

## Zkušební virtuální stand vozidla 1.0

(VTSCC - Virtual Testing Stand of Car Cabin)

**Apollo ID:** 26673  
**Datum:** 26.11.2012  
**Typ projektu:** R–software  
**Autoři:** POKORNÝ, J.; FIŠER, J.; JÍCHA, M.

### Popis a využití programu

Program (vytvořený v Matlabu) je určen pro predikci tepelné zátěže kabiny automobilu během skutečných provozních podmínek na základě specifikace geometrie, materiálové skladby vozu a okrajových podmínek popisující jízdní data. Jízdní data obsahují popis aktuální polohy vozu, směru a rychlosti jízdy, dále pak meteorologická data (teplota, relativní vlhkost, intenzita slunečního záření na vodorovnou plochu), nastavení ventilace (teplota, vlhkost a množství přiváděného vzduchu) a počet lidí uvnitř vozu. Na základě těchto parametrů jsou vypočteny aktuální střední teplota vzduchu, jeho vlhkost, povrchové teploty uvnitř i vně vozu a také celková tepelná zátěž kabiny. Software umožní rychlý výpočet tepelné zátěže kabiny, jejich povrchových teplot a teploty vzduchu uvnitř. Tyto data lze využít při návrhu výkonu klimatizačních zařízení automobilů.

### Instalace programu

Zkušební virtuální stand vozidla 1.0 je samospustitelná aplikace vytvořena v Matlabu 2012b. Po rozbalení archívu VTSCC\_1\_0.zip je nutné nainstalovat MCR compiler (64 bit. verze 2012). Po nainstalování MCR je možné program spustit souborem VTSCC\_1\_0.exe. Odkaz pro stažení MCR: <http://www.mathworks.com/products/compiler/mcr/>

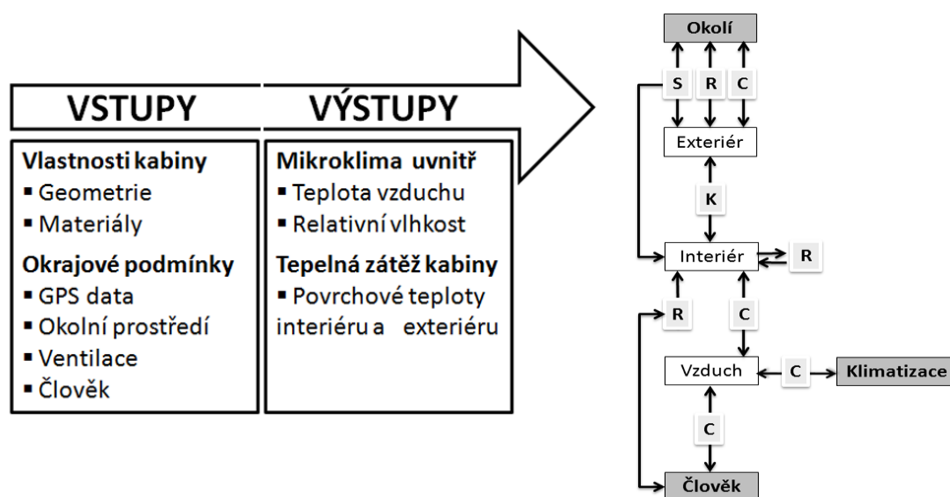
### Technické a programové požadavky

Hardwarové požadavky jsou stanoveny náročností programu MATLAB.  
Softwarové požadavky: MATLAB Compiler Runtime (MCR) 2012 a novější.

### Popis algoritmu

Model kabiny se skládá ze soustavy bilančních rovnic popisující zákony zachování energie a hmoty a tepelné rovnováhy ve výpočetních uzlech. V modelu se vyskytují tři typy uzlů: Exteriér (index E v následujících rovnicích), Interiér (index I) a tzv. Air zone neboli zóna

s konstantním objemem vzduchu (index A), které jsou propojeny s okrajovými podmínkami. V modelu jsou tři typy okrajových podmínek: Okolní prostředí (bez indexu), Klimatizace a ventilace (V) a Člověk (H). Přenos tepla je tedy řešen zvláště pro vnější a vnitřní povrchy. Exteriér se skládá z deseti individuálních povrchů a každému z nich přísluší rovněž povrch interiéru. Uvnitř kabiny je uvažován pouze jeden objem vzduchu, v kterém je uvažováno dokonalé mísení vzduchu popsané zákonem zachování hmoty. Dohromady tedy model čítá 22 bilančních rovnic: Tepelná rovnováha 10x Exteriér, 10x Interiér a 1x Air zone + 1x zákon zachování hmoty. Schéma zachycující základní ideu modelu je na obr. 1.



Obr. 1 Vlevo: schéma rozhraní programu **Zkušební virtuální stand vozidla 1.0**. Vpravo: schéma modulu pro výpočet přenosu tepla

#### Tepelná rovnováha exteriéru kabiny [W]

$$c_E m_E \frac{dT_E}{dt} = \dot{Q}_{r,E} + \dot{Q}_{c,E} + \dot{Q}_{sr,E} + \dot{Q}_{d,E}, \quad (1)$$

#### Tepelná rovnováha interiéru kabiny [W]

$$c_I m_I \frac{dT_I}{dt} = \dot{Q}_{c,I} + \dot{Q}_{r,I} + \dot{Q}_{sr,I} - \dot{Q}_{d,E} + \dot{Q}_{r,H}, \quad (2)$$

#### Tepelná rovnováha v objemu vzduchu kabiny [W]

$$m_A c_A \frac{dT_A}{dt} = \dot{Q}_{c,V} + \dot{Q}_{c,H} - \dot{Q}_{c,I}, \quad (3)$$

#### Tepelná rovnováha člověka [W]

$$\dot{Q}_m = 100 = \dot{Q}_{r,H} + \dot{Q}_{c,H} = 70 + 30 \quad (4)$$

### Zachování měrné vlhkosti vzduchu [kg]

$$m_A \frac{dx_A}{dt} = (1 + x_A) \left( \frac{x_V - x_A}{1 + x_V} \right) \frac{dm_A}{dt} + \dot{m}_{H,H_2O} \quad (5)$$

Přiváděný vzduch vyústkami se dokonale mísí s objemem vzduchu v kabině a pro vlhkost vzduchu v kabině platí zákon zachování hmoty:

### Tepelná zátěž kabiny [W]

Pasivní tepelná zátěž kabiny je dána součtem tepelných toků vedených skrz stěny kabiny  $\dot{Q}_{d,E}$ , transmitovaných slunečním zářením  $\dot{Q}_{sr,I}$  a produkovaným lidským tělem  $\dot{Q}_H$ . Pro ustanovení tepelné rovnováhy v kabině automobilu je nutné, aby pasivní tepelná zátěž kabiny byla rovna tepelnému toku přicházejícímu se vzduchem z klimatizační jednotky, neboli  $\dot{Q}_{d,E} + \dot{Q}_{sr,I} + \dot{Q}_H + \dot{Q}_V = 0$ . Pokud má pasivní tepelná zátěž kabiny kladné znaménko  $\dot{Q}_{d,E} + \dot{Q}_{sr,I} + \dot{Q}_H > 0$ , znamená to, že kabina přijímá teplo z okolí a je nutné ji ochlazovat  $\dot{Q}_V < 0$ . Podrobnější popis fyzikální podstaty modelu lze nalézt v disertační práci Svázání fyziologického modelu s modelem tepelného komfortu [1] dostupné na adrese:

[https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/736/PhD%20thesis\\_Pokorny.pdf?sequence=1](https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/736/PhD%20thesis_Pokorny.pdf?sequence=1).

## Popis nastavení a použití programu

Vlastní ovládání modelu je velice jednoduché. Uživatel si v menu (obr. 2 vpravo nahoře) vybere **typ vozu a jízdní data**. Po stisknutí tlačítka **NAČTI** se do tabulek Geometrie, Materiálová skladba, Jízdní data, Okrajové podmínky načtou zvolená data ze vstupních csv souborů, které jsou uloženy ve složce **EXTERNAL**). Tabulky slouží pouze pro vizualizaci dat, nikoliv editaci. Pokud chce uživatel zadat vlastní data, musí si vytvořit případně editovat příslušné vstupní soubory ve formátu csv.

Dalším krokem je **spuštění vlastní simulace** tlačítkem **SIMULACE (start/stop)**. Po stisknutí tlačítka je zahájen výpočet řešení soustavy diferenciálních rovnic pomocí numerického řešiče ode15. Pod tlačítkem je uveden aktuální simulační čas v sekundách. Vlastní simulaci lze **přerušit opětovným kliknutím** na tlačítko **SIMULACE (start/stop)** a ještě dalším kliknutím lze opět pokračovat ve výpočtu. Po řádném ukončení simulace se objeví údaj o době trvání výpočtu a záhy se objeví okno s výsledky simulace (obr. 3).

**Výsledky** jsou uspořádány následovně: grafy v zeleném pozadí reprezentují nejdůležitější vstupní data, grafy ve žlutém pozadí naopak slouží k vizualizaci výsledných predikovaných veličin. Modře jsou v grafu znázorněny výsledky predikce modelu. Červeně jsou znázorněny naměřená data (validační nebo vstupní). Jízdní data, která popisují skutečná měření na reálném voze, jsou označeny v názvu jako VUT. Měření se v současné podobě modelu týkají pouze vozu Škoda Felicia Combi Dark blue. Škoda Felicia Combi Silver slouží jako demonstrační případ studia vlivu změny materiálových vlastností na tepelnou zátěž kabiny. Uživatel má samozřejmě možnost si definovat libovolný vůz a jízdní data.

**Zadávání nových vstupních dat:**

1. Vytvoření nové složky v ...External/**Car** popisující typ vozu a nové složky v ..External/**Drive** - popisující jízdní data.
2. Vytvoření datových souborů BC.csv, Geometry.csv, Materials.csv, ViewFactors.csv. respektive TimeTable.csv.
3. Spuštění programu. Po spuštění programu se objeví nově zadané složky v nabídce menu a lze je načíst do tabulek následně provést simulaci.

**Popis vstupních souborů:**

(Typ vozu)

<b>BC.csv</b>	definice okrajových podmínek a hmotností jednotlivých částí
<i>IDpovrchu</i>	(1-10) exteriérové povrchy viz popis v tabulce Geometrie, (11-20) interiérové povrchy. Např. (1) - vnější povrch čelního skla, (11) - vnitřní povrch čelního skla
<i>MatID</i>	index materiálu (dle Materials.csv) z kterého se skládá daný povrch
<i>Cavity, Airzone</i>	definice kavity a příslušného objemu vzduchu: 1 - venek, 2 - vnitřek kabiny, 3 - motorový prostor, 4 - zadní kufr
<i>Sun</i>	typ slunečního záření: 0 - žádné, 1 - úplné, 2 - transmitované skrz skla, 3 - difúzní slun. záření
<i>POS/NEG</i>	orientace normály
<b>Geometry.csv</b>	parametry pro generování parametrizované geometrie kabiny
<b>Materials.csv</b>	definice materiálové skladby kabiny (tloušťka, tepelná vodivost, měrná tepelná kapacita a radiační povrchové vlastnosti)
<b>ViewFactors.csv</b>	Tabulka úhlových faktorů, v současné podobě je nutné dopočítat pomocí jiného software, např. Viewfactors 1.0, nebo komerčním Star-CCM+

(Jízdní data)

<b>TimeTable.csv</b>	Data okrajových podmínek popisujících provozu automobilu (GPS data, ventilace, meteorologická data, počet lidí, apod.)
----------------------	--

## Dokumentace grafického uživatelského rozhraní

**Geometrie\_FELICIA\_COMBI\_dark\_blue**

Para...	Hodnota	Popis parametru
A	3.0400	délka kabiny [m] (v o...
B	1.4600	šířka kabiny [m] (v o...
C	0.6100	výška dveří [m] (v o...
D	0.4900	výška oken [m] (v o...
alpha	37	sklon čelního skla [d...
beta	37	sklon zadního skla [...
gamma	66	sklon bočních skel [...
glass...	0.6500	poměr prosklení boč...
G	0.6700	délka kufru [m]
I	0.4000	délka sedací plochy [...

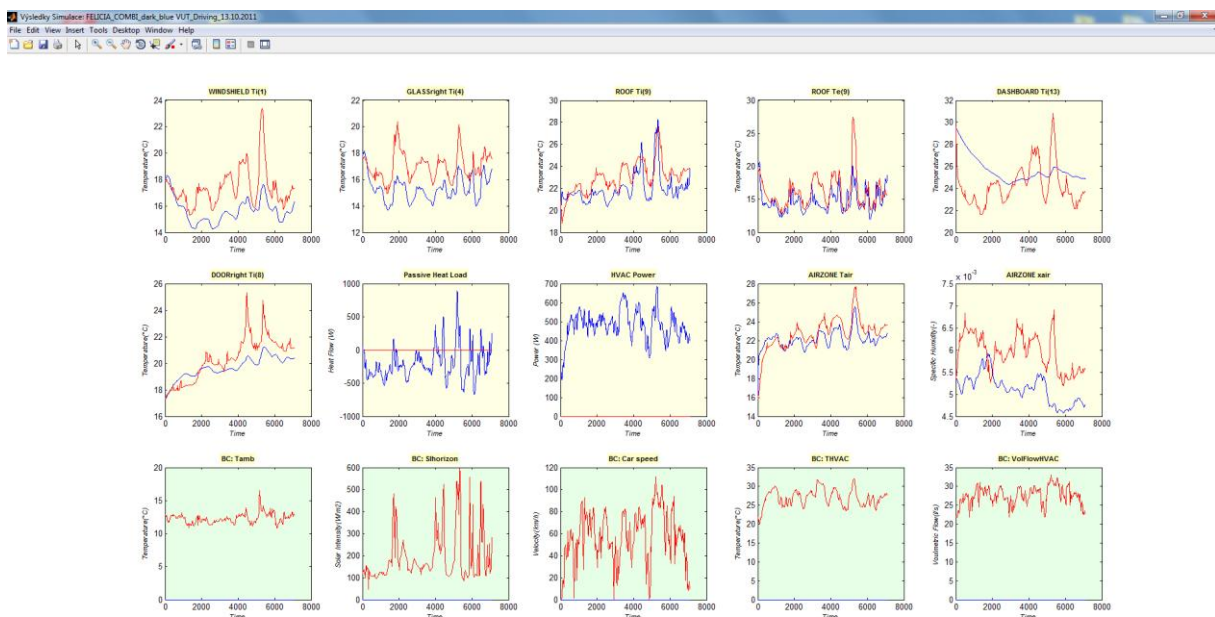
**Okrajové podmínky\_FELICIA\_COMBI\_dark\_blue**

PovrchID	MatID	Mass [kg]	Cavity	Airzone	St
1	1	12	1	1	1
2	2	5	1	1	1
3	2	5	1	1	1
4	2	5	1	1	1
5	3	12	3	3	3
6	4	4	4	4	4
7	5	29	1	1	1
8	5	29	1	1	1
9	6	15	1	1	1
10	7	19	1	1	1
11	1	0.1000	2	2	2
12	2	0.1000	2	2	2
13	2	0.1000	2	2	2

**Materiálová skladba\_FELICIA\_COMBI\_dark\_blue**

MatID	c [J/kgK]	lamda [W/mK]	tloušťka [m]	absorb [-]	trar
1	830	0.6000	0.0050	0.4000	
2	800	0.9000	0.0040	0.4000	
3	860	0.0400	0.0180	0.7800	
4	780	0.1700	0.0070	0.7800	
5	580	0.1300	0.0180	0.7800	
6	560	0.0500	0.0350	0.7800	
7	800	0.0400	0.0300	0.7800	
8	1700	0	0	1	
9	850	0	0	1	
10	1000	0	0	1	

Obr. 2 Grafické rozhraní programu *Zkušební virtuální stand vozidla 1.0*



Obr. 3 Ukázka výsledků simulace programu *Zkušební virtuální stand vozidla 1.0*

## Vazba na projekty

Výzkumné centrum Netme CZ.1.05/2.1.00/01.0002

Centrum kompetence automobilového průmyslu Josefa Božka TE01020020

## Licenční podmínky

Využití výsledku jiným subjektem je v některých případech možné bez nabytí licence

## Kontaktní osoba

Ing. Jan Pokorný, Ph.D. +420 541 143 264, pokorny.j@fme.vutbr.cz

## Stažení a používání programu

Program Zkušební virtuální stand vozidla 1.0 je možné stáhnout na stránkách:

<http://www.energetickeforum.cz/fsi-vut-v-brne/vysledky-vyzkumu>

## Literatura

- [1] Pokorný J. *Svázání fyziologického modelu s modelem tepelného komfortu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, Odbor termomechaniky a techniky prostředí, 2012. Disertační práce 164 s.
- [2] Arici O., Yang S., Huang D., Oker E.: Computer Model for Automobile Climate Control System Simulation and Application. *Int.J. Applied Thermodynamics*, Vol.2, (No.2), 1999, pp. 59-68
- [3] Cihelka J.: *Solární tepelná technika*, Malina – Praha 1994.
- [4] Konz M.: A Generic Simulation of Energy Consumption of Automobile Air Conditioning Systems. Ph.D. thesis – Port Elizabeth Technikon, 2002
- [5] Theseus-FE: Theory Manual Version 4.0, P+Z Engineering GmbH – Munich, 2011. Available from WWW: <<http://www.theseus-fe.com>>
- [6] Wagner S.: Idealierte energetisch-analytische Abbildungsmethode der Temperaturschichtung bei der passiven Aufheizung in der Fahrzeugkabine, *PKW-Klimatisierung VI, Haus der Technik Fachbuch 107* – Essen, 2009, pp. 94-110

Prohlašuji, že popsaný výsledek naplňuje definici uvedenou v Příloze č. 1 Metodiky hodnocení výsledků výzkumu a vývoje v roce 2012 a že jsem si vědom důsledků plynoucích z porušení § 14 zákona č. 130/2002 Sb. (ve znění platném od 1. července 2009). Prohlašuji rovněž, že na požádání předložím technickou dokumentaci výsledku.

V Brně dne 26. listopadu 2012.

Ing. Jan Pokorný, Ph.D.