

Mariusz KOSOBUDZKI

Hubert GRZENIA*

DOI: https://doi.org/JoT2021_05

WSTĘPNA ANALIZA WYMAGAŃ STAWIANYCH UKŁADOM KLIMATYZACJI W POJAZDACH KOŁOWYCH WYSOKIEJ MOBILNOŚCI

Słowa kluczowe: *układ klimatyzacji, samochód wysokiej mobilności, kabina pasażerska, przepływ ciepła, komfort*

W artykule przedstawiono wstępną analizę wymagań dotyczących mocy urządzeń układu klimatyzacji odpowiedzialnych za wytworzenie strumieni ciepła do ogrzewania i chłodzenia wnętrza kabiny pasażerskiej pojazdu kołowego wysokiej mobilności w różnych warunkach ruchu. Punktem wyjścia do analizy było zbudowanie modelu matematycznego opisującego strumienie ciepła oddziaływujące na kabinę pasażerską. W obliczeniach analitycznych uwzględniono dane geometryczne kabiny oraz rodzaj materiałów wykorzystanych do jej wytworzenia. Obliczenia wykonano dla kilku reprezentatywnych wariantów użytkowania pojazdu, otrzymując graniczne wartości mocy układu chłodzenia i ogrzewania wnętrza kabiny.

1. WSTĘP

Komfort cieplny jest pojęciem opisującym stan zrównoważonego bilansu cieplnego, w którym człowiek nie odczuwa nadmiernego ciepła ani zimna. Efektem osiągnięcia tego stanu jest odczucie komfortu, które powoduje, że przebywanie w tym stanie ma ograniczony wpływ na pojawiające się zmęczenie, czy dekoncentrację. Osiągnięcie komfortu cieplnego w czasie przebywania we wnętrzu pojazdu jest możliwe dzięki wyposażeniu go w układ klimatyzacji, który pozwala w sposób płynny utrzymać temperaturę na pożądanym poziomie, w zależności od indywidualnych preferencji pasażera. Jeszcze do niedawna uważano układy klimatyzacji wnętrza pojazdu za wyposażenie luksusowe, które nie należy traktować jako konieczne. Postrzeganie to zmienia się i tego typu układy pojawiają się już nie tylko w samochodach osobowych klasy premium, ale w pojazdach roboczych, w tym w pojazdach wojskowych. Przykładem takiego pojazdu, który

* Koło Naukowe Pojazdów Niekonwencjonalnych OFF-ROAD, Politechnika Wroclawska

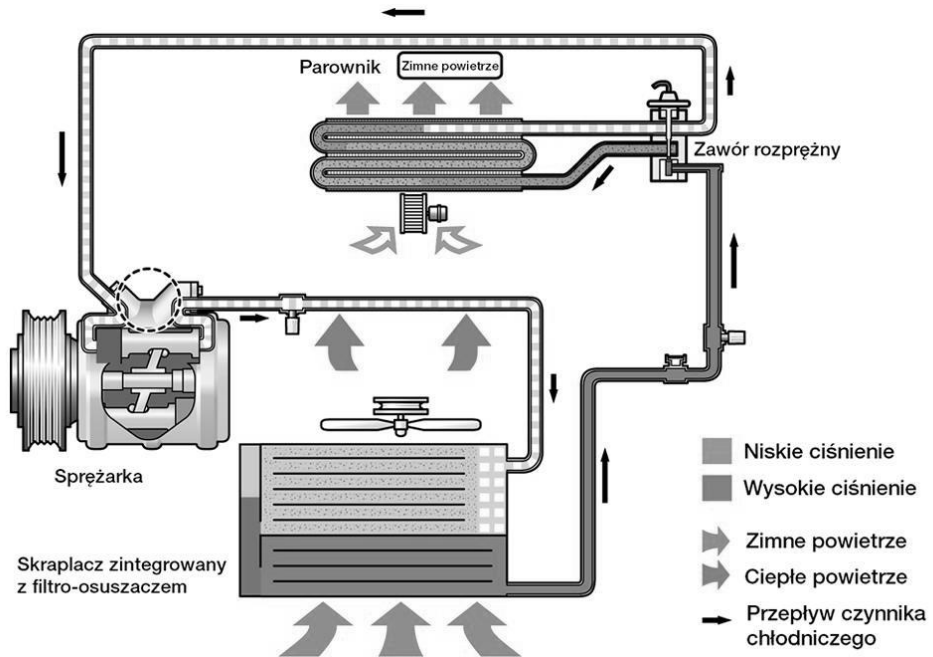
seryjnie wyposażony jest w układ klimatyzacji kabiny pasażerów jest Jelcz 442.32, przedstawiony na rysunku 3. Wojsko, jako główny użytkownik tych pojazdów zauważyło, że praca kierowcy samochodu wysokiej mobilności poruszającego się w warunkach terenowych, często na otwartej przestrzeni, z małymi prędkościami, w sytuacji, kiedy pojazd pomalowany jest w ciemne kolory maskujące może powodować utrzymywanie się latem wysokich temperatur we wnętrzu kabiny, co prowadzi wprost do przyspieszonego zmęczenia kierowcy i pasażera. Podobnie negatywny wpływ na warunki pracy załogi pojazdu ma zbyt niska temperatura w jego wnętrzu. Te zmieniające się w szerokim zakresie warunki temperaturowe otoczenia powodują, że układ klimatyzacji w takim pojeździe musi charakteryzować się odpowiednio dużą skutecznością działania zarówno w trybie chłodzenia, jak i w trybie nagrzewania.

Sprawność działania układu klimatyzacji zależy od wielu czynników, między innymi od rozmieszczenia podzespołów układu w kabinie, ale również od ilości osób przebywających w klimatyzowanym wnętrzu, które stanowią źródło ciepła [1]. Wpływ na sprawność klimatyzacji ma również budowa kabiny (kształt, kolor malowania, powierzchnia przeszklenia), rodzaj materiałów wykorzystanych do izolacji termicznej i akustycznej, ale również ilość i rozmieszczenie wlotów i wylotów powietrza oraz możliwość indywidualnego dostosowania strumienia powietrza oraz jego kierunku.

2. DZIAŁANIE UKŁADU KLIMATYZACJI W POJAZDACH WYSOKIEJ MOBILNOŚCI

Działanie układu klimatyzacji w trybie chłodzenia jest oparte na odwróconym cyklu Carnota. Jest to cykl termodynamiczny obejmujący dwie przemiany izotermiczne oraz dwie przemiany adiabatyczne. W układzie klimatyzacji można wskazać na dwa obiegi, tj. wysokiego i niskiego ciśnienia. Medium podlegającym przemianom termodynamicznym jest gaz (najczęściej R134a lub HFO-1234yf). W układzie, poza gazem, znajduje się również olej smarujący sprężarkę (najczęściej glikol polialkilenowy – PAG lub poliestrowy – POE), który miesza się z gazem. Do głównych elementów układów klimatyzacji należą: sprężarka (kompresor), skraplacz (chłodnica) z wentylatorem, osuszacz, zawór rozprężający, parownik. Sprężony w sprężarce gaz (wzrost ciśnienia i temperatury) przepływa do skraplacza, gdzie oddaje do otoczenia część swojego ciepła i obniża swoją temperaturę. Dalej gaz przepływa przez osuszacz, w którym pozbawiany jest wilgoci i trafia do zaworu rozprężającego. Tutaj następuje zmniejszenie ciśnienia gazu, czemu towarzyszy spadek jego temperatury. Rozprężony gaz o niskiej temperaturze przepływa przez parownik, gdzie odbiera ciepło od powietrza krążącego w kabinie. Gaz po nagrzaniu się w parowniku trafia ponownie do sprężarki. Sche-

mat układu klimatyzacji oraz przepływ czynnika roboczego w układzie został przedstawiony na rysunku 1.



Rys.1. Schemat układu klimatyzacji pracującego w trybie chłodzenia [2]

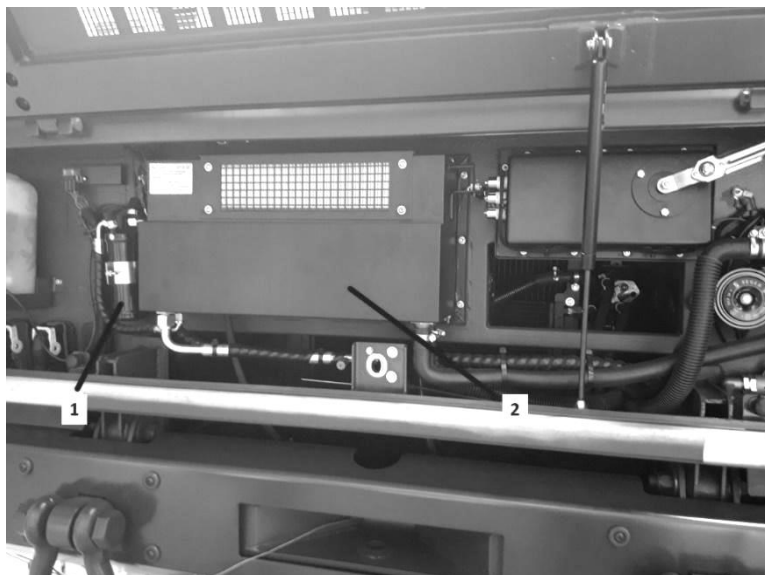
Fig. 1. Diagram of the air conditioning system in cooling mode [2]

Działanie układu klimatyzacji w trybie grzania polega na doprowadzeniu do nagrzewnicy umieszczonej we wnętrzu kabiny cieczy z układu chłodzenia silnika. Powietrze przepływające przez nagrzewnicę podnosi swoją temperaturę nagrzewając przestrzeń pasażerską. Jest również dodatkowy układ nagrzewania wnętrza kabiny, kiedy pojazd ma unieruchomiony silnik. Wtedy za wytwarzanie ciepła odpowiada niezależny układ podgrzewania, który w sposób kontrolowany spala paliwo i z wytworzonego ciepła podgrzewa ciecz w układzie chłodzenia silnika oraz powietrze we wnętrzu kabiny

Utrzymanie odpowiedniego komfortu cieplnego polega m.in. na sterowaniu strumieniem powietrza przepływającego przez parownik (nagrzewnicę) lub naprzemienne włączanie i wyłączanie sprężarki (zaworu doprowadzającego ciecz z układu chłodzenia silnika). W przypadku rozbudowanych układów klimatyzacji, funkcję ręcznego sterowania przejmują układy automatycznej regulacji.

Efektywność pracy układu klimatyzacji zależy zatem nie tylko od właściwego doboru jego podzespołów, ale również od prawidłowego ich rozmieszczenia w pojeździe. W przypadku omawianego pojazdu rozmieszczenie tych podzespołów

jest ograniczone m.in. względami ergonomii, technologii produkcji kabiny pasażerskiej, wymaganiom wojskowego systemu eksploatacji, czy możliwością wykonania kabiny w wersji opancerzonej. Przykład umieszczenia zintegrowanego zespołu klimatyzacji (ogrzewanie i chłodzenie) oraz osuszacza przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Widok na zintegrowany moduł klimatyzacji po podniesieniu maskownicy. 1 – osuszacz, 2 – zintegrowany zespół klimatyzacji

Fig. 2. View of the integrated air conditioning module after lifting the grille. 1 - dehumidifier, 2 - integrated air-conditioning unit

Poza czynnikami technicznymi, na działanie układu klimatyzacji wpływają również warunki ruchu pojazdu. Biorąc pod uwagę typ pojazdu, można je podzielić na dwie grupy. Pierwsza z nich obejmuje ruch pojazdu po drogach twardych, na których, w zależności od klasy drogi, osiąga się prędkości średnie od 20 do 80 km/h. Względnie małe obciążenie silnika oraz duże prędkości jazdy ułatwiają utrzymanie niskiej temperatury w kabinie pasażerskiej latem, ale zwiększają wymagania do układu ogrzewania w warunkach zimowych. Druga grupa warunków ruchu dotyczy dróg nieutwardzonych i bezdroży, na których prędkości jazdy mieszczą się w przedziale od kilku do kilkudziesięciu km/h [3]. Podczas jazdy po bezdrożach, prędkości ruchu są bardzo nieduże (kilka km/h), a obciążenie silnika, generujące gwałtowny wzrost temperatury samego silnika oraz w układzie chłodzenia i wydechowym, a pośrednio również temperatury osłon i całej kabiny, bardzo duże. Ponadto, wymagania w zakresie maskowania pojazdu wymuszające malowanie pojazdu w ciemne kolory, które dobrze pochłaniają strumień ciepła

z otoczenia powodują, że warunki pracy do układu klimatyzacji w warunkach letnich są ekstremalnie trudne.

3. IDENTYFIKACJA STRUMIENI CIEPŁA WPŁYWAJĄCYCH NA EFEKTYWNOŚĆ DZIAŁANIA UKŁADU KLIMATYZACJI

Do oceny działania układu klimatyzacji pojazdu można wykorzystać model bilansu ciepła, którego najważniejsze elementy składowe zostały przedstawione graficznie na rysunku 3.



Rys. 3. Strumienie ciepła uwzględniane w analizie efektywności układu klimatyzacji pojazdu wysokiej mobilności

Fig. 3. Heat fluxes included in the analysis of the efficiency of the high-mobility vehicle air-conditioning system

Wymagany zakres zmian temperatury we wnętrzu kabiny pasażerskiej, wynikający z przyjętych cech konstrukcyjnych pojazdu, jego podzespołów, liczności pasażerów oraz warunków ruchu można przedstawić wykorzystując zależność [4]:

$$\Delta T_i = \frac{\dot{Q}_{Tot}}{m_a c_a + DTM} \Delta t \quad (1)$$

gdzie:

ΔT_i - zmiana temperatury wewnątrz kabiny pasażerskiej, K,

\dot{Q}_{Tot} - całkowity strumień ciepła, W,

m_a - masa powietrza znajdująca się w kabinie, kg,

c_a - ciepło właściwe powietrza w kabinie, J/kgK,

DTM - pojemność cieplna wszystkich obiektów znajdujących się w kabinie z wyłączeniem masy powietrza, J/K,

Δt - czas odpowiadający jednostkowemu przyrostowi temperatury, s,

Strumień ciepła \dot{Q}_{Tot} można przedstawić zatem jako sumę strumieni częściowych:

$$\dot{Q}_{Tot} = \dot{Q}_{Met} + \dot{Q}_{Dir} + \dot{Q}_{Dif} + \dot{Q}_{Ref} + \dot{Q}_{Amb} + \dot{Q}_{Exh} + \dot{Q}_{Eng} + \dot{Q}_{Ven} + \dot{Q}_{AC} \quad (2)$$

gdzie:

\dot{Q}_{Met} - strumień ciepła metabolizmu pasażerów,

\dot{Q}_{Dir} - strumień ciepła promieniowania bezpośredniego,

\dot{Q}_{Dif} - strumień ciepła promieniowania odbitego od chmur,

\dot{Q}_{Ref} - strumień ciepła promieniowania odbitego od podłoża,

\dot{Q}_{Amb} - strumień ciepła zależny od temperatury otoczenia,

\dot{Q}_{Exh} - strumień ciepła z układu wydechowego,

\dot{Q}_{Eng} - strumień ciepła od silnika,

\dot{Q}_{Ven} - strumień ciepła z układu przewietrzania,

\dot{Q}_{AC} - strumień ciepła z układu klimatyzacji.

3.1. STRUMIEN CIEPŁA Z METABOLIZMU PASAŻERÓW

Do wyznaczenia wartości cząstkowego strumienia ciepła spowodowanego metabolizmem kierowcy i pasażerów można wykorzystać zależność:

$$\dot{Q}_{Met} = \sum_{pas} M A_{Du} \quad (3)$$

gdzie:

M - współczynnik opisujący aktywność metaboliczną kierowcy i pasażerów; przyjmuje się dla kierowcy wartość 85 W/m^2 , a dla pasażera 55 W/m^2 . Powierzchnię ciała, m^2 , przez którą jest wypromieniowane ciepło z metabolizmu A_{Du} można oszacować z zależności:

$$A_{Du} = 0.202 W^{0.425} H^{0.725} \quad (4)$$

gdzie:

W - ciężar osoby, m,

H - wzrost osoby, m.

3.2 STRUMIEŃ CIEPŁA PROMIENIOWANIA

Do wyznaczenia wartości strumienia ciepła pochodzącego z promieniowania \dot{Q}_{Rad} , które uwzględnia promieniowanie bezpośrednie (słoneczne) \dot{Q}_{Dir} , promieniowanie odbite od chmur \dot{Q}_{Dif} oraz promieniowanie odbite od podłoża \dot{Q}_{Ref} można wykorzystać zależność [5]:

$$\dot{Q}_{Rad} = \sum_{Surfaces} S\alpha(i_{Dir}\cos\theta + i_{Dif} + i_{Ref}) \quad (5)$$

gdzie:

S – powierzchnia przyjmująca strumień ciepła, m^2 ,

α – współczynnik absorpcji ciepła przez powierzchnię,

θ – kąt pomiędzy wektorem padania strumienia ciepła o płaszczyznę opromieniowaną, $^\circ$,

i_{Dir} , i_{Dif} , i_{Ref} – jednostkowe strumienie ciepła, W/m^2 . Wartości tych strumieni można wyznaczyć z zależności:

$$i_{Dir} = \frac{A}{\exp\left(\frac{B}{\sin\beta}\right)} \quad (6)$$

gdzie:

A , B – stałe, przyjmowane na podstawie [5],

β – kąt wysokości zależny od miejsca i czasu wystąpienia analizowanej ekspozycji pojazdu, $^\circ$,

$$i_{Dif} = C \cdot i_{Dir} \frac{1+\cos\gamma}{2} \quad (7)$$

gdzie:

C – stała, przyjmowana na podstawie [5],

γ – kąt zawarty pomiędzy normalną do powierzchni przyjmującej strumień ciepła o poziomem,

$$i_{Ref} = (i_{Dir} + i_{Dif}) \cdot \rho_g \frac{1-\cos\gamma}{2} \quad (8)$$

gdzie:

ρ_g – współczynnik odbicia strumienia ciepła od podłoża,

3.2. STRUMIEŃ CIEPŁA ZALEŻNY OD TEMPERATURY OTOCZENIA

Do oszacowania strumienia ciepła trafiającego do wnętrza kabiny, wynikającego z różnicy temperatur na zewnątrz i wewnątrz kabiny, można wykorzystać zależność, której wartość zależy od prędkości powietrza (jazdy) [4]:

$$\dot{Q}_{Amb} = \sum_{Surfaces} SU(T_0 - 2T_s + T_i) \quad (9)$$

gdzie:

T_0 – średnia temperatura zewnętrzna, K,

T_i – średnia temperatura wewnętrzna, K,

T_s – średnia temperatura powierzchni warstwy materiału, K,

U – jednostkowa przewodność cieplna, W/m^2K , (odwrotność jednostkowej rezystancji cieplnej R), którą można wyznaczyć z zależności [4]:

$$U = \frac{1}{R} \text{ gdzie } R = \frac{1}{h_o} + \frac{\lambda}{k} + \frac{1}{h_i} \quad (10)$$

gdzie:

h_o – współczynnik konwekcji materiału na zewnętrznej powierzchni kabiny, W/m^2K ,

h_i – współczynnik konwekcji materiału wewnątrz kabiny, W/m^2K ,

k – przewodność cieplna materiału, W/mK ,

λ – grubość warstwy materiału, m,

Wartość h_o można wyznaczyć z zależności [1]:

$$h_{o,i} = 0.6 + 6.64\sqrt{V} \quad (11)$$

gdzie:

V – prędkość powietrza, m/s. W obliczeniach przyjęto, że V jest równa prędkości pojazdu, a prędkość powietrza w kabinie wynosi zero.

3.3. STRUMIEŃ CIEPŁA OD UKŁADU WYDECHOWEGO

Do wyznaczenia wartości strumienia ciepła pochodzącego od układu wydechowego \dot{Q}_{Ext} , w którym spaliny mogą osiągać znaczne wartości temperatury, można wykorzystać zależność [3]:

$$\dot{Q}_{Ext} = S_{Ext}U(T_{Ext} - T_i) \quad (12)$$

gdzie:

S_{Ext} – powierzchnia przyjmująca bezpośrednio strumień ciepła od układu wydechowego, m^2 ,

T_{Ext} – temperatura spalin (stopnie Celsjusza), którą można oszacować z zależności [6]:

$$T_{Ext} = 0,138RPM - 17 \quad (13)$$

gdzie:

RPM – obroty wału korbowego silnika, 1/min,

3.4. STRUMIEŃ CIEPŁA POCHODZĄCY OD SILNIKA

Do wyznaczenia wartości strumienia ciepła pochodzącego od silnika \dot{Q}_{Eng} można wykorzystać zależność [4]:

$$\dot{Q}_{Eng} = S_{Eng}U(T_{Eng} - T_i) \quad (14)$$

gdzie:

S_{Eng} – powierzchnia przyjmująca bezpośrednio strumień ciepła od silnika, m²,

T_{Eng} – temperatura silnika (stopnie Celsjusza), którą można oszacować na podstawie [6]:

$$T_{Eng} = -2 \cdot 10^{-6}RPM^2 + 0,0355RPM + 77,5 \quad (15)$$

3.5. STRUMIEŃ CIEPŁA Z UKŁADU PRZEWIETRZANIA

Do wyznaczenia wartości strumienia ciepła pochodzącego od silnika \dot{Q}_{Ven} można wykorzystać zależność [4]:

$$\dot{Q}_{Ven} = \dot{m}_{Ven}(e_o - e_i) \quad (16)$$

gdzie:

\dot{m}_{Ven} – strumień powietrza przepływający przez układ przewietrzania, kg/s,

e_o – wartość entalpii powietrza na zewnątrz kabiny, J/kg,

e_i – wartość entalpii powietrza wewnątrz kabiny, J/kg.

Wartość entalpii można oszacować z zależności [7]:

$$e_{o,i} = 1006 \cdot T + (2,5 \cdot 10^6 + 1770 \cdot T) \cdot X \quad (17)$$

gdzie:

T – temperatura powietrza, K,

X – wilgotność względna powietrza, %, którą można wyznaczyć uwzględniając wilgotność względną W przy ciśnieniu powietrza P w analizowanym otoczeniu do powietrza nasyconego przy ciśnieniu P_s w temperaturze T:

$$X = 0,62198 \frac{W \cdot P_s}{100 \cdot P - W} \quad (18)$$

3.6. STRUMIEŃ CIEPŁA (ZAPOTRZEBOWANY) Z UKŁADU KLIMATYZACJI

Do wyznaczenia wartości strumienia ciepła z układu klimatyzacji \dot{Q}_{AC} , przyjmując jako cel działania układu utrzymanie stanu równowagi termicznej we wnętrzu kabiny pasażerskiej (znak „minus” oznacza potrzebę obniżenia temperatury (chłodzenie) w warunkach letnich, a „plus” potrzebę grzania w warunkach zimowych, można wykorzystać równanie [6]:

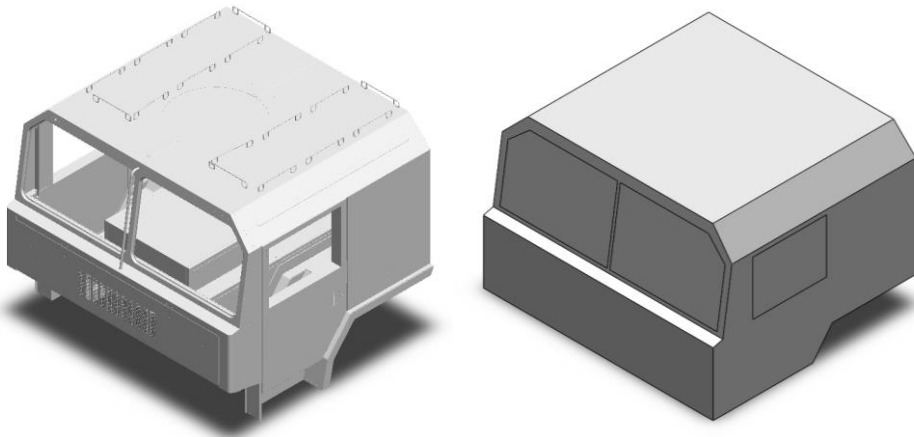
$$\frac{\dot{Q}_{AC}}{(m_{ca}c_a + DT^M)(T_i - T_{comf})} = - \frac{(\dot{Q}_{Met} + \dot{Q}_{Dir} + \dot{Q}_{Dif} + \dot{Q}_{Ref} + \dot{Q}_{Amb} + \dot{Q}_{Exh} + \dot{Q}_{Eng} + \dot{Q}_{Ven})}{t_c} \quad (19)$$

gdzie:

T_{comf} – temperatura odczuwana jako komfortowa (docelowa), K,
 t_c – czas działania układu do osiągnięcia temperatury T_{comf} , s.

4. MODEL KABINY PASAŻERSKIEJ POJAZDU

Na potrzeby symulacji działania układu klimatyzacji w pojeździe Jelcz 442.32 w różnych warunkach użytkowania, został zbudowany uproszczony model kabiny pasażerskiej na podstawie modelu CAD, przedstawiony na rys. 4.



Rys. 4. Model CAD oraz uproszczony model geometryczny kabiny pasażerskiej samochodu Jelcz 442.32

Fig. 4. CAD model and simplified geometrical model of the Jelcz passenger compartment 442.32

Wielkości charakteryzujące uproszczony model kabiny, wykorzystane w obliczeniach, zostały zebrane w tabeli 1.

Tab. 1. Zestawienie danych charakteryzujących uproszczony model kabiny
Tab. 1. Summary of data characterizing the simplified model of the cabin

Nr powietrzni	Materiał	Grubość	Powierzchnia	Miejsce
S1	stalowa płyta z wypełnieniem filcowym	40mm	4,72 m ²	dach wraz z skosami
S2	stalowa płyta z wypełnieniem filcowym oraz płyta PVC	100mm	3,88 m ²	powierzchnia boczna wraz z drzwiami
S3	stalowa płyta z wypełnieniem filcowym oraz płyta PVC	30mm	0,41m ²	powierzchnia czołowa kabiny
S4	stalowa płyta z wypełnieniem filcowym	40mm	2,62m ²	powierzchnia tylna kabiny
S5	szkło	5mm	0,84m ²	szyby w drzwiach kabiny
S6	szkło	5mm	1,6m ²	szyba przednia
S7	stalowa płyta z matą termoizolacyjną oraz wibroizolacyjną	20mm	3,75m ²	izolacja osłony silnika
S8	stalowa płyta z matą termoizolacyjną oraz wibroizolacyjną	20mm	0,42m ²	izolacja układu spalinowego

5. MODELOWANIE WARUNKÓW UŻYTKOWANIA POJAZDU

Do zamodelowania warunków użytkowania pojazdu wykorzystano dane odnoszące się do: lokalizacji miejsca jazdy pojazdu, rodzaju podłoża, wilgotności względnej powietrza wewnątrz i na zewnątrz kabiny, temperatury komfortowej we wnętrzu kabiny, wydajności układu przewietrzania, temperatury zewnętrznej, prędkości jazdy pojazdu oraz liczby osób w kabinie. Wybrane warianty warunków użytkowania zestawiono w tabelach od 2 do 5. Zakresy temperatur zewnętrznych przyjęto na podstawie instrukcji użytkowania pojazdu.

Tab. 2. Wariant 1.

Tab. 2. Variant 1.

Data	01.07.2020 godzina 12:00
Lokalizacja	51.7592° N, 19.4560° E (Polska, Łódź)
Grunt	Droga szutrowa
Wilgotność powietrza wewnątrz pojazdu	40%
Wilgotność powietrza na zewnątrz pojazdu	50%
Temp. wnętrza	293 K(21 C)
Strumień powietrza z układu wentylacji	0,01 m ³ /s
Temp. otoczenia	313 K(50 C)
Prędkość pojazdu	0 m/s
Liczba osób w pojeździe	2

W wariantcie 1 pojazd jest zatrzymany (silnik pracuje: obroty biegu jałowego n=600 1/min)

Tab.3. Wariant 2.

Tab.3. Variant 2.

Data	01.07.2020 godzina 12:00
Lokalizacja	51.7592° N, 19.4560° E (Polska, Łódź)
Grunt	Droga szutrowa
Wilgotność powietrza wewnątrz pojazdu	40%
Wilgotność powietrza na zewnątrz pojazdu	50%
Temp. wnętrza	293 K(21 C)
Strumień powietrza z układu wentylacji	0,01 m ³ /s
Temp. otoczenia	313 K(50 C)
Prędkość pojazdu	20 m/s
Liczba osób w pojeździe	2

Lokalizacja pojazdu odpowiada miejscowości Łódź (środek Polski), kiedy pojazd jest w ruchu i przemieszcza się w kierunku na południe.

Tab.4. Wariant 3.

Tab.4. Variant 3.

Data	01.01.2020 godzina 12:00
Lokalizacja	51.7592° N, 19.4560° E (Polska, Łódź)
Grunt	Śnieg
Wilgotność powietrza wewnątrz pojazdu	40%
Wilgotność powietrza na zewnątrz pojazdu	50%
Temp. wnętrza	293 K(21 C)
Strumień powietrza z układu wentylacji	0,01 m ³ /s
Temp. otoczenia	243 K(-30 C)
Prędkość pojazdu	0 m/s
Liczba osób w pojeździe	2

W wariancie 3 pojazd i silnik są unieruchomione.

Tab. 5. Wariant 4.

Tab.5. Variant 4.

Data	01.01.2020 godzina 12:00
Lokalizacja	51.7592° N, 19.4560° E (Polska, Łódź)
Grunt	Śnieg
Wilgotność powietrza wewnątrz pojazdu	40%
Wilgotność powietrza na zewnątrz pojazdu	50%
Temp. wnętrza	293 K(21 C)
Strumień powietrza z układu wentylacji	0,01 m ³ /s
Temp. otoczenia	243 K(-30 C)
Prędkość pojazdu	20 m/s
Liczba osób w pojeździe	2

6. WYNIKI SYMULACJI

Na podstawie przyjętych modeli obliczeniowych, po uwzględnieniu danych geometrycznych i materiałowych, wykonano obliczenia zidentyfikowanych strumieni ciepła do przewidywanych, wybranych warunków użytkowania pojazdu. Wyniki zestawiono w tabeli 6.

Tab. 6. Uzyskane wyniki z wykonanych symulacji

Tab. 6. Obtained results from performed simulations

	T=30°C		T=-30°C	
	V=0[m/s]	V=20[m/s]	V=0[m/s]	V=20[m/s]
\dot{Q}_{Met}	258,14	258,14	258,14	258,14
\dot{Q}_{Rad}	190,11	210,01	205,81	205,81
\dot{Q}_{Amb}	120,96	468,7323	-424,96	-796,94
\dot{Q}_{Ext}	67,21	67,21	67,21	67,21
\dot{Q}_{Eng}	86,68	86,68	86,68	86,68
\dot{Q}_{Ven}	303,34	303,33	-505,56	-505,56
\dot{Q}_{Tot} [W]	1026,44	1394,107	-312,68	-684,66

7. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzone wstępne analizy wykazały, że w przypadku pojazdu kołowego wysokiej mobilności, w zależności od warunków otoczenia oraz parametrów jazdy, strumień ciepły, oddziaływujący na kierowcę i pasażera, który ma zapewnić utrzymanie optymalnej temperatury [8] na poziomie 20 stC powinien zmieniać swoją wartość w zakresie od 0 do około 1400W w przypadku chłodzenia oraz od 0 do około 700W w przypadku ogrzewania. Wartości te charakteryzują strumienie ciepła bezpośrednio klimatyzujące wnętrze kabiny i nie uwzględniają strat mocy w wymiennikach ciepła, kanałach dystrybucyjnych, przesłonach, złączach, itp. Są to wartości znaczne, co pokazuje, że prawidłowe zaprojektowanie układu klimatyzacji i jego układu regulacji jest zadaniem złożonym. W warunkach budownictwa, klimatyzowanie 1 m³ objętości powietrza wymaga około 40W [9]. Sprawność psychofizyczna człowieka zmienia się w zależności od temperatury, osiągając optimum w 20 stC, ale spada o 50% przy wzroście temperatury do 33 stC [8]. Otrzymane wstępne wyniki bilansu energii zostaną wykorzystane do przeprowadzenia szczegółowej analizy efektywności działania układu klimatyzacji pojazdu kołowego wysokiej mobilności w warunkach ruchu drogowego i off-road.

LITERATURA:

- [1] INGERSOLL J., KALMAN T., MAXWELL L., NIEMIEC R., *Automobile Passenger Compartment Thermal Comfort Model - Part I: Compartment Cool-Down/Warm-Up Calculation*, SAE Technical Paper 920265, 1992
- [2] <https://motofocus.pl> (dostęp: 23.04.2021 r.)
- [3] TALBI M., AGNEW B., *Energy Recovery from Diesel Engine Exhaust Gases for Performance Enhancement and Air Conditioning*, Applied Thermal Engineering, 1(5): 5-10, 2002
- [4] FAYAZBAKSH M., BAHRAMI M., *Comprehensive Modeling of Vehicle Air Conditioning Loads Using Heat Balance Method* SAE Technical Paper 2013-01-1507, 2013
- [5] ISO Standard 8996, Rev.2004: Ergonomics of the Thermal Environment - Determination of Meta-bolic Heat Production
- [6] KHAYYAM H., KOUZANI A. Z., HU E. J., *Reducing Energy Consumption of Vehicle Air Conditioning System by an Energy Management System*, Presented in IEEE The 4th International Green Energy Conference, China, 2009
- [7] SINGH A. K., SINGH H., SINGH S. P., SAWHNEY R. L., *Numerical Calculation of Psychrometric Properties on a Calculator*, Building and Environment, 37(4):415-419, 2002. DOI:10.1016/S0360-1323(01)00032-4
- [8] GWÓŹDŹ B., *Człowiek w środowisku wielkoprzemysłowym i elementy ergonomii*, Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej, Traczyk Wł., Trzebisk A., PZWŁ, Warszawa, 2014
- [9] https://www.daikin.pl/pl_pl/literature.html (dostęp: 06.05.2021 r.)
- [10] *ASHRAE Handbook of Fundamental*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning, Atlanta, GA, 1988

PRELIMINARY ANALYSIS OF THE REQUIREMENTS FOR AIR CONDITIONING SYSTEMS IN HIGH MOBILITY WHEELED VEHICLES

Key words: *air conditioning system, high mobility vehicle, passenger compartment, heat flow, comfort.*

The article presents a preliminary analysis of the power requirements of the air-conditioning system devices responsible for the generation of heat fluxes for heating and cooling the interior of the passenger compartment of a high-mobility wheeled vehicle in various traffic conditions. The starting point for the analysis was building a mathematical model describing the heat fluxes affecting the passenger compartment. The analytical calculations took into account the geometric data of the compartment and the type of materials used for its production. The calculations were made for several representative variants of the vehicle use, obtaining the limit values of the power of the cooling and heating system of the compartment interior.

