

## **CERCETĂRI CU PRIVIRE LA DEZVOLTAREA DE SISTEME INOVATIVE PENTRU ÎMBUNĂTĂȚIREA CONFORTULUI TERMIC DIN HABITACLU, AVÂND CA REZULTAT UN SISTEM NECONVENȚIONAL DE CONDIȚIONARE A AERULUI DIN HABITACLU**

Mariana IVĂNESCU, Cătălin NEACȘU, Ionel VIERU, Florin ȘERBAN

**UNIVERSITATEA DIN PITEȘTI**

### **REZUMAT**

Climatizarea și condiționarea aerului din autoturisme, influențează atât confortul termic cât și problemele legate de economie, ecologie și siguranța circulației. În această lucrare se prezintă un sistem neconvențional de răcire, respectiv încălzire a aerului ce utilizează termoelemente și este amplasat în partea din spate a automobilului, realizând astfel creșterea confortului termic pentru pasagerii din spate.

### **INTRODUCERE**

Ridicarea gradului de confort din habitacul constituie o sarcină importantă a constructorilor de automobile și una din condiții este de a realiza un sistem de ventilare, încălzire și condiționare care să asigure pasagerilor din interiorul automobilului "senzația de confort".

Un sistem de încălzire, ventilare și climatizare asigură parametri de confort termic în habitacul automobilului, prin intermediul unor circuite de aer care fac posibil schimbul de căldură, necesar pentru reglarea temperaturii interioare, umidității relative și cantității de aer, precum și degivrarea suprafețelor vitrate.

Senzația de confort termic este asigurată pe de o parte, de anumiți factori legați de schimbul normal de căldură dintre om și mediul ambiant și care constituie *confortul termic*, iar pe de altă parte de puritatea aerului, nivelul de zgomot, gradul de ionizare a aerului etc [1].

Confortul termic este definit în ISO 7730 [2] ca fiind "*Acea condiție a minții care exprimă satisfacție față de mediul termic*". Este o definiție pe care cele mai multe persoane o pot agreea, deoarece fiind o definiție senzorială și nu cantitativă, nu poate fi ușor convertită în parametri fizici.

În prezent, confortul termic este obținut cu sisteme de climatizare și condiționare a aerului ce utilizează în mare parte substanțe sau gaze ce se doresc a fi reduse sau interzise conform Protocolului de la Kyoto: Directiva 2006/40/CE („Directiva MAC”) [3] și Regulamentul CE nr. 842/2006 („Regulamentul privind gazele F”) [4].

Dispozitivele care utilizează efectul Peltier sunt ca o mică pompă de caldură. Aplicând o tensiune continuă redusă la bornele unui asemenea dispozitiv, putem extrage căldura de la nivelul unei joncțiuni și să o transferăm celeilalte joncțiuni, pe baza efectului Peltier. Făcând referire la un modul termoelectric, una dintre fețele modulului se răcește în timp ce fața opusă se încălzește. Sensul fluxului de căldură vehiculat prin modul poate fi modificat ușor prin simpla inversare a sensului curentului de alimentare [5,6,7].

Extragerea căldurii, importantă pentru comportamentul modulului Peltier, se poate face prin convecție sau conducție, mediile răcite putând fi solide (sistem placă rece), lichide sau gazoase. Schimbătoarele de căldură diferă astfel mult pentru cele trei cazuri, fiind necesar un studiu complex, care să optimizeze constructiv și funcțional aceste dispozitive [8, 9].

Utilizarea elementelor termoelectrice pentru soluții de climatizare în domeniul automobilelor datează încă din anul 1958, fiind testate de către KELK Ltd. Acest echipament experimental nu a avut capacitatea de a răci întregul interior al unui automobil, în schimb a realizat distribuția aerului rece în imediata apropiere a feței pasagerului. Comentariu unui pasager a fost "suficient de rece pentru a nu deschide geamurile!" [10].

Un studiu privind utilizarea elementelor termoelectrice de răcire (TEC) a fost proiectat, dezvoltat și testat de către Manoj Raut S. și Dr. P. V. Walke de la "G.H.Raisoni Colege Off Engg", Nagpur, India [11]. Pentru acest dispozitiv de răcire termoelectric au fost folosit șase dispozitive „TEC”, care sunt prinse între radiatoare pentru disiparea aerului rece și cald.

Pentru a evalua aplicabilitatea modulelor termoelectrice în automobile au fost dezvoltate modele bazate pe date experimentale și utilizarea unor programe de simulare pentru regimuri tranzitorii, de C.S Junior, N.C. Strupp, N.C. Lemke și J. Koehler de la "Institut fuer Thermodynamik, TU Braunschweig, Germania [12].

O altă soluție de utilizare a elementelor termoelectrice în domeniul climatizării automobilelor a fost dezvoltată și patentată de către Gilles Elliot, Vincent Feuillard, David Roy din Franța [13], reprezentând un sistem de încălzire și răcire a cabinei unui vehicul implementat pe pavilionul autovehiculului.

Un alt sistem termoelectric numit *modul Peltier Amerigon* a fost dezvoltat de către Amerigon Corporation (AC) [14]. Acest sistem termoelectric funcționează după cum urmează: aerul din cabina vehiculului este aspirat din spatele scaunului, iar pe baza intrărilor de la controlerele individuale ale

scaunelor și de la senzorii de temperatură, unitatea va adăuga sau va elimina căldură fluxului de aer.

În lucrarea “Localized Cooling for Human Comfort” by Wang et al. [15], este prezentat un studiu fundamental al răcirii localizate unde este investigată experimental poziționarea aeratoarelor și impactul acestora asupra confortului termic. În urma acestor studii au fost create strategii de condiționare a habitaculului.

Prezentarea modului de proiectare și testare al modulelor termoelectrice utilizate pentru răcirea/încălzirea aerului localizată în anumite zone ale habitaculului sunt prezentate în lucrarea “ Energy Efficiency Impact of Localized Cooling” by Wang et al. [16]. Soluția propusă este aceea de a avea 28 de module termoelectrice dispuse în interiorul autovehiculului care trebuie controlate și coordonate într-un mod care să permită răcirea sau încălzirea aerului pentru pasagerii din habitacul cu scopul obținerii unui confort termic ridicat.

În lucrarea „Development of a temperature-controlled car-seat system utilizing thermoelectric device” [17], autorii prezintă un sistem de climatizare termoelectrică implementat la nivelul scaunului unui autovehicul folosind module Peltier. Pentru controlul temperaturii a fost dezvoltat un sistem eficient de reglare a temperaturii bazat pe un model matematic al sistemului termodinamic realizat.

Tot pe această temă au fost brevetate o serie de soluții interesante:

a) brevetul **US 2012/0079837 A1**[18] care se referă la un sistem de control al confortului termic într-un vehicul care include o pompă de căldură termoelectrică (modul termoelectric) având o buclă de control a temperaturii fluidului și în mod special la un astfel de sistem, în care eficiența energetică este îmbunătățită prin schimbul de energie termică între bucla de control a temperaturii și o a doua buclă de control a temperaturii fluidului care controlează temperatura componentei moto-propulsor.

b) brevetul **US2007/01017290 A1** [19] se referă la un sistem de aer condiționat amplasat în scaunul autoturismului care constă în formarea unui flux de curent de aer, folosind un sistem de suflare prin scaune.

Acest sistem de aer condiționat pentru scaunele automobilului cuprinde un ventilator principal, un schimbător pentru a trimite aerul la spătar, iar aerul având o temperatură controlată este transmis prin canalizațiile din scaun către ocupantul acestuia.

c) brevetul **US /20090000311 A1** [20] prezintă un sistem de climatizare suplimentar pentru automobile care permite încălzirea sau răcirea aerului din habitacul automobilului prin schimbarea polarității curentului ce alimentează un dispozitiv care funcționează pe baza efectului Peltier. Sistemul este gândit să funcționeze în mediile foarte reci sau foarte calde, până ce sistemele clasice de încălzire sau răcire ajung să funcționeze la capacitatea nominală. Se elimină

astfel întârzierea în distribuirea de aer cald sau rece, după caz, mărind astfel confortul termic al pasagerilor.

La momentul actual, sistemul de climatizare și condiționarea a aerului amplasat pe majoritatea autoturismelor este un sistem "single zone", adică un sistem care oferă un confort termic ridicat pentru partea din față a automobilului.

În această lucrare se prezintă un sistem suplimentar de condiționare a aerului pentru automobile care se bazează pe efectul Peltier și este amplasat în partea din spate a automobilului. Datorită efectului Peltier, acest sistem oferă avantajul răcirii aerului pe timpul verii, iar prin schimbarea polarității se obține încălzirea aerului din habitacul.

## NOȚIUNI TEORETICE CU PRIVIRE LA MIȘCAREA TURBULENTĂ A FLUIDELOR REALE

Structural, mișcarea turbulentă este determinată de suprapunerea unor mișcări de agitație a particulelor de fluid peste o mișcare medie. Deși mișcarea turbulentă este totdeauna nepermanentă, vitezele prezentând tot timpul fluctuații, se poate defini o mișcare medie turbulentă dacă viteza medie nu variază în timp și o mișcare medie turbulentă nepermanentă dacă viteza medie variază în timp [21, 22, 23].

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \nu \Delta \bar{u} + \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial}{\partial x} (-\rho \overline{u'u'}) + \frac{\partial}{\partial y} (-\rho \overline{v'u'}) + \frac{\partial}{\partial z} (-\rho \overline{w'u'}) \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} = Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + \nu \Delta \bar{v} + \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial}{\partial x} (-\rho \overline{u'v'}) + \frac{\partial}{\partial y} (-\rho \overline{v'v'}) + \frac{\partial}{\partial z} (-\rho \overline{w'v'}) \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{w}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial z} + \nu \Delta \bar{w} + \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial}{\partial x} (-\rho \overline{u'w'}) + \frac{\partial}{\partial y} (-\rho \overline{v'w'}) + \frac{\partial}{\partial z} (-\rho \overline{w'w'}) \right)$$

Ecuatiile (1) poartă numele de ecuațiile Navier-Stokes mediate de Reynolds. Acestea se găsesc în literatura de specialitate prescurtate **RANS**

(**Reynolds Averaged Navier-Stokes**), și sunt folosite pentru rezolvarea problemelor în care apar curgerile turbulente.

Ecuțiile RANS nu pot fi rezolvate fără introducerea unor informații cu privire la corelarea dintre diferiți termeni ce caracterizează curgerea vâscoasă și turbulentă. Acest lucru a dus la introducerea unor ipoteze semiempirice cu privire la tensiunile aparente.

Teoriile semiempirice ale mișcării turbulente sunt în prezent utilizate pentru rezolvarea aplicațiilor tehnice în domeniul curgerii fluidelor. Primele teorii au fost cele ale lungimii de amestec a lui Prandtl (1925) și a coeficientului de vâscozitate turbulentă a lui Boussinesq (1877).

Pentru a simplifica ecuațiile RANS, Boussinesq a introdus coeficientul de vâscozitate turbulentă  $\varepsilon_m$ , care are aceeași dimensiune cu vâscozitatea dinamică  $\eta$ .

Cele mai folosite metode pentru rezolvarea RANS sunt cele cu două ecuații, care ajută la determinarea coeficientului de vâscozitate turbulentă. Prin definiție, modelul cu două ecuații introduce încă două ecuații pentru a reprezenta proprietățile turbulente ale curgerii.

În continuare vom prezenta modelul k- $\varepsilon$  al lui Jones și Launder, acesta fiind unul dintre cele mai populare modele de rezolvare a problemelor de curgere turbulentă a fluidelor. În acest model, coeficientul de vâscozitate turbulentă are valoarea:

$$\varepsilon_m = \frac{C_\mu k^2}{\varepsilon} \quad (2)$$

unde:

- $C_\mu$  - reprezintă o constantă a modelului.
- $k$  - energia cinetică.
- $\varepsilon$  - rata de disipare.

Valorile lui  $k$  și  $\varepsilon$  sunt obținute din ecuațiile energiei cinetice turbulente scrisă astfel:

$$\frac{dk}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left[ \left( \nu + \frac{\varepsilon_m}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_k} \right] + \varepsilon_m \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \varepsilon \quad (3)$$

și din ecuația de disipare:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left[ \left( \nu + \frac{\varepsilon_m}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_k} \right] + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \varepsilon_m \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (4)$$

unde :

$$C_\mu = 0,09, \quad C_{\varepsilon 1} = 1,44, \quad C_{\varepsilon 2} = 1,92, \quad \sigma_k = 1,0, \quad \sigma_\varepsilon = 1,3$$

sunt constante ale modelului k- $\varepsilon$ .

## MODELAREA 3D ȘI SIMULAREA NUMERICĂ A SISTEMULUI DE CONDIȚIONARE A AERULUI

Utilizarea măsurătorilor și a programelor de simulare numerică, în faza de concepție este necesară pentru a înlătura costurile ulterioare, necesare modificărilor.

Modelarea 3D a sistemul neconvențional de condiționare a aerului cu termoelemente s-a realizat folosind programul CATIA V5. Modelul funcțional pentru sistemul de condiționare a aerului cu termoelemente este realizat în ansamblu din următoarele componente:

- două circuite hidraulice: unul pentru partea rece a sistemului, altul pentru partea caldă compuse din: schimbătoare de căldură (fig.1), ventilatoare (fig.2), conducte de legătură, pompe de recirculare a lichidului (fig.3, 6) și radiatoare din cupru (fig.4);
- termoelement (element Peltier) (fig.5, 6);
- elemente de fixare (arcuri suportți, șuruburi etc.) și componente electrice pentru alimentare și controlul funcționării sistemului (fig.6);

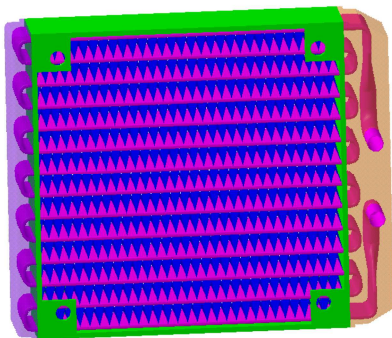


Fig. 1. Schimbător de căldură

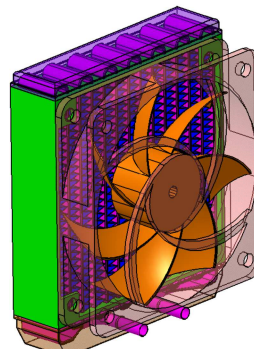


Fig. 2. Ansamblu ventilator - schimbător de căldură

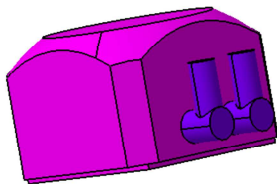


Fig. 3. Pompă de recirculare a lichidului – parte caldă/rece

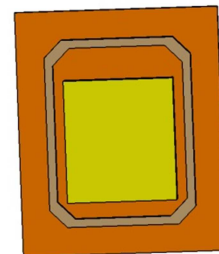
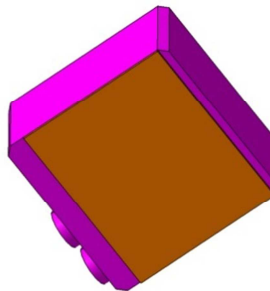


Fig. 4. Radiator din cupru



Fig. 5. Termoelement (element Peltier)

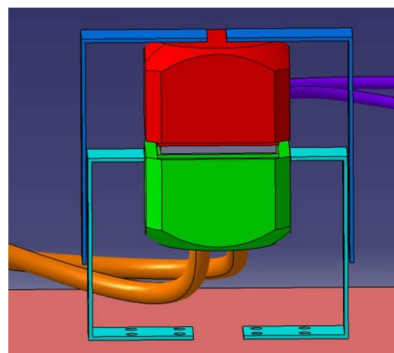


Fig. 6. Ansamblu pompe/ termoelemente

### SIMULAREA NUMERICĂ

Simularea numerică se realizează pentru evaluarea temperaturii aerului în sfertul de habitacul, zona spate, atunci când se utilizează un sistem suplimentar de răcire/încălzire a aerului. Acesta este amplasat în geamul lateral spate, așa cum se poate observa în figura 7, iar modelul geometric utilizat pentru calcul este prezentat în figura 8.

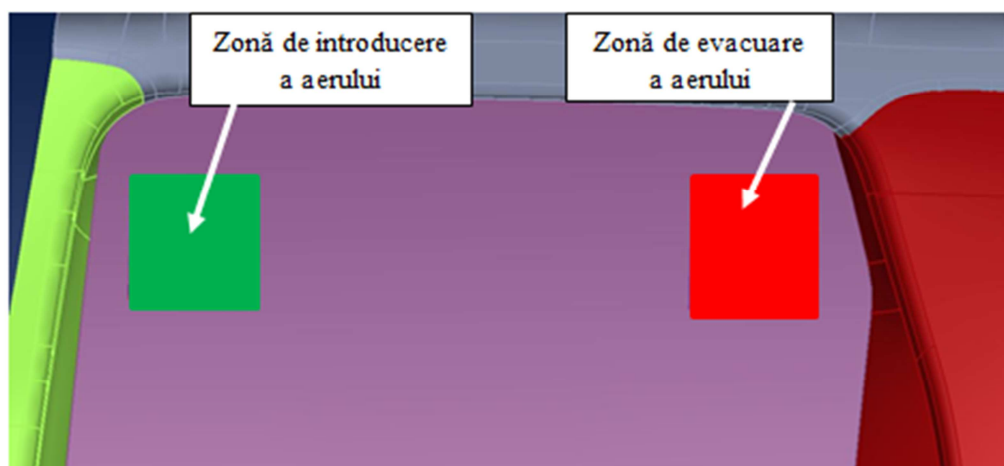
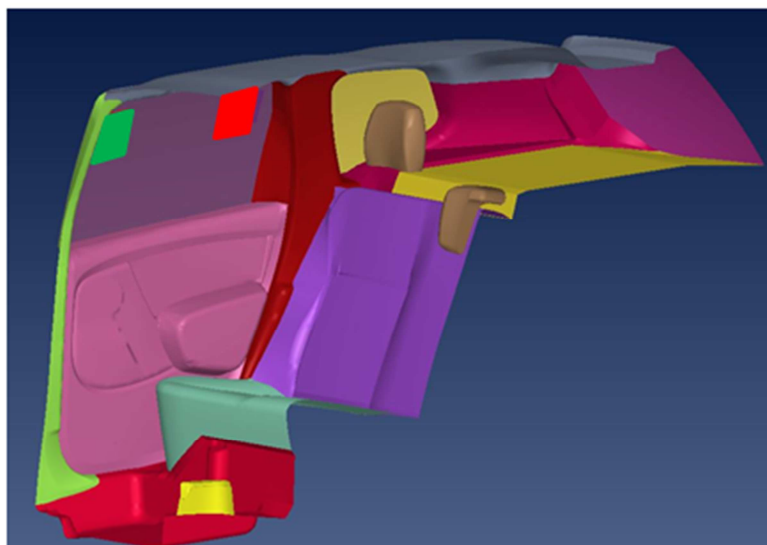


Fig. 7. Zonele de amplasare ale kit-ului de răcire/încălzire în geamul lateral spate

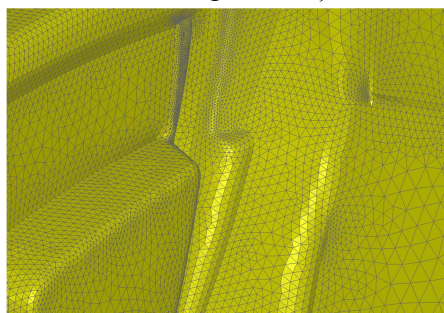


**Fig. 8. Modelul geometric utilizat pentru calcul**

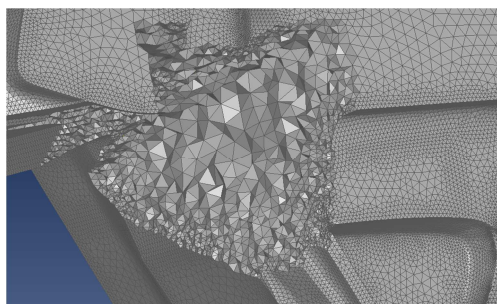
### DISCRETIZAREA MODELULUI

Pentru acest calcul se va folosi modelul geometric din figura 8, model ce reprezintă jumătatea din dreapta spate a habitacului.

După realizarea discretizării de suprafață, folosind programul ANSA și o structura cu elemente finite cu o dimensiune de aproximativ 5mm, s-a trecut la discretizarea volumului interior de calcul, iar detaliile acestei discretizări pot fi observate în figurile 9 și 10.



**Fig. 9. Detaliile discretizării suprafeței**



**Fig. 10. Detaliile discretizării volumului**

Numărul de elemente rezultate în urma discretizării este prezentat în tabelul 1.

Tabel 1

Discretizare	Număr de elemente
Suprafață	130 462
Volum	1 342 500



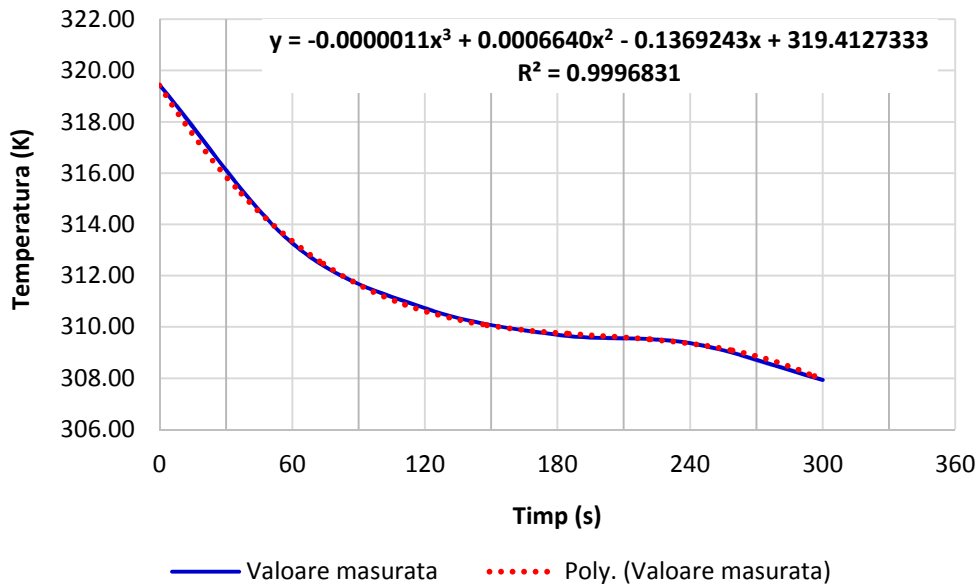
## CONDIȚIILE LA LIMITĂ

Pentru acest calcul, condițiile limită sunt reprezentate de debitul de aer introdus și elimitat de kit-ul de răcire, de temperatura inițială a aerului din habitacul și de temperatura aerului la ieșire din kit-ul de răcire determinată experimental. Debitul celor două ventilatoare este de  $12 \text{ dm}^3/\text{s}$ , iar temperatura inițială a aerului din habitacul este de aproximativ  $46^\circ\text{C}$ . Pentru temperatura aerului la ieșirea din kit-ul de răcire vom folosi valorile prezentate în tabelul 2, valori ce vor fi introduse în calculul cu Ansys Fluent cu ajutorul unei funcții definite de utilizator, **UDF (User Defined Function)**, ce va fi determinată cu ajutorul programului Excel. Această funcție va determina evoluția temperaturii la ieșirea din aerator în funcție de intervalul de timp.

**Tabel 2. Valoarea temperaturii aerului la ieșirea din grila aeratorului**

Timp [s]	T_c1 [°C]	Timp [s]	T_c1 [°C]
0	46,28	360	34,85
60	40,11	420	34,99
120	37,58	480	35,05
180	36,54	540	34,98
240	36,22	600	34,87
300	34,78		

Din tabelul 2 se poate observa că temperatura la ieșirea din aerator scade în primele 300 de secunde de la  $46,3^\circ\text{C}$  la  $34,8^\circ\text{C}$ , apoi rămâne aproximativ constantă la această valoare. Astfel, funcția UDF care va fi utilizată în FLUENT va fi folosită doar primele 300 de secunde de simulare, apoi valoarea temperaturii rămânând constantă. În figura 11 se poate observa graficul pentru primele 300 de secunde și funcția ce va fi folosită mai apoi în UDF-ul din FLUENT.



**Fig.11. Evoluția în timp a temperaturii la ieșirea din aerator**

Pentru funcția UDF din Fluent vom realiza o buclă de tip «IF » care va fi condiționată de valoarea timpului t. Pentru valori mai mici de 300 de secunde, valoarea temperaturii va fi calculată cu ajutorul funcției de mai jos, iar pentru valori mai mari de 300 de secunde, valoarea temperaturii va fi egală cu 34,8°C.

$$T = -0,0000011 \cdot t^3 + 0,0006640 \cdot t^2 - 0,1369243 \cdot t + 319,4127333 \quad (5)$$

Parametri mediului ambiant pentru testul experimental sunt prezentate în tabelul 3.

**Tabel 3**

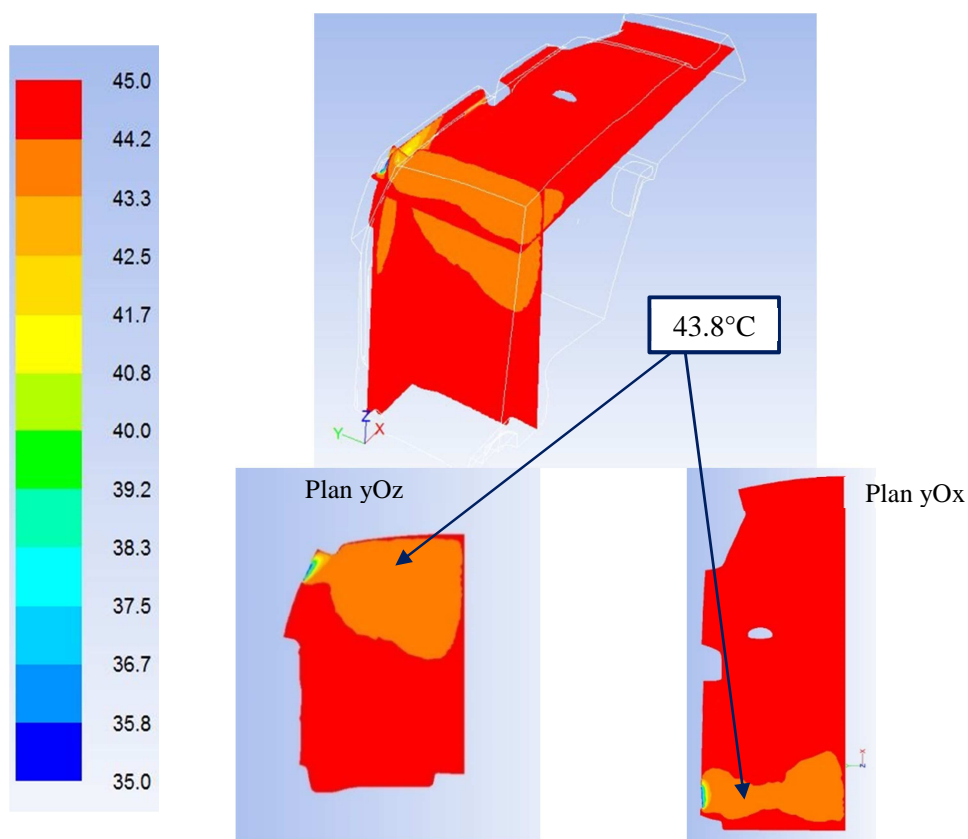
Parametri mediului ambiant		
Temperatura exterioară	-	T <sub>ext</sub> = 37,4 °C
Temperatura interioară	-	T <sub>int.</sub> = 46 °C
Umiditatea relativă	-	RH = 33,5%

## REZULTATELE CALCULULUI CU ANSYS FLUENT

În urma calculului efectuat cu programul Ansys Fluent au rezultat următoarele valori pentru temperatura din habitacul prezentate analitic în tabelul 4 și reprezentate grafic în figurile 12 și 13.

**Tabel 4. Valoarea temperaturii aerului în habitacul**

Timp [s]	T_c_int [°C]	Timp [s]	T_c_int [°C]
0	46,0	360	43,7
60	45,1	420	43,6
120	44,8	480	43,5
180	44,5	540	43,5
240	44,3	600	43,4
300	43,8		



**Fig. 12. Variația temperaturii din habitacul la momentul  $t = 300$  s**

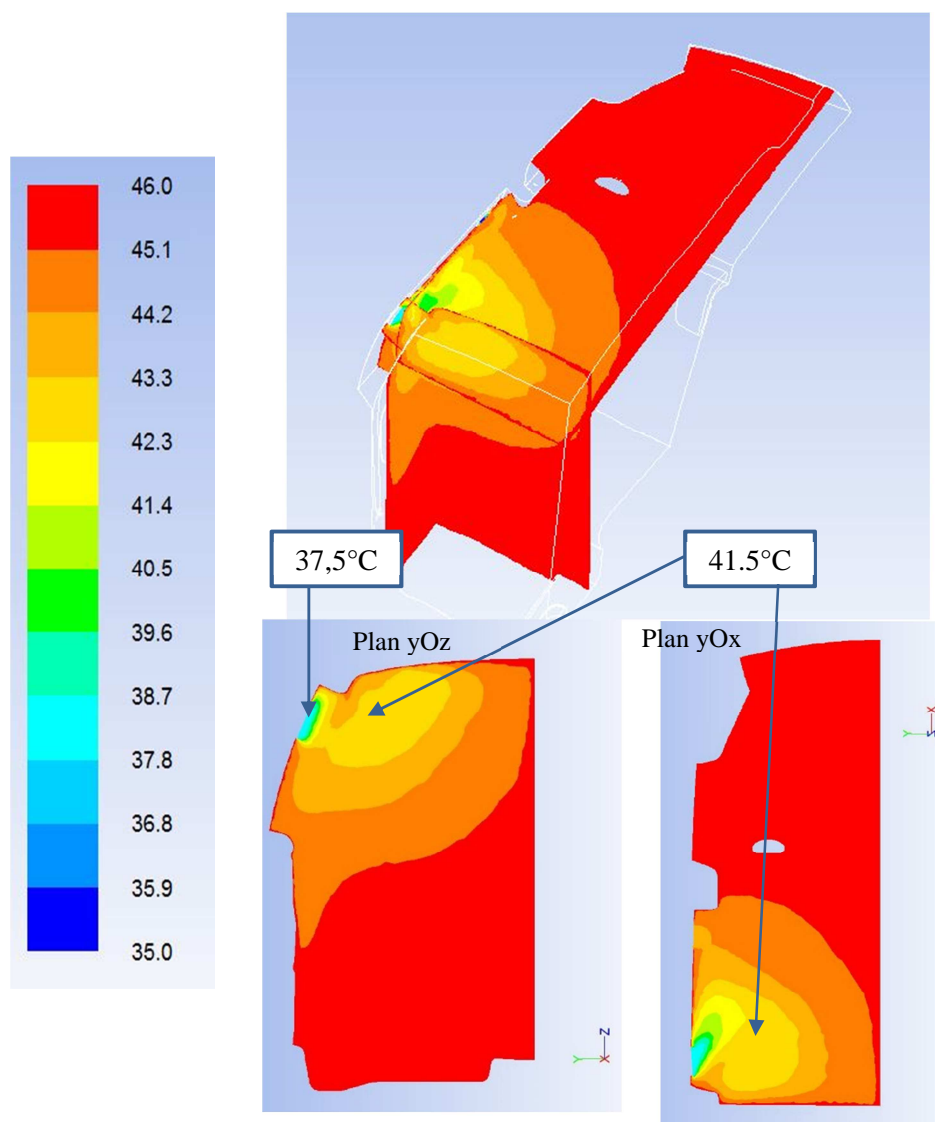


Fig. 13. Variația temperaturii din habitacul la momentul  $t = 600$  s

## REZULTATE EXPERIMENTALE

Modelul funcțional al sistemului de condiționare a aerului, precum și modul de amplasare a termocuplelor pe elementele componente ale sistemului sunt prezentate în figura 14. Acesta este format din următoarele elemente: termoelement, pompă de recirculare, radiator din cupru, schimbător de căldură - *parte rece*, pompă de recirculare, radiator din cupru, schimbător de căldură - *parte caldă*, conductele de legătură, precum și agentul de lucru.

Ambele schimbătoare de căldură sunt de aceeași dimensiuni, iar agentul de lucru utilizat este etilenglicol (40% etilen glicol, 60 % apă), amestec care funcționează la temperaturi de  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Pentru partea rece, aerul este aspirat din exterior și refulat în habitacul, iar pentru partea caldă aerul este aspirat din interior și refulat în mediul exterior.



**Fig. 14. Modelul funcțional al sistemului de condiționare a aerului și amplasarea termocuplelor în diferite puncte**

1- Schimbător de căldură și ventilator – parte caldă ( $P_C$ ); 2- Schimbător de căldură și ventilator – parte rece ( $P_R$ ); 3 - Pompă și radiator cupru – parte rece ( $P_R$ ); 4 – Termoelement; 5 - Pompă și radiator cupru – parte caldă ( $P_C$ ); 6 - Conducte – parte rece ( $P_R$ ); 7 - Conducte – parte caldă ( $P_C$ ); 8 – Aerator (grilă aer, parte rece ( $P_R$ )); 9- Sistem de achiziție.

Datele tehnice corespunzătoare sistemului, precum și parametri mediului ambiental pentru testul experimental sunt prezentate în tabelul 5.

**Tabelul 5**

<b>Date inițiale:</b>		
<b>Automobilul este în staționare.</b>		
<b>Temperatura exterioară:</b>	-	<b>T<sub>ext</sub> = 37.4 °C</b>
<b>Temperatura interioară:</b>		<b>T<sub>int.</sub> = 46 °C</b>
<b>Umiditatea relativă:</b>	-	<b>RH = 33.5%</b>
<b>Senzori de temperatura:</b>	-	<b>Termocuple de tip K</b>
<b>Sistem de achiziție:</b>	-	<b>NI cDAQ - 9188XT</b>
<b>Tensiunea de alimentare:</b>	-	<b>U = 14,5 V</b>
<b>Termoelemente: (1 element)</b>	-	<b>I = 6,5 A</b>
<b>Dimens./element: 40x40x3,3mm</b>		
<b>Partea caldă</b>	-	<b>Volum – 100 ml</b>
• <b>Pompă</b>	-	<b>Debit = 9,4 g/s</b>
• <b>Schimbătorul de căldură</b>	-	<b>cu tuburi și aripioare de răcire</b>
• <b>Ventilator (1 buc.)</b>	-	<b>U = 14,5 V</b>
• <b>Turație ventilator</b>	-	<b>2667 rot/min</b>
• <b>Aer aspirat din habitacul și evacuat în exterior</b>		
<b>Partea rece</b>	-	<b>Volum – 100 ml</b>
• <b>Pompă</b>	-	<b>Debit = 9,4 g/s</b>
• <b>Schimbătorul de căldură</b>	-	<b>cu tuburi și aripioare de răcire</b>
• <b>Ventilator (1 buc.)</b>	-	<b>U = 14,5 V</b>
• <b>Turație ventilator</b>	-	<b>2667 rot/min</b>
• <b>Aer aspirat din exterior și evacuat în habitacul</b>		
<b>Perioada testului:</b>	-	<b>10 minute</b>
<b>Notatii:</b>		
<b>T_1</b>	-	Temperatura aerului în fața grilei- partea rece
<b>T_2</b>	-	Temperatura pe schimbătorul de căldură - partea rece (P <sub>R</sub> )
<b>T_3</b>	-	Temperatura aerului în fața schimbătorului de căldură - partea caldă (P <sub>C</sub> )
<b>T_4</b>	-	Temperatura pe schimbătorul de căldură - partea caldă (P <sub>C</sub> )
<b>T_5</b>		Temperatura pe radiator cupru/element Peltier- parte caldă
<b>T_6</b>		Temperatura pe radiator/element Peltier- parte rece
<b>T_7</b>		Temperatura din habitacul

Rezultatele experimentale sunt prezentate analitic în tabelul 6 și grafic în figura 15.

Tabelul 6

Timp [min]	T_1 [°C]	T_2 [°C]	T_3 [°C]	T_4 [°C]	T_5 [°C]	T_6 [°C]	T_7 (T_int.) [°C]
0	46.2838	43.6139	43.9741	43.1508	36.84	36.8575	45.6676
1	40.1138	39.7664	49.2387	50.5895	49.4268	42.1615	43.3789
2	37.5834	37.8312	51.8603	51.8857	50.4646	41.5742	43.5352
3	36.5403	37.1838	52.4322	52.0148	50.568	41.3225	43.7466
4	36.2186	36.9514	52.3213	52.0229	50.5174	41.1208	43.423
5	34.783	36.5664	51.9391	51.9656	50.0482	40.6408	43.0105
6	34.8505	36.7563	52.6222	52.0073	50.4027	40.9441	43.7481
7	34.9865	36.9311	52.9542	51.8853	50.6731	41.1492	44.1511
8	35.0478	37.1291	53.1817	52.0118	50.8529	41.305	44.4199
9	34.9817	37.0506	53.2079	52.799	50.8816	41.2304	44.4404
10	34.8892	37.1286	53.3597	52.8738	50.9714	41.2567	44.6171

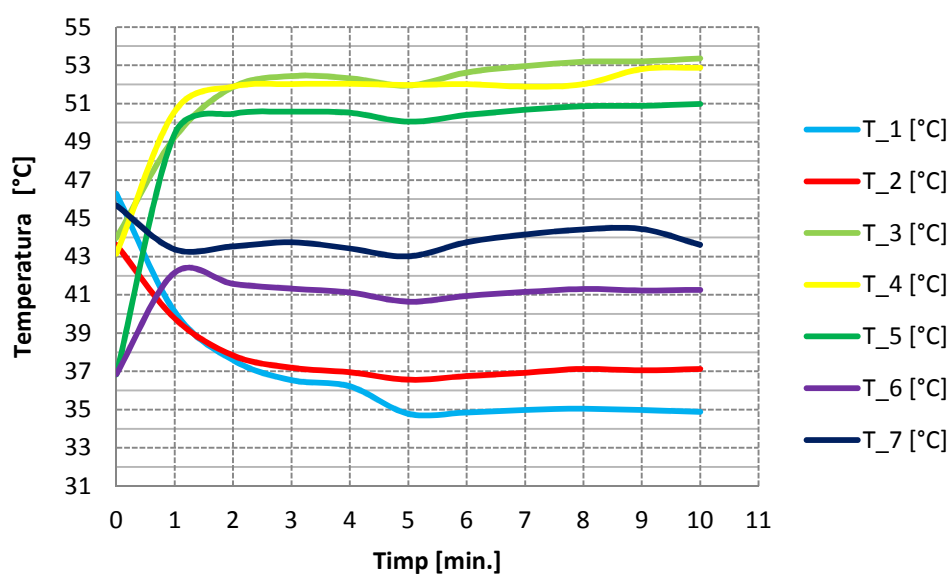


Fig. 15. Variația temperaturilor în diferite puncte funcție de timp

### PRELUCRAREA REZULTATELOR

În figura 16 se prezintă variația temperaturii aerului la ieșirea din aerator ( $T_1$ ) în comparație cu temperatura din interiorul habitacului  $T_7$  ( $T_{int.}$ ) în funcție de timp. Diferența dintre temperatura din interiorul habitacului și valoarea temperaturii la ieșirea din aerator,  $\Delta T = T_{int.} - T_1$ , este prezentată atât analitic cât și grafic în figura 17.

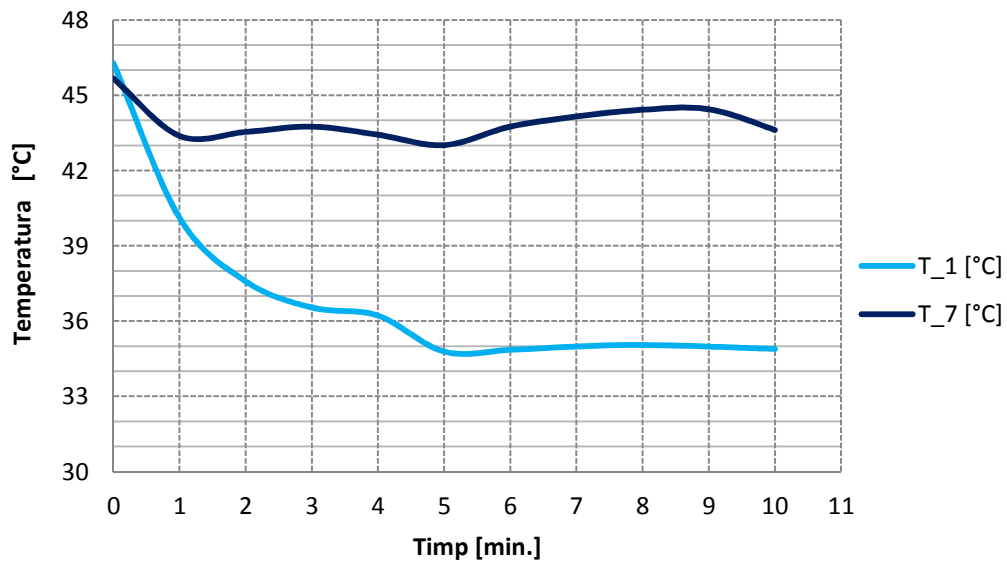


Fig. 16. Variația temperaturii T<sub>1</sub> și T<sub>7</sub> (T<sub>int.</sub>) în funcție de timp

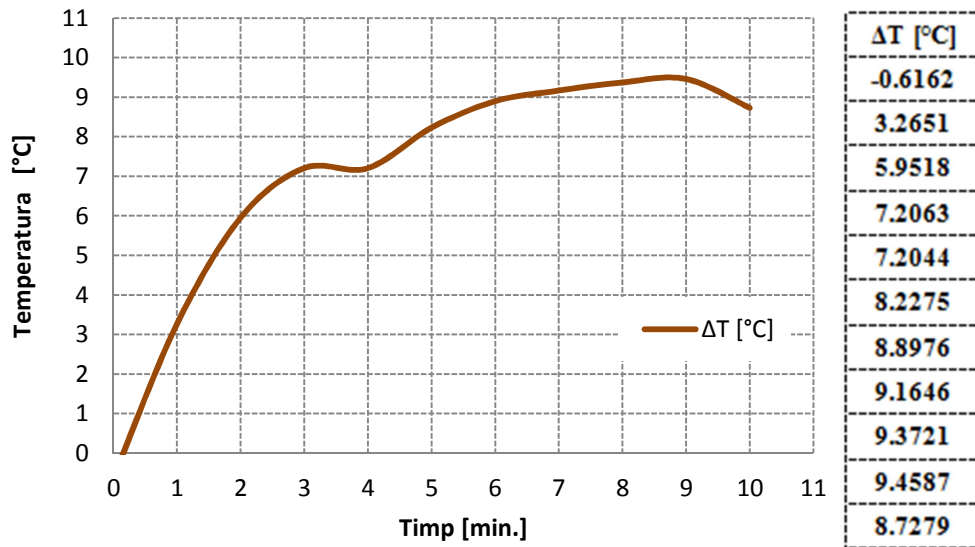


Fig. 17. Variația diferenței de temperatură ΔT în funcție de timp

În figura 18 se prezintă variația temperaturii aerului la ieșirea din aerator (T<sub>1</sub>) – *partea rece* (P<sub>R</sub>) în comparație cu temperatura aerului din fața schimbătorului de căldură (T<sub>3</sub>) - *partea caldă* (P<sub>C</sub>).



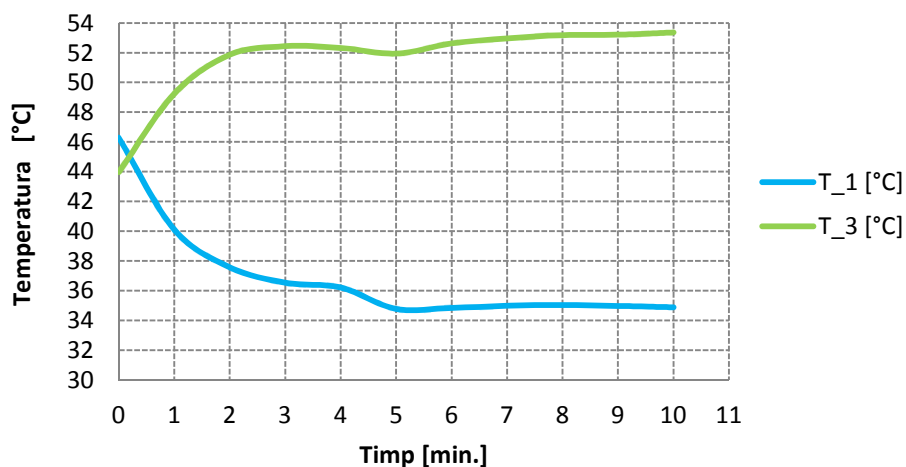


Fig. 18. Variația temperaturii T<sub>1</sub> și T<sub>3</sub>, în funcție de timp

În figura 19 se prezintă variația temperaturilor pe suprafața schimbătorului de căldură - *partea rece* (T<sub>2</sub>) și pe suprafața schimbătorului de căldură - *partea caldă* (T<sub>4</sub>) în funcție de timp.

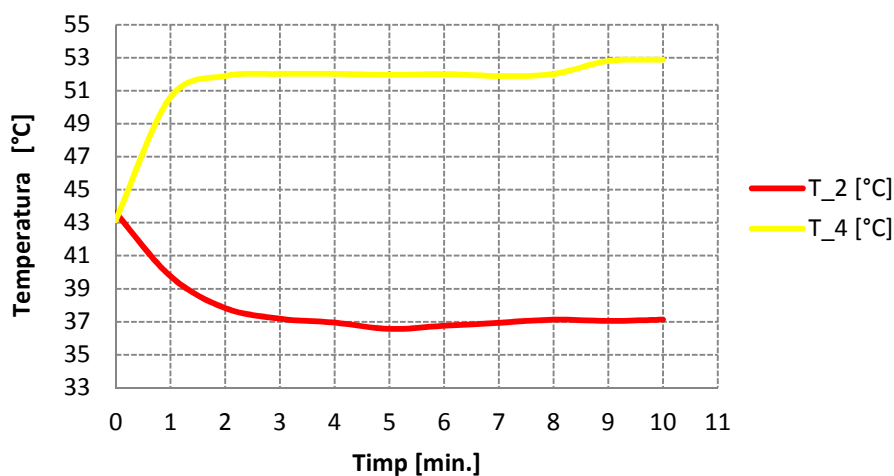


Fig.19. Variația temperaturii T<sub>2</sub> și T<sub>4</sub>, în funcție de timp

## VALIDAREA REZULTATELOR

Rezultatele simulării numerice a sistemului vor fi comparate cu rezultatele obținute în cercetarea experimentală, pentru a stabili o concordanță deplină între model și realitate, fapt ce reprezintă o validare a modelului de

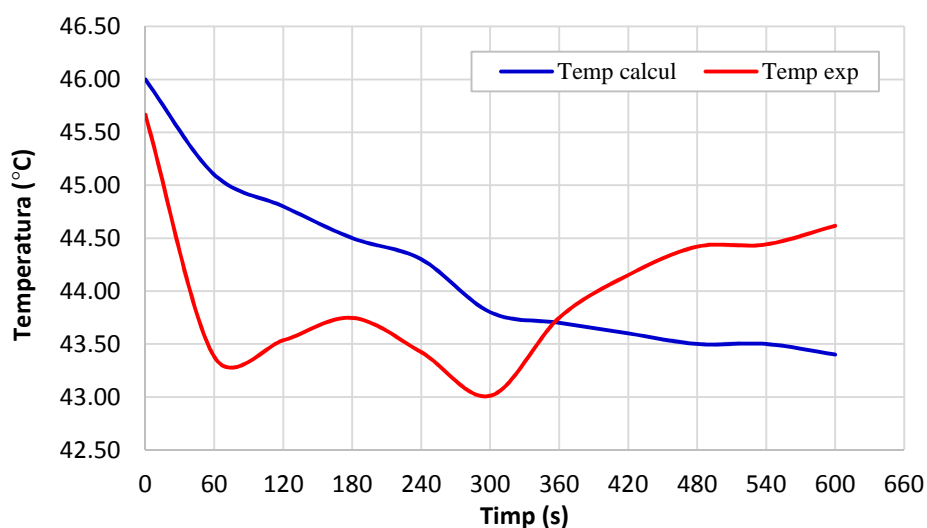
calcul și a programului de simulare, elaborat ca instrument virtual de evaluare a microclimatului din habitacul.

În urma calculului efectuat cu programul Ansys Fluent, valorile obținute pentru temperatura aerului din habitacul ( $T_{c\_int.}$ ) sunt comparate cu valorile temperaturii aerului măsurate experimental (tabel 7), iar reprezentarea grafică este prezentată în figura 20,

Datorită valorilor similare dintre rezultatele determinate experimental și cele obținute în urma simulării numerice, putem astfel valida modelul de calcul pentru sistemul neconvențional de răcire a aerului.

**Tabel 7. Valoarea temperaturii aerului măsurată în habitacul**

Timp [s]	$T_{c\_int.}$ [°C]	$T_{e\_int.}$ [°C]	Timp [s]	$T_{c\_int.}$ [°C]	$T_{e\_int.}$ [°C]
0	46	45.67	<b>360</b>	<b>43.7</b>	<b>43.75</b>
60	45.1	43.38	420	43.6	44.15
120	44.8	43.54	480	43.5	44.42
180	44.5	43.75	540	43.5	44.44
240	44.3	43.42	600	43.4	44.62
300	43.8	43.01			



**Fig.20. Variația temperaturii  $T_{e\_int.}$  și  $T_{c\_int.}$  în funcție de timp**

## CONCLUZII

În urma rezultatelor experimentale și a simulării numerice obținute pentru sistemul de răcire cu termoelemente, amplasat în partea din spate a automobilului, atunci când automobilul este staționat se pot extrage următoarele concluzii:

- Diferența dintre valoarea temperaturii aerului din interiorul habitaculului  $T_7$  ( $T_{int.}$ ) și temperaturii aerului la ieșirea din aerator ( $T_1$ ) este aproximativ  $\Delta T = T_{int} - T_1$  de 7 °C după 3 minute și 9,45 °C după 10 minute de funcționare a sistemului. Reducerea temperaturii în zona pasagerului din spate oferă un confort termic sporit.
- De asemenea, diferența dintre valorile temperaturilor pe schimbătoarele de căldură ( $T_4 - T_2$ ) este de aproximativ 15 °C, iar temperatura maximă pe partea caldă este de 53 °C.
- În urma datelor obținute experimental și simulării numerice se observă că temperatura aerului din habitacul se reduce cu 2,3 °C după 6 minute, pentru un sfert de habitacul.

Așadar, în urma studiului și a rezultatelor obținute se observă o creștere a confortului termic pentru pasagerii din spate, atunci când se utilizează acest sistem suplimentar de răcire a aerului cu termoelemente.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Ivănescu M., Tabacu I.- “Confortabilitate si ergonomie”- Editura Universitatii din Pitesti, 2007.
- [2] ISO 7730 – Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification for thermal comfort, International Standards Organization, 1984 Geneva;
- [3] \* \* \* [http://www.mmediu.ro/protectia\\_mediului/schimbari\\_climatic/1\\_Documentatie/Protocolul\\_Kyoto\\_ro.pdf](http://www.mmediu.ro/protectia_mediului/schimbari_climatic/1_Documentatie/Protocolul_Kyoto_ro.pdf)
- [4] \* \* \* [http://www.anpm.ro/upload/26810\\_Reg.842-2006%20text%20consolidat%20GFS.pdf](http://www.anpm.ro/upload/26810_Reg.842-2006%20text%20consolidat%20GFS.pdf)
- [5] X.F. Zheng, C.X. Liu, Y.Y. Yan, Q. Wang, A review of thermoelectrics reserch –Recent developments and potentials for sustainable and renewable energy applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews 32 (2014).
- [6] \* \* \* [http://ffden2.phys.uaf.edu/212\\_spring2007.web.dir/sedona\\_price/phys\\_212\\_webproj\\_peltier.html](http://ffden2.phys.uaf.edu/212_spring2007.web.dir/sedona_price/phys_212_webproj_peltier.html)
- [7] Mihon L,- “ Conversia si racirea termoelectrica”-Ed. Orizonturi Universitare, Timisoara, 2001
- [8] Manoj S. Raut and P. V. Walke. - Thermoelectric Air Cooling For Cars, 2012.
- [9] Melcor -“ Thermal Solutions”-, Melcor Corporation, Trenton, NJ, USA, 1998.
- [10] \* \* \* [www.KELK Ltd\\_ Useful Info Interesting Stories About Thermoelectricity No\\_4.mht](http://www.KELK Ltd_ Useful Info Interesting Stories About Thermoelectricity No_4.mht)
- [11] Manoj S. Raut and P. V. Walke. - Thermoelectric Air Cooling For Cars, International Journal of Computer Applications, 2012.

- [12] C.S. junior, N.C. Strupp, N.C. Lemke and J. Koehler - Modeling a Thermoelectric HVAC System for Automobiles, Germany, 2009.
- [13] Gilles Elliot, Vincent Feuillard, David Roy - Patent US20070000255 - Autonomous air-conditioning module intended particularly for the thermal treatment of an area of a vehicle cabin
- [14] Steven Daly - Automotive Air-conditioning and Climate Control Systems, Elsevier, 2006.
- [15] Wang et al - Localized Cooling for Human Comfort, SAE International.
- [16] Mingyu Wang, Debashis Ghosh, and Edward Wolfe, Kuo-huey Chen and Jeffrey Bozeman Energy Efficiency Impact of Localized Cooling 2014-01-0695, Published 04/01/2014, SAE International.
- [17] Hyeung-Sik Choi, Sankook Yun, Kwang-il Whang, Development of a temperature-controlled car-seat system utilizing thermoelectric device, Applied Thermal Engineering, December,2007.
- [18] Clay Wesley Maranville, James George Gebbie and Kenneth J. Jackson - Patent US 2012/0079837 A1 - Thermoelectric comfort control system for motor vehicle, US
- [19] Shinji Aoki, Keizou Nimura, - Automotive seat air-conditioning system, United States Patent Application Publication, Pub.No.:US2007/01017290 A1, 10.05.2007
- [20] US /20090000311 A1“ Preliminary vehicle heating and cooling by Peltier effect” (2009).
- [21] Florea J., Panaitescu V. - Mecanica fluidelor , Editura Didactică și Pedagogică București, 1979.
- [22] Computational fluid dynamics - Principles and applications - J. Blazek – Elsevier– 2001.
- [23] D.Broboană, C. Bălan, T. Muntean, Mecanica fluidelor cu FLUENT – Volumul 1, Editura Politehnica Press, București, 2005.