

Studentská Konference Fakulty Mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Simulační model tepelného výměníku

Abstrakt

Náplní práce je tvorba simulačního modelu regeneračního ohříváku napájecí vody používaného v kondenzačních elektrárnách. Úvod popisuje význam použití regeneračních ohříváků, jejich princip a konstrukční provedení. V hlavní části zprávy je sestaven matematický model na základě metody rozložených parametrů. Ta uvažuje o rozdělení výměníku do jednotlivých elementů. V rámci každého elementu pak předpokládá konstantní hodnoty charakteristických veličin. Simulační model je realizován v prostředí MATLAB. Na závěr je prezentováno statické i dynamické chování výměníku.

Abstract

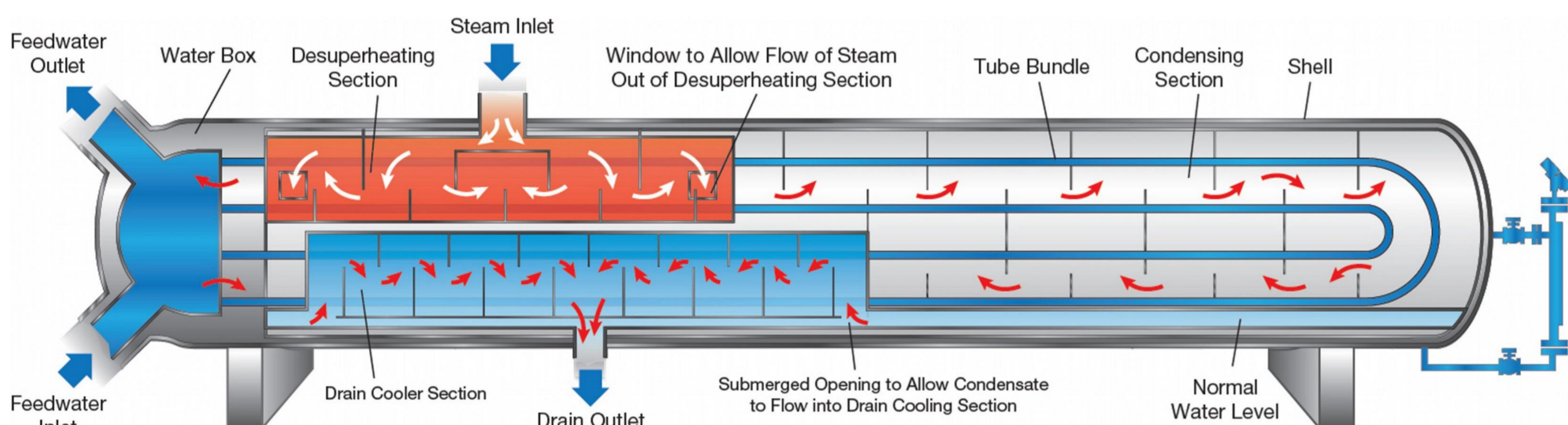
This thesis includes the creation of a simulation model of feedwater heater used in condensing power plants. The introduction describes the significance of using feedwater heaters, their principle and construction design. In the main part of the work, mathematical model of the heater is compiled. The model is based on the method of distributed parameters. It considers the division of the heat exchanger into individual elements. Within each element a constant value of characteristic variables is assumed. The simulation model is realized in the MATLAB environment. Finally, the static and dynamic behavior of the exchanger is presented.

Úvod do problematiky

Úkolem práce je sestavení funkčního modelu regeneračního ohříváku napájecí vody používaného v kondenzačních elektrárnách ke zvýšení jejich účinnosti. Výstupní model bude součástí projektu *Prediktivní řídicí systém pro zlepšení stability a zvýšení účinnosti elektrárenských bloků*. Cílem tohoto projektu je realizace simulačního modelu kompletního elektrárenského kotle včetně souvisejících komponent. Regenerační ohřívák je tepelný výměník, ve kterém pára odebraná z turbíny ohřívá napájecí vodu proudící v trubkách [1], [2]. Pára při předávání tepla napájecí vodě mění skupenství – kondenzuje. K popisu problematiky změny skupenství média je možno přistupovat několika různými metodami. Jednou z možností je uvažovat o výměníku jako o systému s rozloženými parametry [3]. Tento přístup je založen na rozdělení ohříváku do jednotlivých elementů, pro které se následně řeší tepelná výměna.



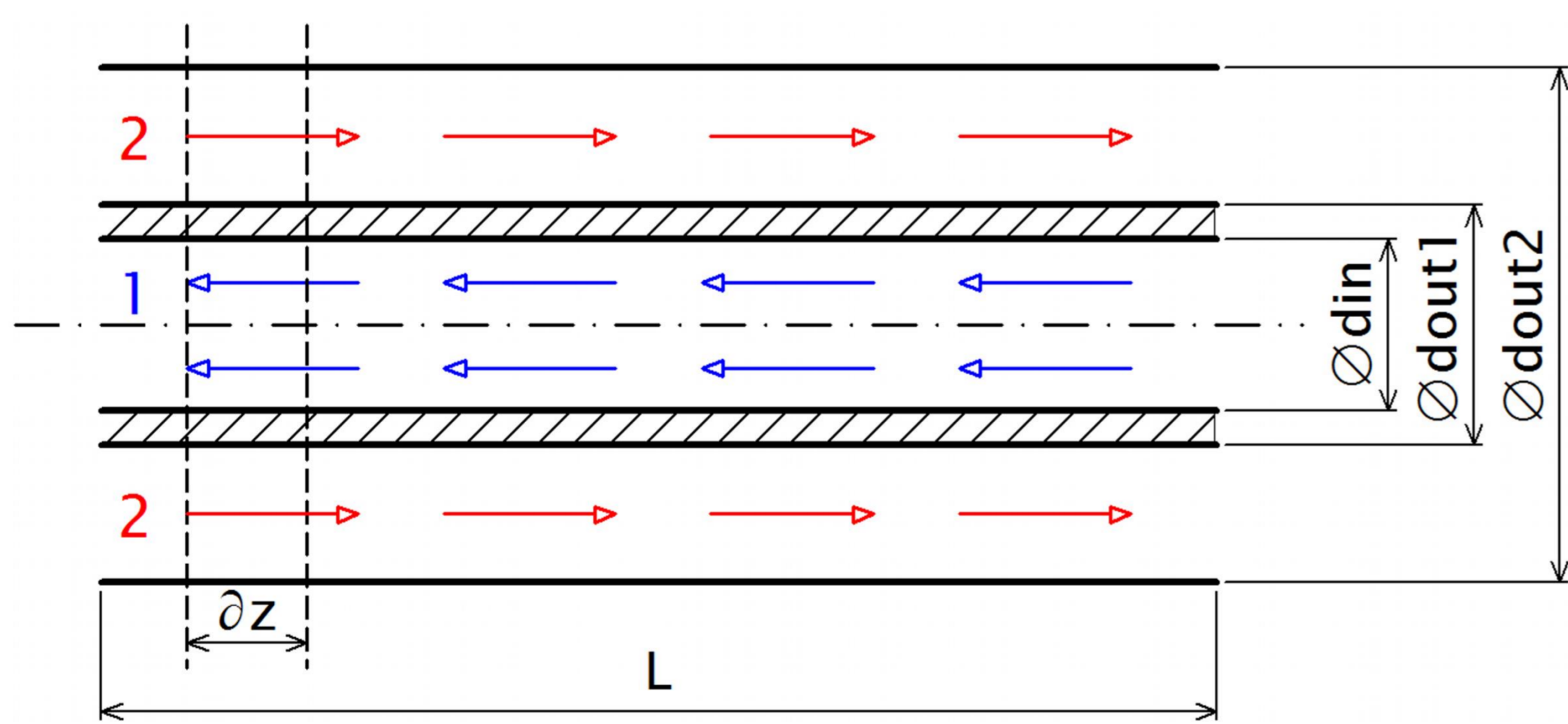
Obr. 1: Regenerační ohřívák napájecí vody



Obr. 2: Princip regeneračního ohříváku napájecí vody

Metoda rozložených parametrů

Při sestavení matematického modelu pomocí metody rozložených parametrů se předpokládá zjednodušení celého regeneračního ohříváku do podoby na obrázku 3. Uvnitř trubky proudí ohřívána napájecí voda. Trubka je vně podélně obtékána zdrojovým médiem v opačném směru. Předpokladem je konstantní tlak i průtok obou médií v celé délce výměníku. Trubka je rozdělena na menší elementy o délce δz . Pro jednotlivé elementy jsou sestaveny energetické a hmotnostní bilance trubky a obou proudících médií. Po určitých úpravách a diskretizaci ve směru proudění lze získat rovnice např. ve tvaru (1), (2), (3).



Obr. 3: Metoda rozložených parametrů – zobecnění výměníku na jedinou trubku

$$\frac{dh_1(t)}{dt} = \frac{\dot{m}_1(t) \cdot N}{A_{cs1} \cdot L} \cdot \Gamma_1(\rho_1, t) \cdot h_1(t) + \frac{\alpha_1 \cdot \pi \cdot d_{in}}{A_{cs1}} \cdot \Psi'_1(\rho_1, t) \cdot (T_{Fe}(t) - T_1(t)) + \Omega_1 \cdot \frac{\dot{m}_1(t) \cdot N}{A_{cs1} \cdot L} \cdot \frac{h_{1in}(t)}{\rho_{1in}(t)} \quad (1)$$

$$\frac{dh_2(t)}{dt} = \frac{\dot{m}_2(t) \cdot N}{A_{cs2} \cdot L} \cdot \Gamma_2(\rho_2, t) \cdot h_2(t) + \frac{\alpha_2 \cdot \pi \cdot d_{out1}}{A_{cs2}} \cdot \Psi'_2(\rho_2, t) \cdot (T_{Fe}(t) - T_2(t)) + \Omega_2 \cdot \frac{\dot{m}_2(t) \cdot N}{A_{cs2} \cdot L} \cdot \frac{h_{2in}(t)}{\rho_{2in}(t)} \quad (2)$$

$$\frac{dT_{Fe}(t)}{dt} = \frac{\alpha_1 \cdot S_{in}}{m_c \cdot c_{pt}} \cdot (T_1(t) - T_{Fe}(t)) + \frac{\alpha_2 \cdot S_{out1}}{m_c \cdot c_{pt}} \cdot (T_2(t) - T_{Fe}(t)) \quad (3)$$

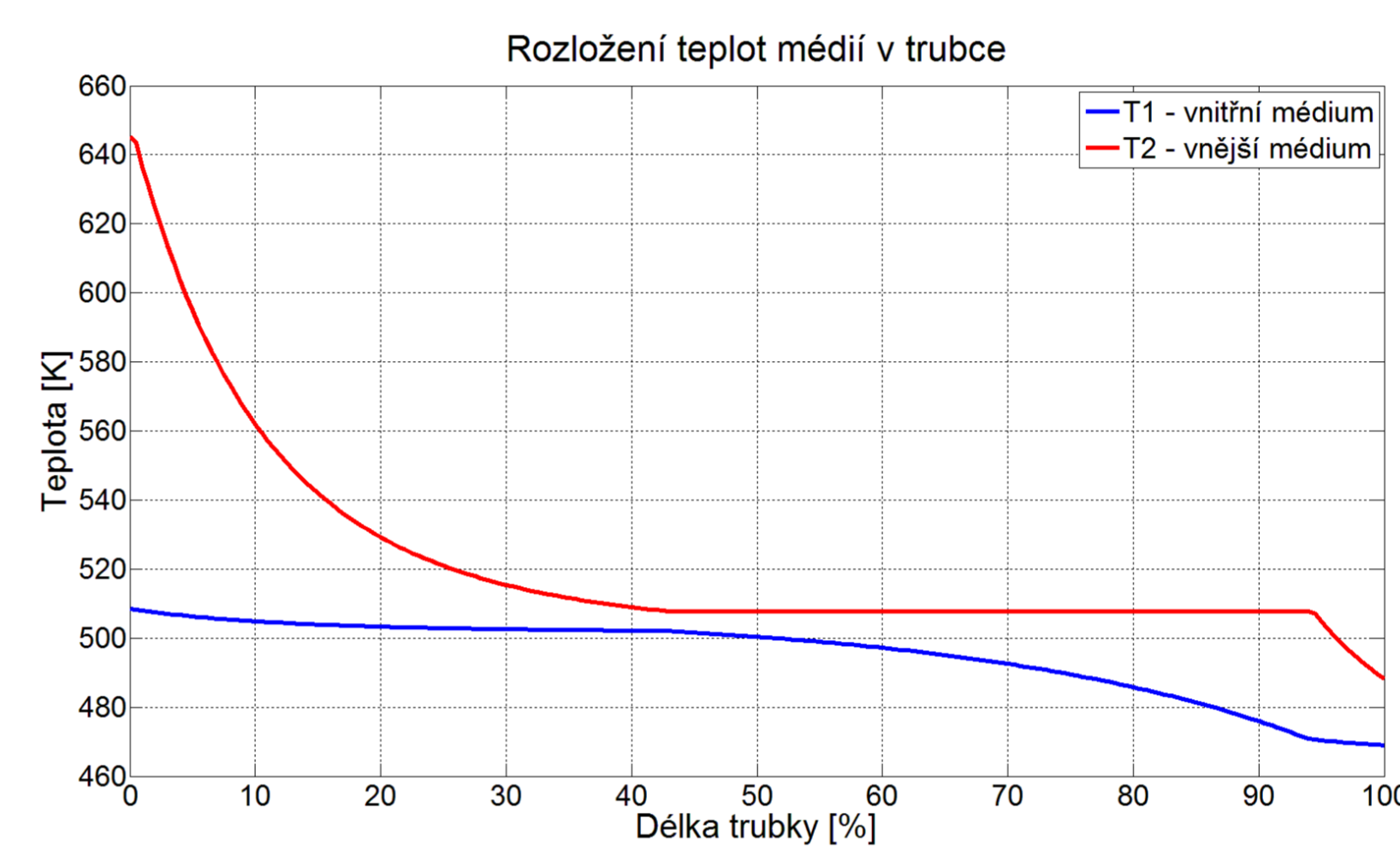
* E-mail: jaroslav.srefl@tul.cz

$$\Gamma_1(\rho_1, t) = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\rho_{1,1}} & \frac{1}{\rho_{1,1}} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -\frac{1}{\rho_{1,2}} & \frac{1}{\rho_{1,2}} & \dots & \vdots \\ \vdots & 0 & -\frac{1}{\rho_{1,3}} & \ddots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \frac{1}{\rho_{1,N-1}} \\ 0 & \dots & \dots & 0 & -\frac{1}{\rho_{1,N}} \end{bmatrix}, \Psi'_1(\rho_1, t) = \begin{bmatrix} \frac{1}{\rho_{1,1}} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \dots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \frac{1}{\rho_{1,N}} \end{bmatrix}, \Omega_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\Gamma_2(\rho_2, t) = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\rho_{2,1}} & 0 & \dots & \dots & 0 \\ \frac{1}{\rho_{2,2}} & -\frac{1}{\rho_{2,2}} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{1}{\rho_{2,3}} & -\frac{1}{\rho_{2,3}} & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \frac{1}{\rho_{2,N}} & -\frac{1}{\rho_{2,N}} \end{bmatrix}, \Psi'_2(\rho_2, t) = \begin{bmatrix} \frac{1}{\rho_{2,1}} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \dots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \frac{1}{\rho_{2,N}} \end{bmatrix}, \Omega_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

Výsledky simulací

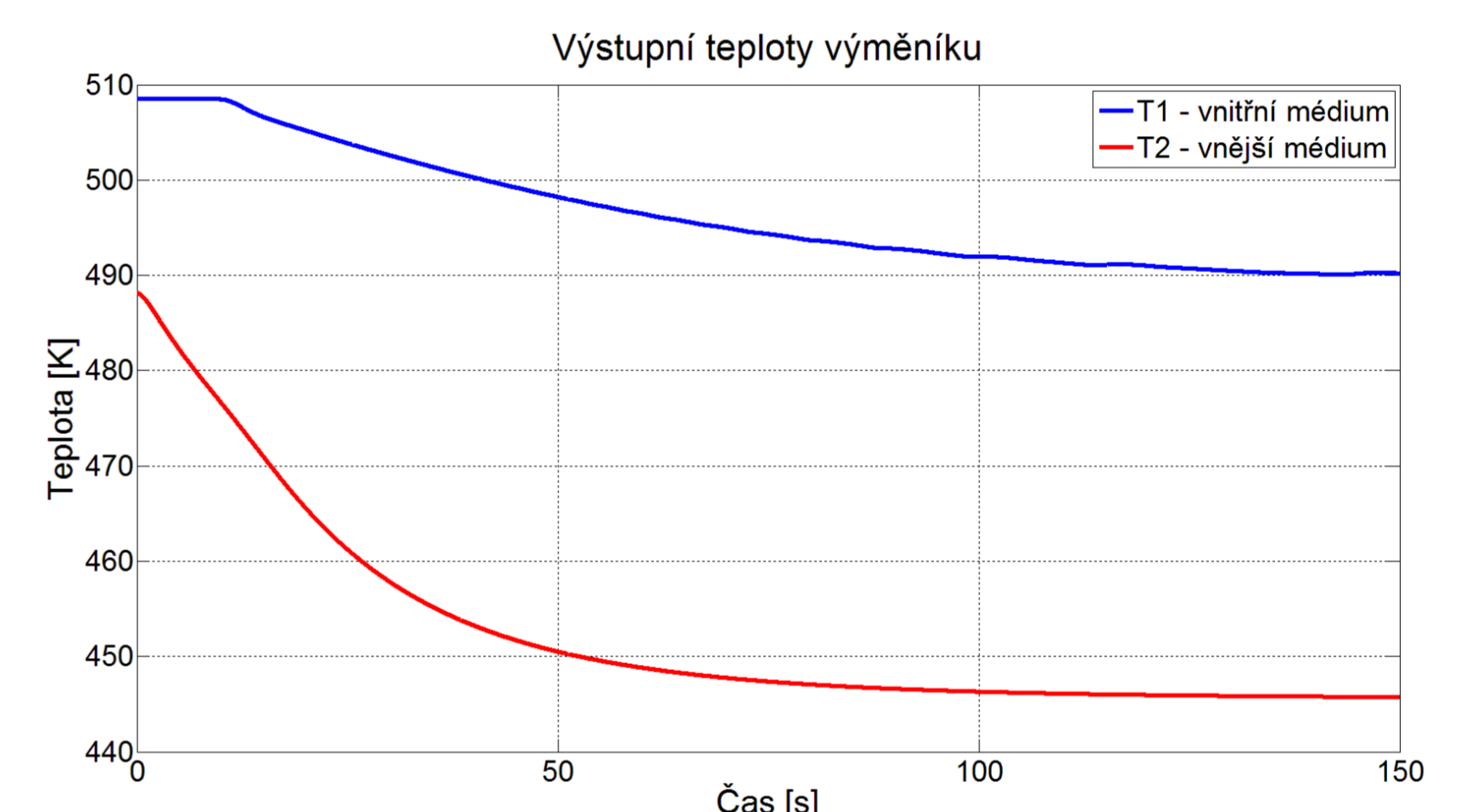
Vyřešením soustavy diferenciálních rovnic (1), (2), (3) získáme rozložení teplot jednotlivých elementů ve výměníku. Zároveň lze sledovat i časový průběh teploty vybraného elementu.



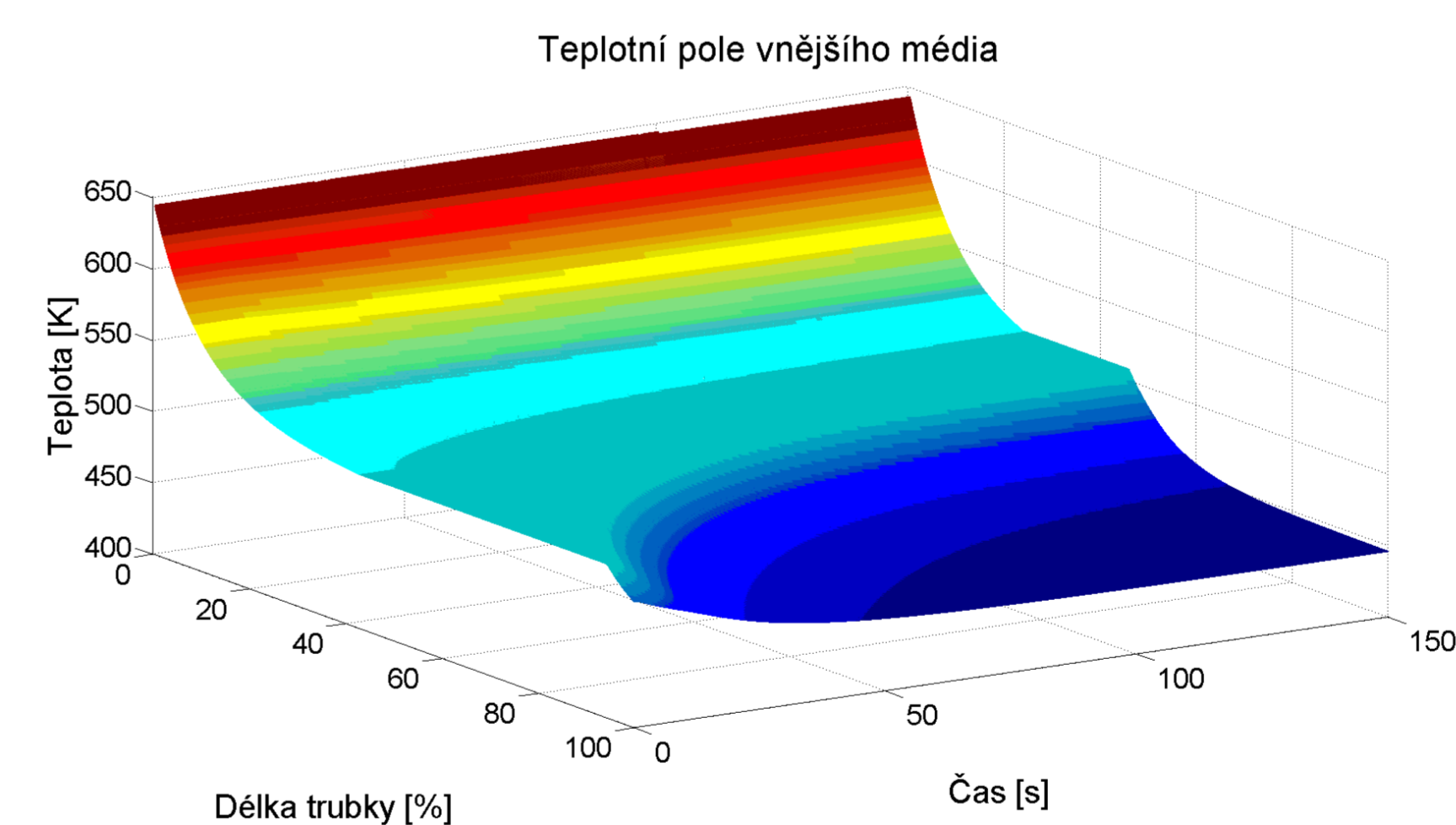
Obr. 4: Rozložení teplot médií ve výměníku – ustálený stav

Obr. 4 popisuje rozložení teplot proudících médií v ustáleném stavu. Z průběhu lze snadno zjistit, ve které části výměníku proudí přehřátá, či mokrá pára a kde protéká již kapalným kondenzát. Dále je možné pozorovat změnu výstupních teplot oproti vstupu, tzn., o kolik K se ohřeje napájecí voda, respektive zchladí vstupující pára.

Dynamické vlastnosti jsou dány časovými průběhy teplot vybrané části výměníku. Reakci výstupních teplot proudících médií na skokovou změnu vstupní teploty vnitřního média (napájecí vody) v čase $t = 0$ lze sledovat na obr. 5. Změna teploty napájecí vody na výstupu se projevuje s určitým časovým zpožděním, které je závislé na rychlosti proudění média.



Obr. 5: Odezva na snížení vstupní teploty vnitřního média o 5 %



Obr. 6: Teplotní pole vnějšího média při snížení vstupní teploty vnitřního média o 5 %

Trojrozměrné teplotní pole vnějšího média na obr. 6 popisuje jak statické, tak dynamické vlastnosti výměníku. Obrázek opět odpovídá poklesu vstupní teploty vnitřního média o 5 %.

Závěr

V rámci práce byly odvozeny diferenciální rovnice, které tvoří matematický model protiproudého regeneračního ohříváku napájecí vody. Následně byl model realizován v prostředí Matlab – Simulink. Výsledky simulací popisující statické i dynamické vlastnosti výměníku ukazují výše uvedené obrázky. Výsledný model může sloužit k návrhu konstrukce výměníku, pro simulaci chování výměníku v provozu nebo k návrhu, či optimalizaci řídicích algoritmů. Přesnost modelu závisí na počtu elementů, na které je výměník rozdělen. S vyšším počtem elementů roste přesnost, ale také se razantně prodlužuje doba výpočtu. Pro použití modelu v oblasti řízení by bylo vhodné mezi výstupy modelu zařadit i výšku hladiny kondenzátu, která je v reálném provozu také regulována.

Reference

- [1] Feedwater Heaters, Coolers: Optimization of thermodynamic design. *Thermal PowerTec Ltd.* [online]. 1993 [cit. 2014-03-03]. Dostupné z: <http://www.tpowertec.com/heatexchangers.htm>
- [2] Basic of closed feedwater heaters. *Tech Sheet* [online]. 2007, č. 127 [cit. 2014-03-01]. Dostupné z: <http://heatexchange.org/pdf/techsheets/TechSheet127.pdf>
- [3] HUBKA, Lukáš. *Vybrané modely funkčních podsystemů parního kotle*. Liberec, 2010. Disertační práce. Technická univerzita v Liberci.