

Simulační model tepelného výměníku

Jaroslav Šrefl, Lukáš Hubka

Abstrakt

Práce se zabývá tvorbou simulačního modelu protiproudého regeneračního ohříváku. V úvodu jsou uvedeny přístupy řešení problematiky popisu vstupující páry, která během předávání energie napájecí vodě kondenzuje na kapalinu. Dále je blíže popsán postup sestavení modelu pomocí metody rozložených parametrů. V kapitole výsledky a diskuze jsou prezentovány výsledky simulací realizovaného modelu. Závěr shrnuje výstupy práce a možnosti uplatnění vzniklého modelu.

Úvod

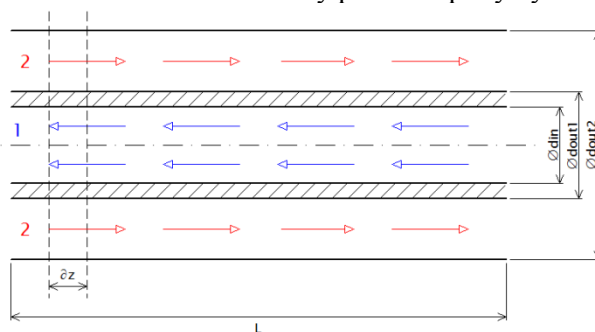
Úkolem práce je sestavení funkčního modelu regeneračního ohříváku napájecí vody používaného v kondenzačních elektrárnách. Výstupní model bude součástí projektu *Prediktivní řídicí systém pro zlepšení stability a zvýšení účinnosti elektrárenských bloků*. Cílem tohoto projektu je realizace simulačního modelu kompletního elektrárenského kotle včetně souvisejících komponent.

Regenerační ohřívák je tepelný výměník, ve kterém pára odebraná z turbíny ohřívá napájecí vodu proudící v trubkách. Pára při předávání tepla napájecí vodě mění skupenství – kondenzuje. K popisu problematiky změny skupenství média je možno přistupovat několika různými metodami. Metodu nazývanou moving boundary popisují např. autoři článků [2], [3]. Metoda pojednává o rozdělení výměníku do tří zón podle skupenství zdrojového média. Další možností je uvažovat o výměníku jako o systému s rozloženými parametry [1]. Tento přístup je založený na rozdělení ohříváku do jednotlivých elementů, pro které se následně řeší tepelná výměna. Využit lze i iterační metody, která je popsána např. autory v článku [4].

Experiment a metody

Při sestavení matematického modelu pomocí metody rozložených parametrů se předpokládá zjednodušení celého regeneračního ohříváku do podoby na obrázku 1. Uvnitř trubky proudí ohřívána napájecí voda. Trubka je vně 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 ∂z .

Pro jednotlivé elementy jsou sestaveny energetické a hmotnostní bilance trubky a obou proudících médií. Vyřešením soustavy diferenciálních rovnic získáme rozložení teplot jednotlivých elementů ve výměníku. Zároveň lze sledovat i časový průběh teploty vybraného elementu.

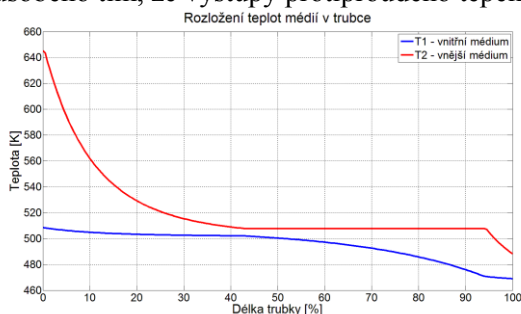


Obrázek 1. Zjednodušení výměníku na jednu trubku. 1 – vnitřní médium (napájecí voda), 2 – vnější médium (vstupující pára)

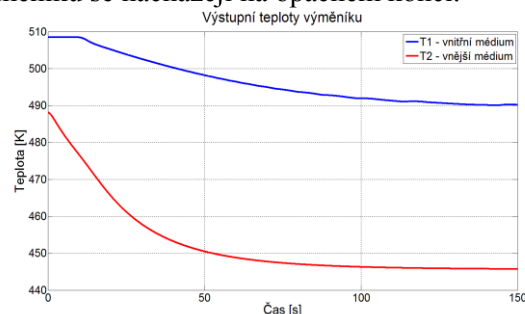
Výsledky a diskuze

Jedním z výsledků simulace je rozložení teplot proudících médií ve výměníku. Obrázek 2 odpovídá ustálenému stavu. Z tohoto výstupu simulace je vidět, v jaké části výměníku se nachází pára a v jaké části proudí již kapalný kondenzát. Průběh teploty závisí na vstupních parametrech médií (vstupní teplota, tlak, průtok), ale také na konstrukčních parametrech výměníku (tloušťka stěny trubky, velikost teplosměnné plochy). Z rozložení teplot ve výměníku lze také snadno odečíst změny teplot na výstupu oproti vstupu.

Obrázek 3 popisuje časovou závislost výstupních teplot výměníku. Průběh odpovídá odezvě na skokové snížení vstupní teploty napájecí vody o 5 %. Na první pohled může být matoucí, že teplota vnitřního média nabývá vyšších hodnot než výstupní teplota zdrojového vnějšího média. To je způsobeno tím, že výstupy protiproudého tepelného výměníku se nacházejí na opačném konci.



Obrázek 2. Rozložení teplot proudících médií ve výměníku



Obrázek 3. Časový průběh výstupních teplot proudících médií

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] HUBKA, Lukáš. *Vybrané modely funkčních podsystému parního kotle*. Liberec, 2010. Disertační práce. Technická univerzita v Liberci.
- [2] LI, Haipeng, Xiaojin HUANG a Liangju ZHANG. A lumped parameter dynamic model of the helical coiled once-through steam generator with movable boundaries. *Nuclear Engineering and Design* [online]. 2008, vol. 238, issue 7, s. 1657-1663 [cit. 2014-04-17]. DOI: 10.1016/j.nucengdes.2008.01.009. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S002954930800071X>
- [3] MILIÁN, V., J. NAVARRO-ESBRÍ, D. GINESTAR, F. MOLÉS a B. PERIS. Dynamic model of a shell-and-tube condenser. Analysis of the mean void fraction correlation influence on the model performance. *Energy* [online]. 2013, vol. 59, č. 59, s. 521-533 [cit. 2014-04-17]. DOI: 10.1016/j.energy.2013.07.053. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544213006592>
- [4] HUSSAINI, Irfan S., Syed M. ZUBAIR a M.A. ANTAR. Area allocation in multi-zone feedwater heaters. *Energy Conversion and Management* [online]. 2007, vol. 48, issue 2, s. 568-575 [cit. 2014-04-17]. DOI: 10.1016/j.enconman.2006.06.003. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0196890406001968>