

ENERGETICKÝ ÚSTAV

Odbor termomechaniky a techniky prostredí

***NESTACIONÁRNE PROCESY V TECHNIKE
PROSTREDIA A ICH SIMULÁCIA***

***„DYNAMICKÉ CHOVANIE VONKAJŠEJ STENY
S RÔZNÝMI TEPELNÝMI KAPACITAMI “***

***Školiteľ: doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
doc. Dr. Ing. Michal Jaroš***

Ing. Mičková Júlia

26. október 2010

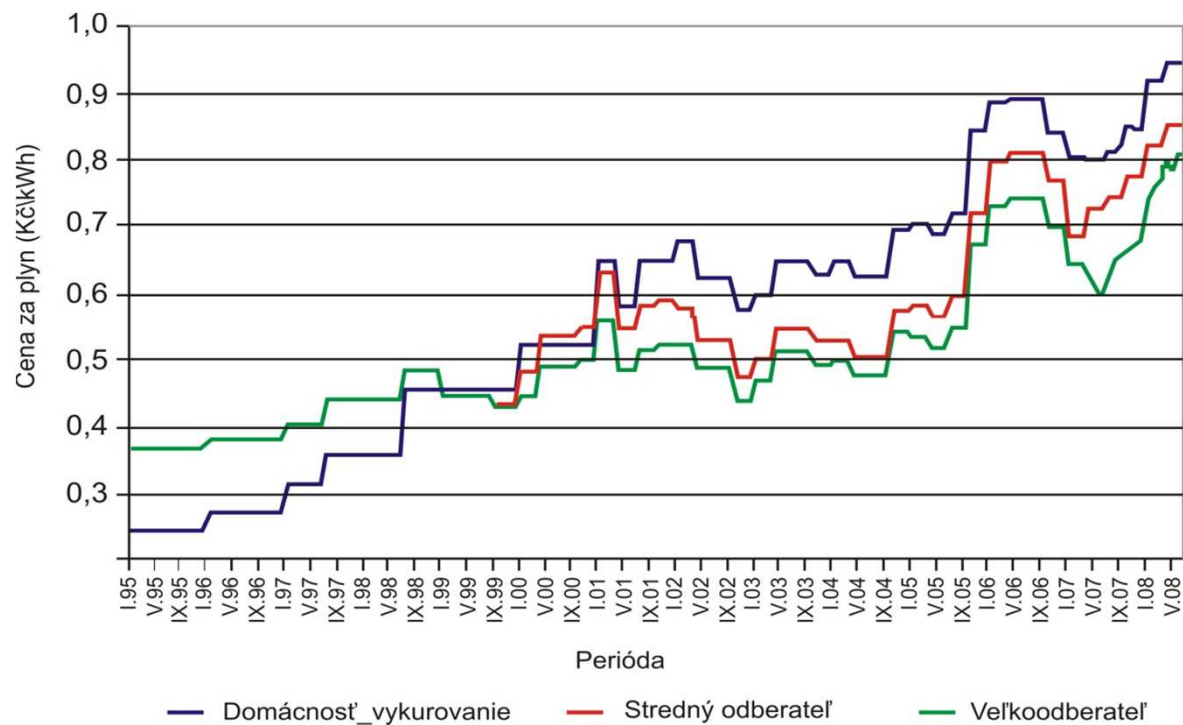
OBSAH

1. **ÚVOD**
 - *motivácia riešenia nestacionárnych procesov*
 - *prerušovaná prevádzka*
2. **NESTACIONÁRNE VEDENIE TEPLA V STENE**
3. **PRENOSOVÁ FUNKCIA**
4. **MODELOVÁ MIESTNOSŤ**
5. **SIMULÁCIA V TRNSYSE**
6. **ZHRNUTIE**
7. **CIELE**

1. ÚVOD

Motivácia riešenia nestacionárnych procesov

Vývoj priemernej ceny zemného plynu pre jednotlivých odberateľov
v r. 1995-2008



2. NESTACIONÁRNE VEDENIE TEPLA V STENE

Jean-Babtiste Joseph de Fourier (1768 – 1830)



- r. 1807 v Grenoble sformuloval zákon vedenia tepla

$$\dot{q} = -\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x}$$

- r. 1822 v Paríži predstavil diferenciálnu rovnicu vedenia tepla

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \underbrace{\left(\frac{\lambda}{c \cdot \rho} \right)}_a \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) \quad (\text{tepelná bilancia elementárneho objemu})$$

a – teplotná vodivosť [m^2/s]

Metódy riešenia rovnice vedenia tepla

- Analytické riešenie (len pre jednoduché okrajové podmienky)
- Numerické metódy
- Ďalšie metódy (Faktor odozvy, Prenosová funkcia, atď.)

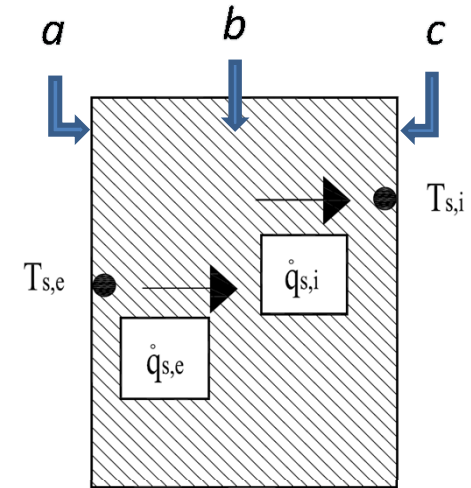
3. PRENOSOVÁ FUNKCIA

Aplikácia prenosovej funkcie v Trnsyse:

- simulácia vychádza z riešenia rovnice vedenia tepla
- formulácia rovníc podľa Mitalasa a Arseneaulta (1971), kde pre tepelné toky stenou platí:

$$\dot{q}_{s,i} = \sum_{k=0}^{n_{b_s}} b_s^k T_{s,e}^k - \sum_{k=0}^{n_{c_s}} c_s^k T_{s,i}^k - \sum_{k=1}^{n_{d_s}} d_s^k \dot{q}_{s,i}^k$$

$$\dot{q}_{s,e} = \sum_{k=0}^{n_{a_s}} a_s^k T_{s,e}^k - \sum_{k=0}^{n_{b_s}} b_s^k T_{s,i}^k - \sum_{k=1}^{n_{d_s}} d_s^k \dot{q}_{s,e}^k$$



„Black box“ model

Kde: a, b, c – prenosové koeficienty [$W/m^2 \cdot K$]
 d – prenosový koeficient [-]

určené z materiálových vlastností steny (λ, c, ρ, d)

k – časový krok (súčasný čas $k = 0$, predchádzajúci čas $k = 1 \dots$)

- výpočet povrchových teplôt a tepelných tokov stien
- homogénny materiál s konštantnými tepelnými vlastnosťami

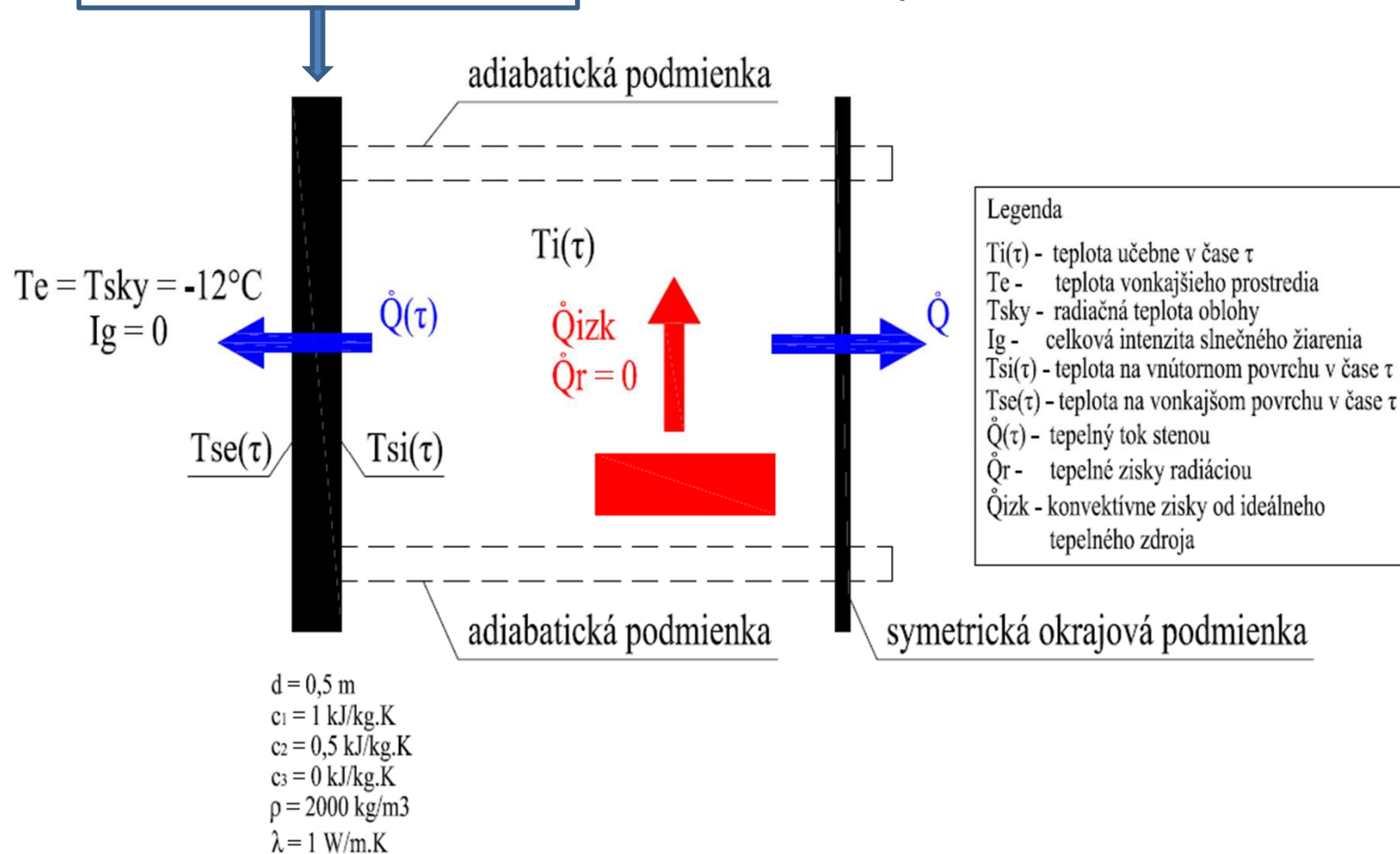
4. MODELOVÁ MIESTNOSŤ

Nástroje použité pri riešení

- simulácia v programe Trnsys 16
- analytický výpočet

1. Hmotná stena (λ, c, ρ)
2. Nehmotná stena (R)

→ zistenie vplyvu tep. kapacít pri zohriatí vnútorného prostredia

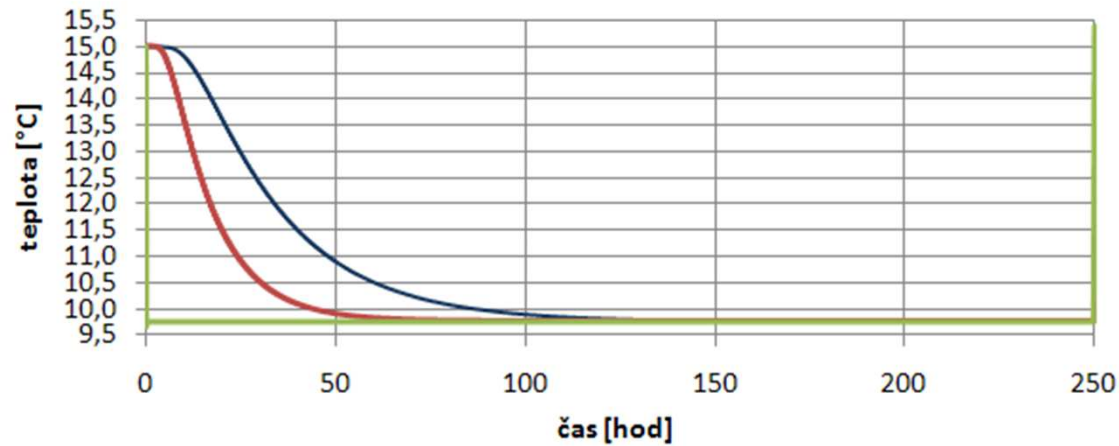


5. SIMULÁCIA V TRNSYSE

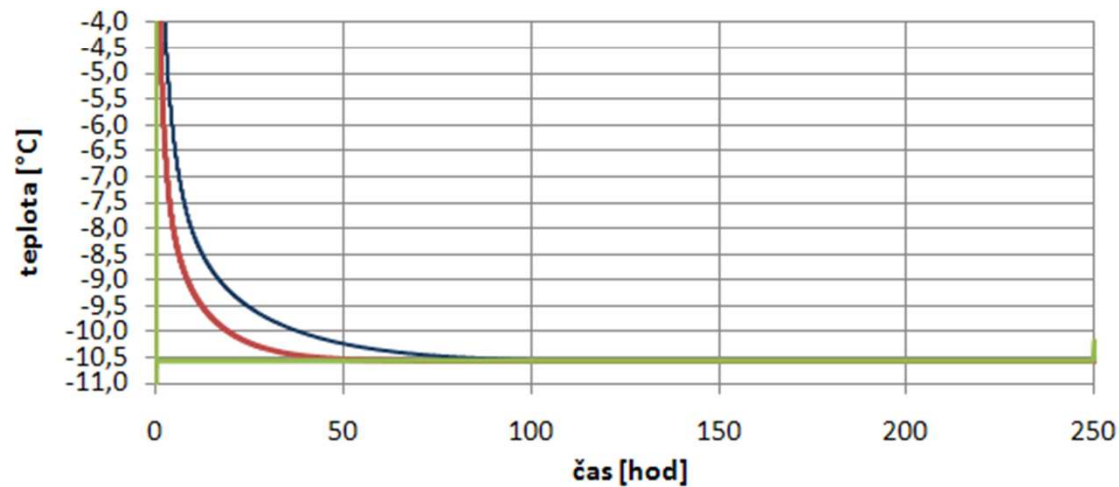
Čas potrebný na ustálenie povrchových teplôt

Okrajové podmienky: $T_e = -12^\circ\text{C}$, $T_i = 15^\circ\text{C}$

Vnútorňá
strana steny



Vonkajšia
strana steny



— $c = 1 \text{ kJ/kg.K}$

— $c = 0,5 \text{ kJ/kg.K}$

— $c = 0 \text{ kJ/kg.K}$

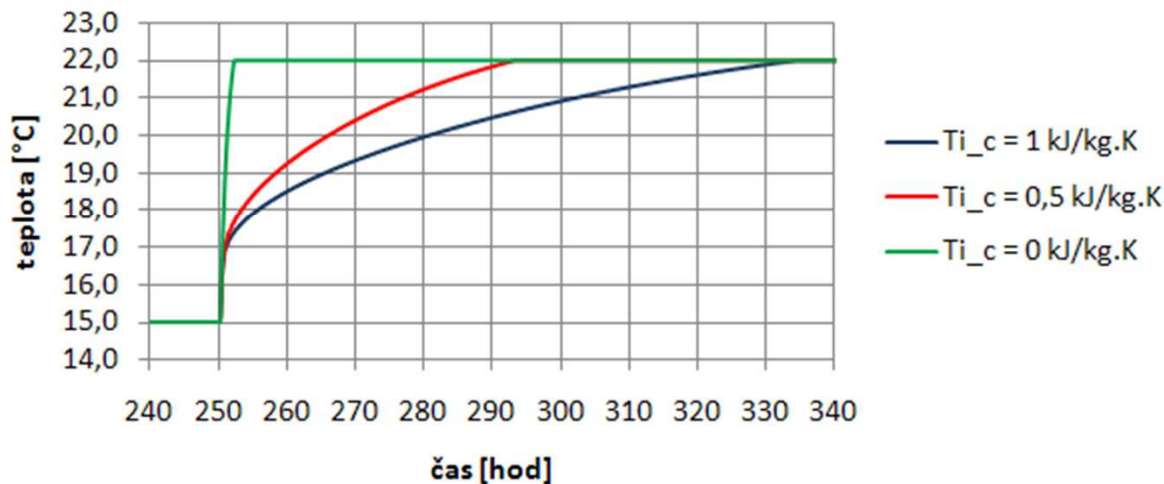
Vývoj teploty vzduchu zmenou tepelného výkonu

Z rovnice tepelného toku

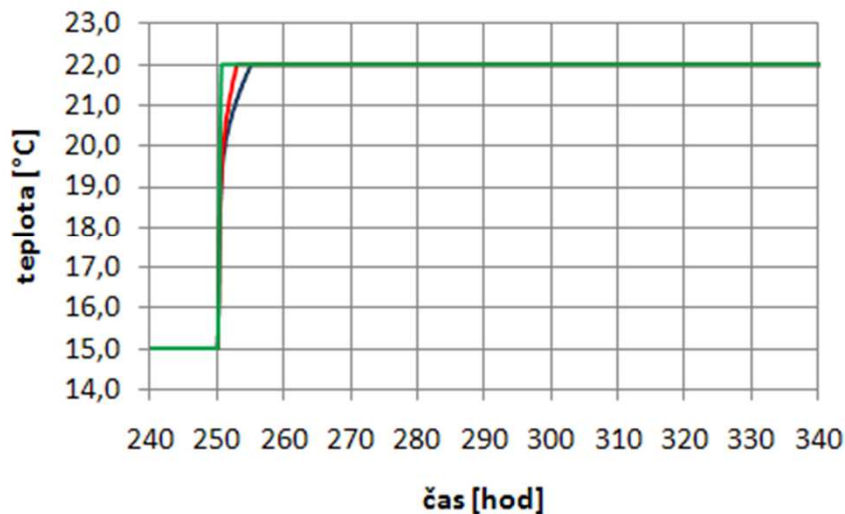
$$\dot{Q} = \frac{S \cdot (T_i - T_e)}{R_{celkový}}$$

dostaneme potrebný výkon 1,5kW na udržanie teploty vzduchu v miestnosti na 22°C

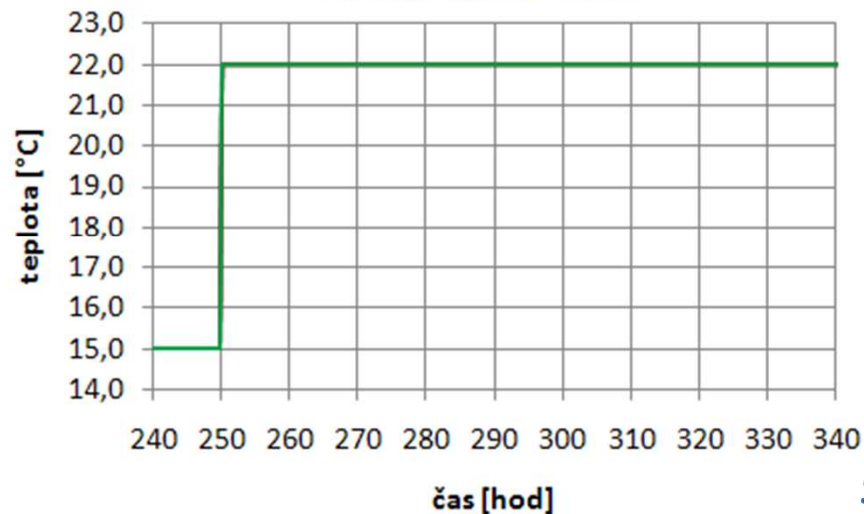
Tepelný výkon 1,5 kW



Tepelný výkon 2 kW



Tepelný výkon 3 kW



Vývoj povrchových teplôt pri rôznych tepelných kapacitách

Z rovnice merného tepelného toku

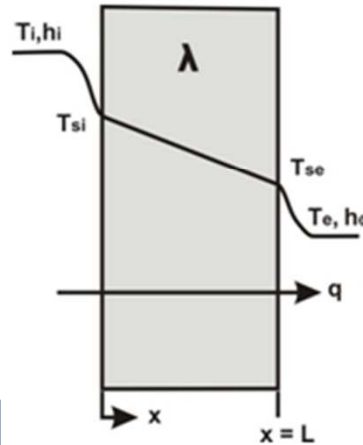
$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{R_{celkový}}$$

pre vnútorný povrch

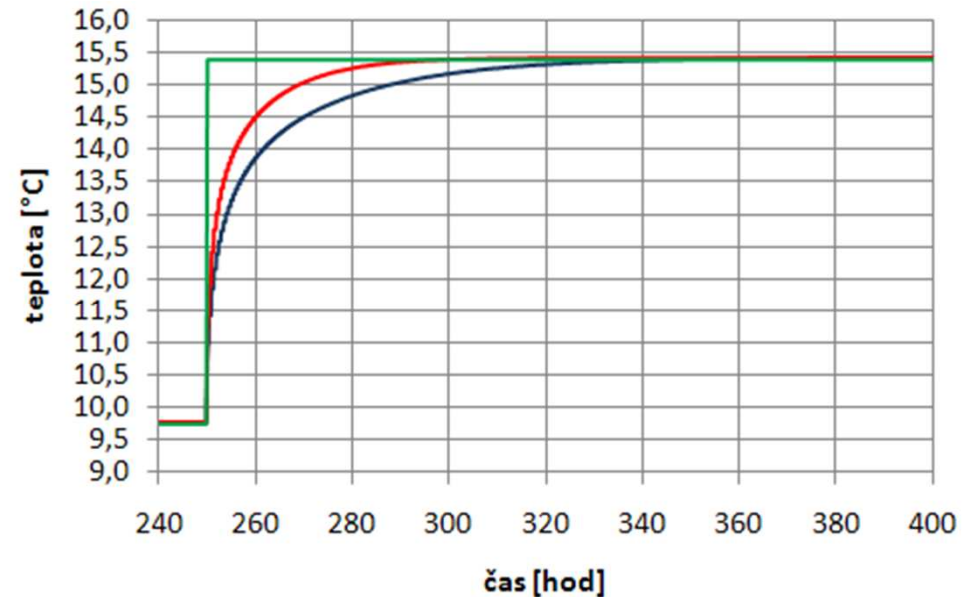
$$\frac{T_i - T_{si}}{R_{\alpha i}} = \frac{T_{si} - T_e}{R_{\lambda} + R_{\alpha e}}$$

pre vonkajší povrch

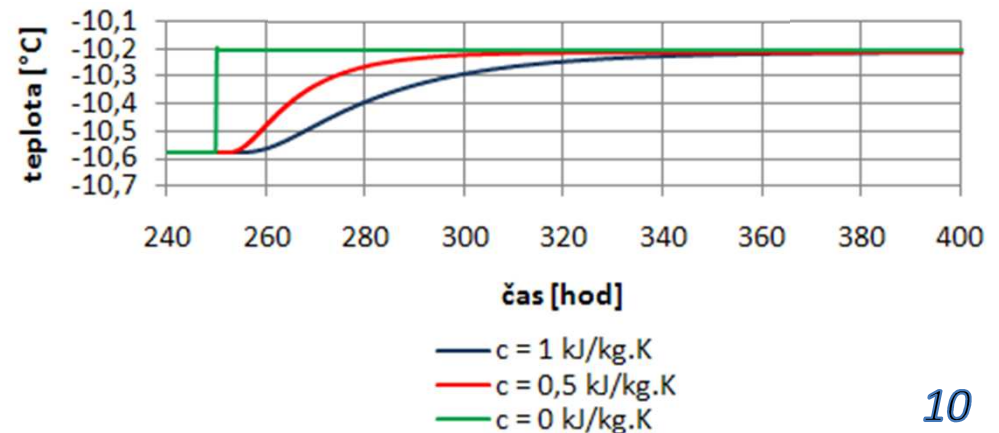
$$\frac{T_e - T_{se}}{R_{\alpha e}} = \frac{T_{se} - T_i}{R_{\lambda} + R_{\alpha i}}$$



Vnútorná strana steny



Vonkajšia strana steny



Porovnanie výsledkov

	Teplota na vonkajšej strane [C]	Teplota na vnútornej strane [C]
Program TRNSYS	-10,21	15,41
Analytický výpočet	-9,97	15,4

6. ZHRNUTIE

- *zoznámenie sa s rozhraním programu Trnsys*
- *prevedenie jednoduchej simulácie na vonkajších stenách*
- *porovnanie dynamických vlastností ľahkej a ťažkej steny*

7. CIELE

Doplnenie modelu:

- *pridanie ďalších stien s reálnymi tepelnými kapacitami*
- *pridanie okna*
- *uvažovanie so slnečným žiarením, výmenou vzduchu v miestnosti, vnútornými zdrojmi tepla, ...*