

# THERMAL MODEL OF VEHICLE CABIN FOR HIL SIMULATION

**Michael Chromiak**

Bachelor Degree Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xchrom16@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Jan Glos

E-mail: xglosj00@stud.feec.vutbr.cz

**Abstract:** The Thermal model of the vehicle cabin was created using differential equations in the Matlab Simulink environment. By changing parameters, it is easy to set the model to any type of passenger vehicle. The accuracy of the model calculation has been successfully verified by real temperature measurement in the car. The model can therefore be used for HIL simulation to develop control system for air conditioning for cars. The output of the model is the average temperature of individual parts of the car as well as air temperature in the cabin.

**Keywords:** Thermal Model, Vehicle Cabin, Matlab Simulink, HIL Simulation, Dynamic system

## 1 ÚVOD

Teplota vzduchu vnútri kabíny automobilu ovplyvňuje vodiča, ako aj celú posádku. Najmä u vodiča automobilu je potrebná maximálna tepelná pohoda, nakoľko je jedným z faktorov, ktoré môžu ovplyvniť jeho pozornosť. Hlavným cieľom tejto práce bolo vytvorenie tepelného modelu kabíny automobilu realizovaného formou diferenciálnych rovníc popisujúcich teploty, ktoré sú zostavené v Simulinku. Na zadávanie jednotlivých parametrov popisujúcich kabínu automobilu je použitý skript v Matlabe.

Z pohľadu posádky automobilu, je možné pre ovplyvnenie teploty vzduchu počas jazdy v aute využiť klimatizáciu alebo otvorenie okien. Preto model dostane na vstup časový priebeh prietoku vzduchu a teploty z klimatizácie, ako aj ďalšie potrebné parametre, z ktorých následne model určí priebehy jednotlivých teplôt v kabíne automobilu. Výsledný model bolo potrebné vytvoriť tak, aby bola možná jeho implementácia do mikrokontroléru k HIL(Hardware in the loop) simulácii.

## 2 TVORBA TEPELNÉHO MODELU KABÍNY AUTOMOBILU

Základom pre riešenie zadaného modelu sú diferenciálne rovnice popisujúce dynamiku systému v závislosti na teplotných rozdieloch jednotlivých častí kabíny. Pri vytváraní modelu bolo potrebné vychádzať zo zákonov termomechaniky zaoberajúcich sa zmenou tepelných vlastností látok. Jedná sa o prívod, odvod a zdieľanie tepla [1]. Na Obrázku 1 je znázornený automobil, podľa ktorého bol vytváraný model, a v ktorom bolo uskutočnené kontrolné meranie pre určenie správnosti počítania modelu.

Jednotlivé časti automobilu sme započítavali ako homogénny materiál, ktorý má rovnakú teplotu v celom svojom objeme, čo prakticky znamenalo spriemerovanie jednotlivých parametrov jednotlivých materiálov využívaných pri výrobe daných častí automobilu. Kabínu auta sme tak rozdelili do samostatných blokov, akými sú karoséria, interiér, časť nachádzajúca sa medzi karosériou a interiérom, sedačky, okná rozdelené na vonkajšiu a vnútornú stranu a vzduch vnútri kabíny. Nasledujúca diferenciálna rovnica (1) popisuje zmenu teploty vzduchu za jednotku času vo vnútri kabíny auta.

$$\frac{dT_{air}}{dt} = \frac{1}{\rho_{air} \cdot c_{air} \cdot V_{air}} \cdot (\phi_{a/c} + \phi_{man} + \phi_{sun} - \phi_{openW} - \phi_{ssat} - \phi_{inter} - \phi_{Win}) \quad (1)$$

Rovnica je tvorená súčtom jednotlivých tepelných tokov vynásobených mernou tepelnou kapacitou zloženou z hustoty vzduchu  $\rho_{air}$ ,  $c_{air}$  predstavujúce tepelnú kapacitu vzduchu a  $V_{air}$  jeho objem v kabíne auta. Zdroj tepla pre vzduch v kabíne predstavuje tepelný tok klimatizácie  $\phi_{a/c}$ , človeka  $\phi_{man}$  a Slnčné žiarenie  $\phi_{sun}$ .  $\phi_{openW}$  predstavuje tepelný tok v prípade otvorenia okien, kedy začne do kabíny prúdiť vonkajší vzduch. Túto situáciu sme namodelovali pomocou hmotnostného prietoku vzduchu. Výmena tepla prebieha taktiež medzi vzduchom a súčasťami kabíny, ako sú sedačky  $\phi_{ssat}$ , interiér  $\phi_{inter}$  a okná  $\phi_{Win}$ , pomocou mechanizmu prenosu tepla prúdením.

### 3 ZDROJE TEPLA V KABÍNE AUTOMOBILU

Teplota vzduchu v kabíne auta je výrazne ovplyvňovaná nielen samotnými súčasťami kabíny alebo klimatizáciou a ľuďmi sediacich v nej, ale aj vplyvom vonkajšieho prostredia. Jedná sa najmä o vplyv slnečného žiarenia spôsobujúce skleníkový efekt. U človeka bol zvolený spôsob simulácie pomocou tepelného toku, ktorý dodáva do vzduchu v kabíne a sedačiek pomocou svojich tepelných strát. Do zdrojov tepla vplývajúcich na teplotu kabíny sme nijako nezapočítavali prípadné teplo z motoru auta, nakoľko predpokladáme jeho dokonalú izoláciu od častí kabíny automobilu.

#### 3.1 KLIMATIZÁCIA – HVAC SYSTÉM

Model klimatizácie bol vytvorený tak, že do kabíny auta dodáva vzduch s nastavenou teplotou a hmotnostným prietokom. Nie je teda modelovaná ako regulátor, ktorý by udržoval v kabíne predom zadanú teplotu. V takom prípade, ak do kabíny svieti Slnko alebo sa v nej nachádzajú ľudia, čo zvyšuje teplotu vzduchu, tak klimatizácia nedosiahne nami nastavenú teplotu ale sa k nej iba priblíži. Pre zrealnenie klimatizácie bol použitý prenos zotrvačného článku prvého rádu s časovou konštantou 120 sekúnd. Týmto prenosom bola spôsobená zmena dynamiky, ktorá spomalila skokový nárast na požadovaný výkon klimatizácie. Vplyv takzvaného studeného alebo už zohriateho motoru na funkčnosť klimatizácie je nahradený vyššie uvedenou časovou konštantou.



**Obrázok 1:** Termogram palubnej dosky cca 18 minút po spustení klimatizácie a modelovaný automobil

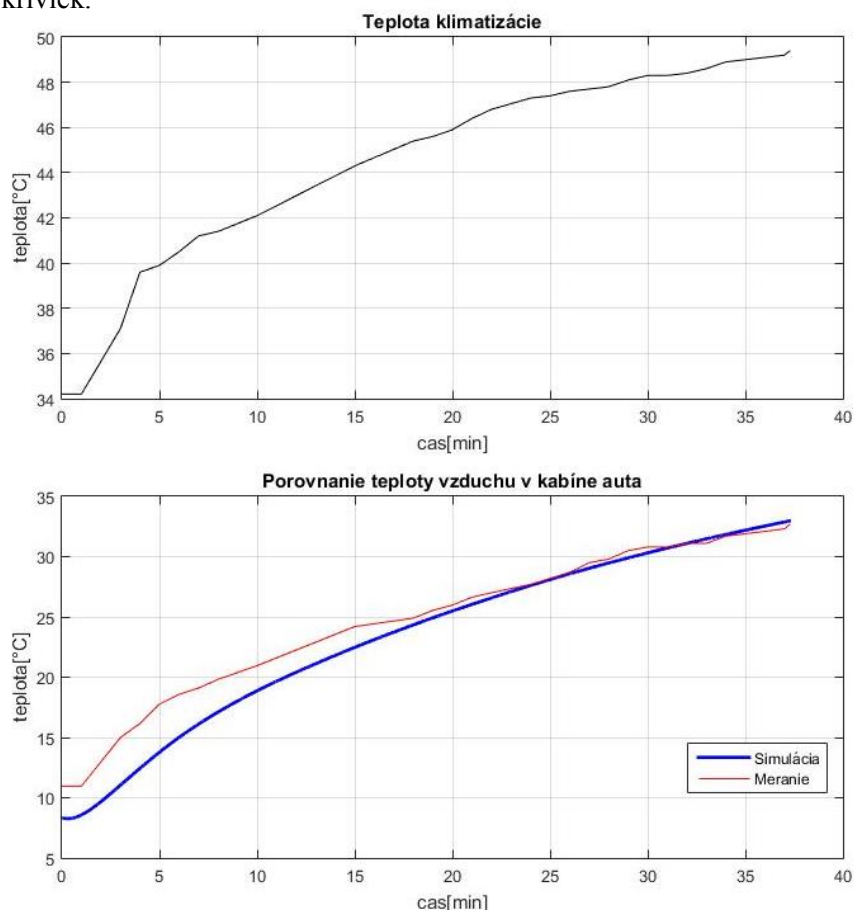
### 4 HIL SIMULÁCIA

Vytvorený model bude použitý pre overovanie riadiacich algoritmov v HIL simulácii za pomoci mikrokontroléru. Riadiaca jednotka automobilu bude ovládať akčné prvky klimatizácie a model kabíny v mikrokontroléry bude na základe nameraných údajov zo snímačov a prednastavených parametrov získavať informácie o pôsobiacich vplyvoch, akými budú napríklad teplota a prietok vzduchu na vstupe do kabíny automobilu, vonkajšia teplota, tepelný výkon Slnka a počet ľudí

v kabíne. Vďaka tomu bude možné simulovať správanie kabíny automobilu. Výstupom z modelu bude teplota vzduchu v kabíne, ktorá bude snímaná pomocou riadiacej jednotky.

## 5 POROVNANIE SIMULOVANEJ A MERANEJ TEPLoty VZDUCHU

Meranie teploty vzduchu bolo vykonávané v prednej časti kabíny. Vytváraný model počíta s celkovým objemom vzduchu v kabíne, vďaka čomu je na začiatku grafu na Obrázku 3, rozdielny počiatok daných kriviek.



Obrázok 3: Porovnanie simulovanej a nameranej teploty vzduchu

## 6 ZÁVĚR

S vytvoreným modelom je možné simulovať rôzne priebehy teplôt v kabíne automobilu v závislosti na zadaných počiatkových podmienkach definovaných v skripte, v ktorom je možné vytvárať rôzne modelové situácie. Z porovnania nameraných a odsimulovaných údajov je pri zohľadnení chýb merania možné povedať, že nami vytvorený model pracuje správne a bude môcť byť použitý pre nasledujúcu bakalársku prácu, kde sa predpokladá implementácia modelu do mikrokontroléru pre HIL simuláciu.

## REFERENCE

- [1] NOSKIEVIČ, Petr. Modelování a identifikace systémů. Ostrava: Montanex, 1999. ISBN 8072250302.
- [2] SPAKOVŠZKY, Z. S. Thermodynamics and Propulsion [online]. [cit. 2018-02-22]. Dostupné z: <http://web.mit.edu/16.unified/www/SPRING/propulsion/notes/notes.html>