okładzina o barwie czarnej. Zatem istotne jest zwracanie uwagi na czystość nadwozia jak i na ograniczanie treści reklamowych do minimum.

Podsumowanie

Na podstawie analizy stanu wiedzy i przeprowadzonych badań można stwierdzić że:

1. Wykazano związek między barwą próbek a ich nagrzewaniem się promieniowaniem podczerwonym.
2. Wartość gęstości strumienia ciepła dla barwy czarnej była o około 60% większa niż dla barwy białej, co jest istotną różnicą, mającą wpływ na zapotrzebowanie energetyczne nadwozia.
3. Barwa ścian nadwozia ma wpływ na współczynnik przenikania ciepła k. Barwy ciemne absorbują więcej promieniowania, dlatego dla

takiej samej wartości współczynnika oraz strumienia ciepła promieniowania słonecznego, ilość energii cieplnej przenikającej do wnętrza nadwozia będzie różna w zależności o barw zewnętrznych.

4. Podczas projektowania nadwozia chłodniczego należy pamiętać o tym, aby do minimum ograniczyć wpływ warunków zewnętrznych, których jednym z nich jest promieniowanie słoneczne. Wpływ takiego promieniowania można ograniczyć przez stosowanie odpowiedniej izolacji termicznej oraz dobrać jasną barwę zewnętrzną.
5. Pamiętać należy, że dokonane pomiary na stanowisku są jedynie symulacją warunków rzeczywistych. Zostawia to otwarte drzwi do kontynuacji rozważań na temat poruszony w pracy poprzez dokonanie badań przedstawionych w pracy na obiektach rzeczywistych w trakcie ich eksploatacji.

Bibliografia:

1. Umowa o międzynarodowych przewozach szybko psujących się artykułów żywnościowych i o specjalnych środkach transportu przeznaczonych do tych przewozów (ATP)
2. <http://www.romanek.pl/oferta/hale-magazyny/plyta-warstwowa>
3. Góral D., Kluza F., Kozłowiec K., Bilans strat ciepła naczepy chłodniczej jako podstawa do prawidłowego doboru agregatu chłodniczego, Acta Sci. Pol., Technica Agraria 12(1-2) 2013
4. Cengel Y.A., Heat & mass transfer: a practical approach. Tata McGraw-Hill Education, 2007
5. Kwaśniewski S.(red): Pojazdy Izotermiczne i Chłodnicze, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1997

Influence of the color of the refrigeration body on its thermal parameters

The article discusses the issue of the impact of the color of refrigeration bodies on the thermal parameters of insulation. The tests of the density of heat flux flowing through metal claddings were carried out, and then their heat transfer coefficient was calculated on their basis. In the further part of the article, the influence of the body color on the thermal conductivity of a three-layer wall consisting of an insulating core (expanded polystyrene) and two external claddings of different color was analyzed. On the basis of the obtained results, it can be stated that the color of the body affects the value of heat that passes through it.

Keywords: refrigeration body, heat transfer coefficient, color of the refrigeration body.

Autorzy:

dr inż. **Karolina Perz** – Politechnika Poznańska, Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, Zakład Maszyn Spożywczych i Transportu Żywności,

mgr inż. **Łukasz Mamoński** – Politechnika Poznańska, Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, Zakład Maszyn Spożywczych i Transportu Żywności,

dr inż. **Aleksandra Rewolińska** - Politechnika Poznańska, Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, Zakład Maszyn Spożywczych i Transportu Żywności.