

## NÁSTROJ PRO SIMULACI TEPELNÉHO KOMFORTU V NEHOMOGENNÍCH PROSTŘEDÍCH

Pokorný Jan, Fišer Jan, Jícha Miroslav



Vysoké učení technické v Brně  
Fakulta strojního inženýrství  
Odbor termomechaniky a techniky prostředí

# Úvod

- ▶ **Motivace**
- ▶ **V čem pracuji**
- ▶ **PMV-PPD model**
- ▶ **Vícesegmentové modely**
- ▶ **Modifikovaný Tanabeho model**
- ▶ **Zhang model**
- ▶ **Propojení modelů**
- ▶ **Závěr**

## ► Vytvořit disertační práci na téma:

Svázaný 1D/3D inteligentní simulační systém na řízení klimatizace v kabině automobilu

## ► Plnit projekty

## ► Simulovat vnitřní klima v kabině automobilu

- Asymetrické působení okolního prostředí (sluneční záření, kontakt řidiče se sedadlem, apod.)
- Větší rozdíly teplot oproti vnitřnímu prostředí v budovách (léto, zima)



*léto*



*zima*



# PMV – PPD Model

Střední předpokládaný tepelný pocit:

$$PMV = (0,303 \cdot e^{-0,036 \cdot M} + 0,028) \cdot L$$

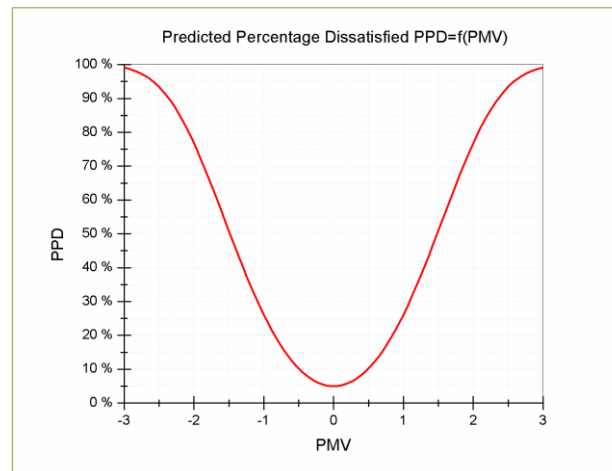
Kde L je tepelná zátěž (rozdíl mezi vnitřní produkcí tepla a tepelnými ztrátami)

Předpokládaný podíl nespokojených lidí

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2) [\%]$$

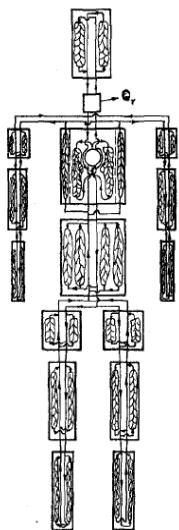
Stupnice tepelných pocitů dle Ashrae:

- +3 horko
- +2 teplo
- +1 mírně teplo
- 0 neutralně
- 1 mírně chladno
- 2 chladno
- 3 zima

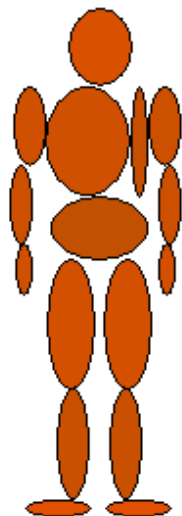


# Vícesegmentové modely

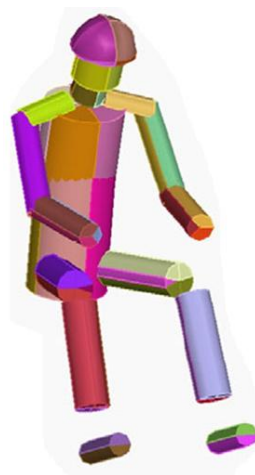
Fyziologie člověka	Tepelné pohody
Wissler	Nilsson (ISO 14502)
Stolwijk	<b>Zhang</b>
Kohri	
Tanabe	
Huizenga	
<u>Fiala</u>	



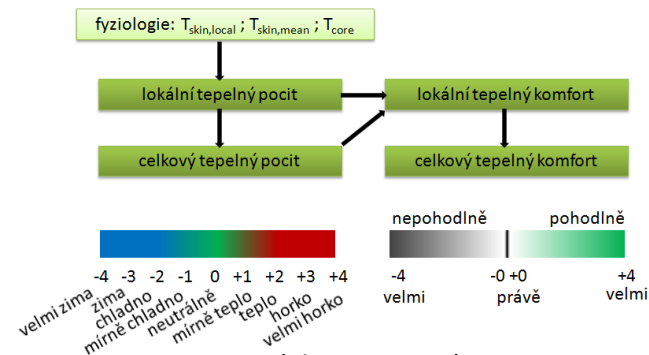
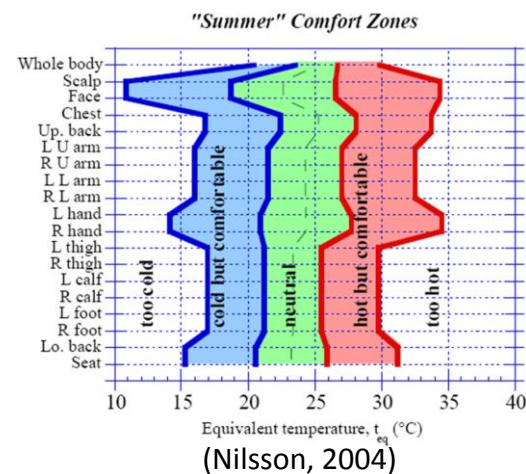
(Wissler, 1964)



(Tanabe, 2002)



(Fiala v THESEUS-FE®, 2007)



(Zhang, 2010)

# Modifikovaný Tanabeho model

- ▶ součinitelé přestupu tepla – empirické vzorce (Nilsson, 2004)
- ▶ žilní a tepenná teplota pro jednotlivé segmenty
- ▶ protiproudá výměna tepla krví

**Vrstva jádra**

$$C(i,1) \cdot \frac{dT(i,1)}{dt} = Q(i,1) - B(i,1) - D(i,1) - RES(2,1) [W]$$

**Vrstva svalů**

$$C(i,2) \cdot \frac{dT(i,2)}{dt} = Q(i,2) - B(i,2) + D(i,1) - D(i,2) [W]$$

**Vrstva tuku**

$$C(i,3) \cdot \frac{dT(i,3)}{dt} = Q(i,3) - B(i,3) + D(i,2) - D(i,3) [W]$$

**Vrstva kůže**

$$C(i,4) \cdot \frac{dT(i,4)}{dt} = Q(i,4) - B(i,4) + D(i,4) - Q_t(i,4) - E(i,4) [W]$$

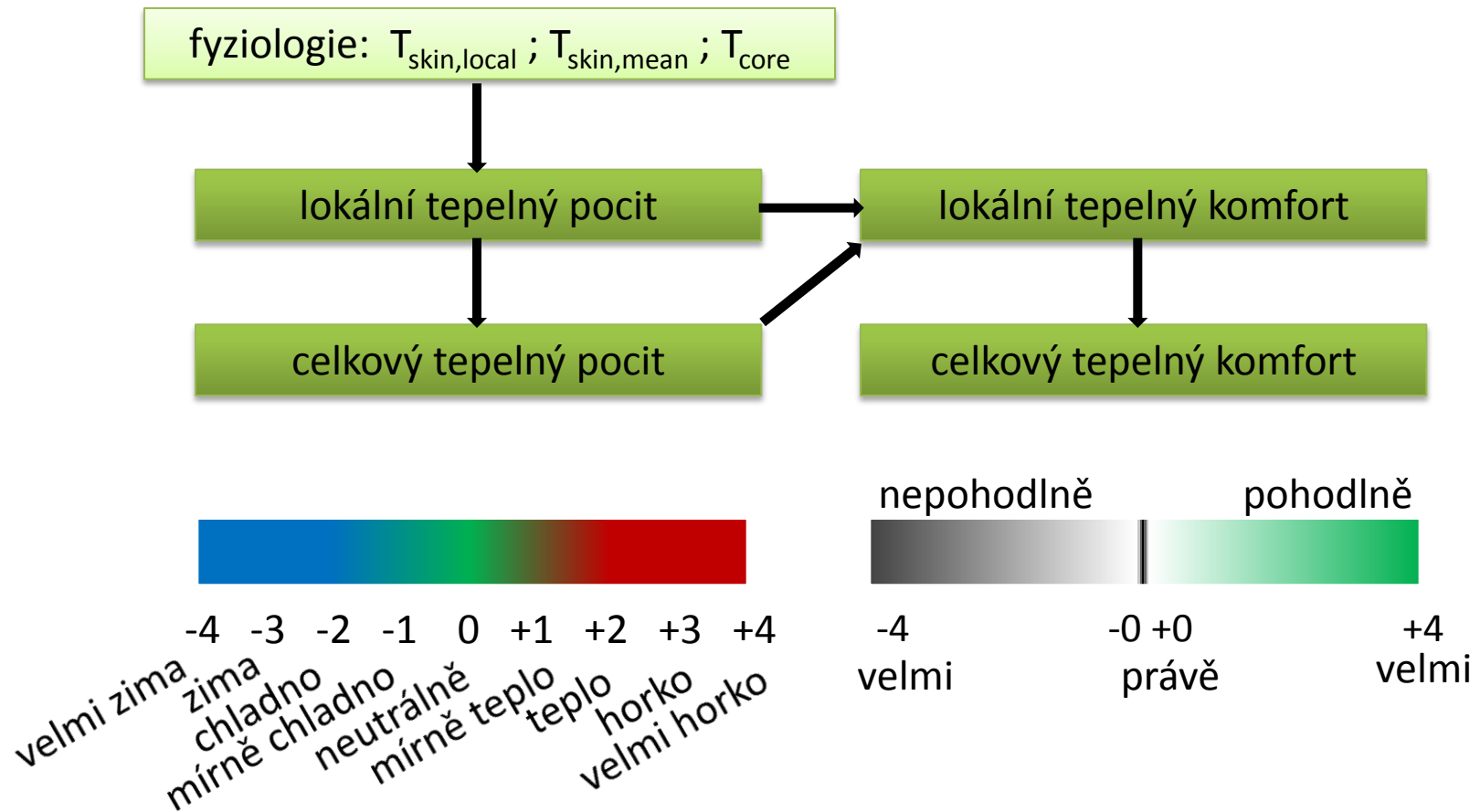
**Krevní zásobiště**

$$T_{po} = \frac{\sum_{i=1}^{16} BF(i) \cdot T_{ve,x}(i)}{\sum_{i=1}^{16} BF(i)} [^{\circ}C]$$

**Zákon zachování hmoty pro krev v cévách a protiproudá výměna tepla krví**

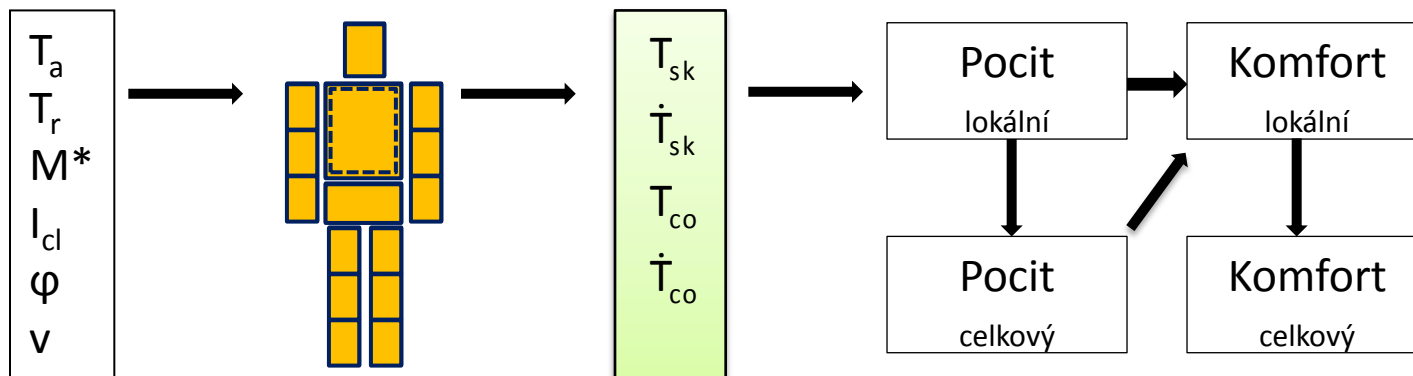
$$\rho c \cdot BF(i) \cdot (T_{po} - T_{ar}(i, j)) = \rho c \cdot BF(i) \cdot (T_{ve,x}(i) - T_{ve}(i)) = h_x(i) \cdot (T_{ar}(i) - T_{ve}(i)) [W]$$

# Zhang model





# Propojení modelů



$T_a$  Teplota vzduchu [°C]

$T_r$  Střední radiační teplota [°C]

$M$  Činnost člověka [met]

$I_{cl}$  Oděv člověka [clo]

$\varphi$  Relativní vlhkost [-]

$v$  Rychlost vzduchu [m/s]

$T_{sk}$  Teplota pokožky [°C]

$T_{co}$  Teplota jádra [°C]

\* Označuje celkový parametr, ostatní jsou lokální

# Testovací scénáře

1. **Neměnné neutrální prostředí (30°C)**
2. **Měnicí se prostředí**
  - a) Na chladné (28-18-28°C)
  - b) Na horké (28-48-28°C)

**Výsledky jsou porovnány s daty:**

## **Střední teplota pokožky**

- ▶ Fialův model – hodnoty z disertační práce (10 segmentů)
- ▶ Theseus–FE – hodnoty z komerčního softwaru (15 segments)
- ▶ Experiment

## **Celkový tepelný pocit**

- ▶ Index DTS dle Fialy

## **Celkový tepelný komfort (neporovnán)**

# Neutrální prostředí

## Vstupní parametry:

$T_a = T_r = 30^\circ\text{C}$ ;  $v = 0,05$  m/s;  $\varphi = 40\%$ ,  $M = 0,8$  met;  $I_{cl} = 0$  clo

## Porovnání výsledků:

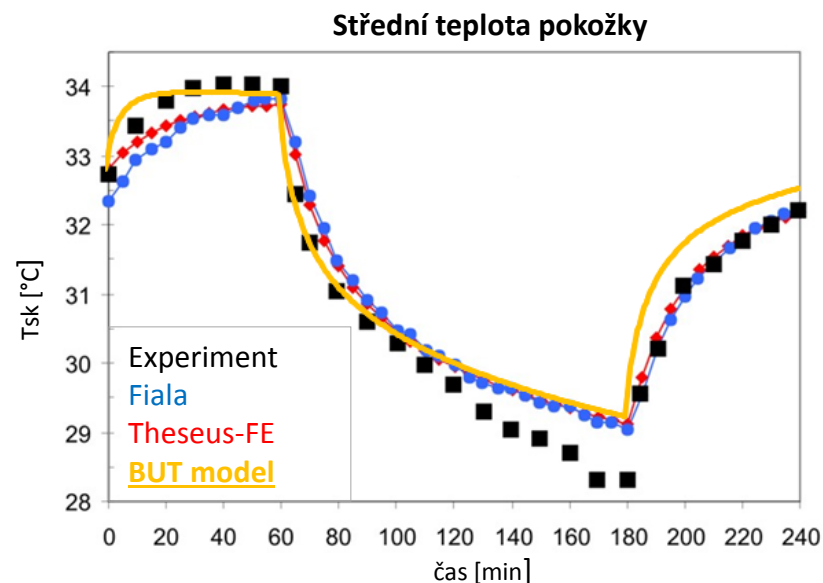
Veličina	Fiala	Theseus-FE	BUT	Jed.	Popis
M	87,1	87,13	87,06	W	Bazální metabolismus
$T_{sk}$	34,4	34,42	34,06	$^\circ\text{C}$	Střední teplota pokožky
$T_{mu}$	36,2	36,02	35,26	$^\circ\text{C}$	Střední teplota svalů
$T_{hy}$	37	36,89	36,89	$^\circ\text{C}$	Teplota hypotalamu
$T_{re}$	36,88	36,79	36,99	$^\circ\text{C}$	Rektální teplota
$h_c$	2,7	2,66	2,83	W / $\text{m}^2\cdot\text{K}$	Střední s.p.t. konvekcí
$h_r$	5	4,5	4,77	W / $\text{m}^2\cdot\text{K}$	Střední s.p.t. radiací
$Q_c$	21,5	21,83	22,17	W	Tepelný tok konvekcí
$Q_r$	38,9	36,94	35,67	W	Tepelný tok radiací
E	18,1	19,43	22,56	W	Tepelný tok vypařováním,
R	8,5	8,93	6,66	W	Tepelný tok dýcháním
$Q_{tot}$	87,0	87,13	87,06	W	Celkové tepelné ztráty

# Měnicí se prostředí

## Vstupní parametry:

$v = 0,1 \text{ m/s}$ ;  $\varphi = 40\%$ ,  $I_{cl} = 0 \text{ clo}$

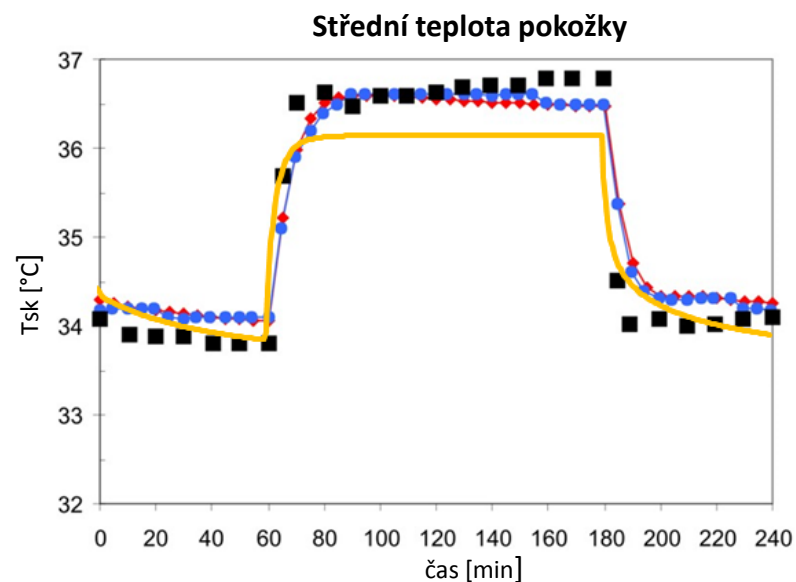
Prostředí	čas [min]	čas [min]	$T_a = T_r$ [°C]	M [met]
Stabilizační	-60	0	22	2,50
Neutrální	0	60	28	1,15
Chladné	60	180	18	1,15
Neutrální	180	240	28	1,15



## Vstupní parametry:

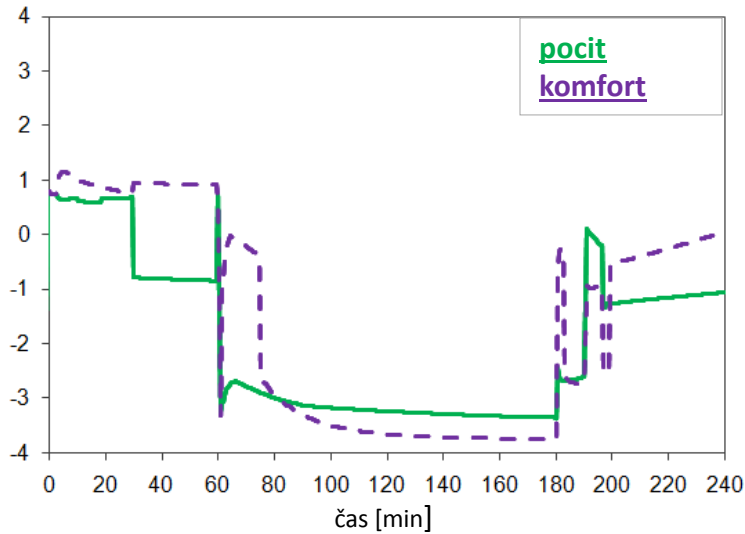
$v = 0,1 \text{ m/s}$ ;  $I_{cl} = 0 \text{ clo}$

Prostředí	čas [min]	čas [min]	$T_a = T_r$ [°C]	M [met]	$\varphi$ [%]
Stabilizační	-60	0	29	2	43
Neutrální	0	60	28	1,15	43
Horké	60	180	48	1,15	27
Neutrální	180	240	28	1,15	44

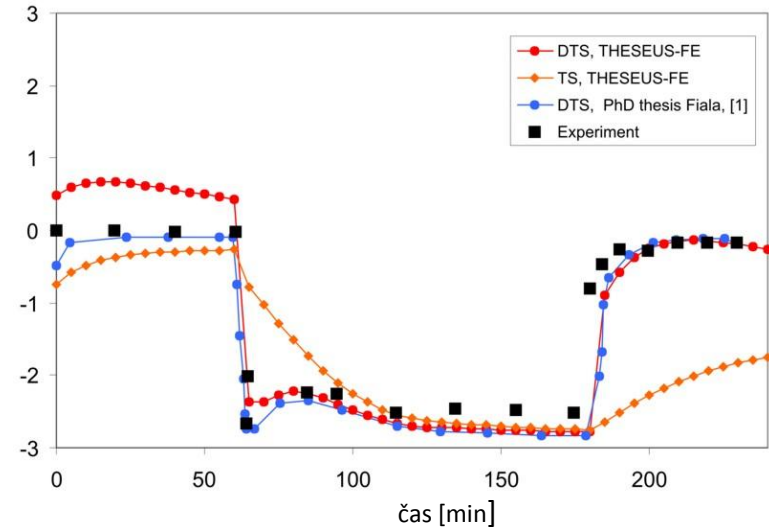


# Měnící se prostředí

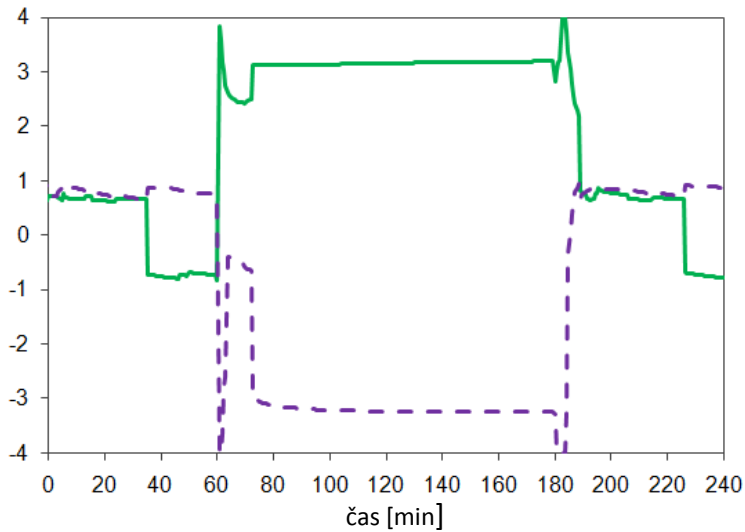
## Celkový tepelný pocit a komfort



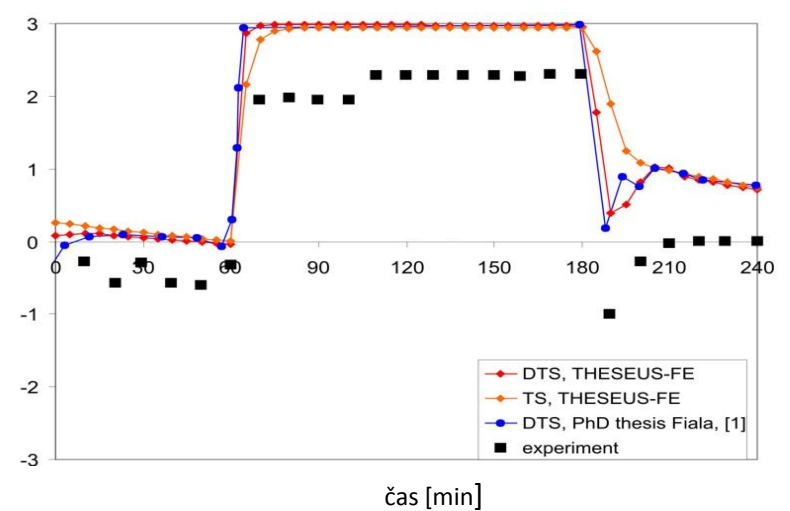
## Index DTS (z [3])



## Celkový tepelný pocit a komfort



## Index DTS (z [3])



▶ **Odstranit nedostatky modelu...**

▶ **Propojit model se CFD**

Vytvoření shellu..., propojení shellu s modelem, jaké jsou možnosti?

▶ **Zkušenosti řidičů s tepelnou pohodou v autě  
(Co vadí, a naopak co oceňujete...)**