

## 1. Úvod

V návaznosti na projekt ev. č. 2A- 1TP1/067 podporovaný Ministerstvem Průmyslu a Obchodu a projekt vypsaný CP ESFR vypsaný v 7. rámcovém programu je řešen projekt výměníku tepla pro JE se sodíkem chlazeným rychlým reaktorem.

## 2. Výchozí parametry pro návrh tepelného výměníku

Tepelný výkon smyčky: 600 MW  
Počet smyček 6  
Celkový tepelný výkon 3600 MW

Teplota sodíku na výstupu: 525 °C  
Teplota sodíku na vstupu: 340 °C

Pracovní látkou Braytonova oběhu je CO<sub>2</sub>

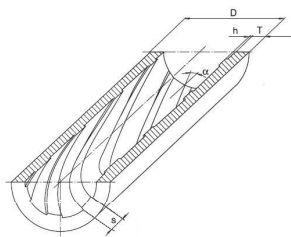
## 3. Koncepce tepelného výměníku

Koncepce tepelného výměníku byla zvolena ve spolupráci s autorem studie [2]. Výpočet i konstrukce tepelného výměníku jsou voleny tak, aby byly v maximální míře podobné této studii a výsledky obou studií byly porovnatelné.

Jako základní koncepce tepelného výměníku byl tedy zvolen tepelný výměník typu Trubka v trubce. Sodík je v koncepci uvažován v mezitrubkovém prostoru a oxid uhličitý je uvažován v trubkovém prostoru. Pro zvýšení přestupu tepla na straně CO<sub>2</sub> je v konstrukci uvažována vnitřně žebrovaná trubka.

Jako materiál pro výrobu tepelného výměníku je uvažována ocel 2¼Cr-1Mo. Této oceli je chemicky nejbližší ocel 15 313.

Při výpočtu bylo dále rozhodnuto, že k přenesení tepelného výkonu jedné smyčky bude použito 6 tepelných výměníků, každý tedy s tepelným výkonem 100 MW.



Obr 1: Vnitřně žebrovaná trubka v řezu [4]

## 4. Parametry oxidu uhličitého

Parametry oxidu uhličitého byly zvoleny ze studie [3].

Teplota oxidu uhličitého na výstupu: 520 °C  
Teplota oxidu uhličitého na vstupu: 323,8 °C  
Tlak oxidu uhličitého: 8,9 MPa

## 5. Optimalizační parametry tepelného výměníku

Při návrhu tepelného výměníku byly uvažovány různé kombinace a průměru teplosměnných trubek. Tyto kombinace zásadním způsobem ovlivňovaly provozní a konstrukční charakteristiky tepelného výměníku. Pro optimalizaci provozních a konstrukčních charakteristik tepelného výměníku byly vybrány tyto parametry:

- Modifikovaná měrná hmotnost
- Přípustná délka modulu tepelného výměníku
- Střední měrný tepelný tok teplosměnnou plochou
- Vnitřní průměr obalové trubky
- Třecí tlaková ztráta sodíku
- Celková tlaková ztráta sodíku
- (Délka tepelného výměníku)

Výše uvedené parametry byly vynášeny do grafů v závislosti na délce tepelného výměníku a následně analyzovány. Ta byla pro návrh tepelného výměníku velmi důležitým parametrem, protože je omezena maximální výrobitelnou délkou teplosměnných trubek (v případě překročení této délky je nutno tepelný výměník rozdělit na více modulů).

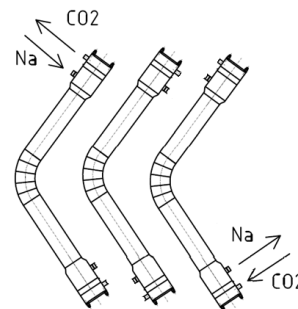
## 6. Projektové řešení tepelného výměníku

Z důvodů maximální výrobitelné délky trubek bylo nutno tepelný výměník rozdělit do tří identických modulů, které jsou schématicky zobrazeny na obrázku č. 2. Parametry jednoho modulu tepelného výměníku jsou zobrazeny v tabulce č. 1.

počet trubek	délka trubkového svazku	vnitřní průměr pláště	počet článků	celková tlaková ztráta Na	celková tlaková ztráta CO <sub>2</sub>	střední tepelný tok	modif. hmotnost
[-]	[mm]	[mm]	[-]	[kPa]	[kPa]	[kW/m <sup>2</sup> ]	[kg/MW]
1024	16 948	1 220,4	3	64,12	1 124,2	35,1	951,7

Tab. č. 1: Parametry jednoho modulu tepelného výměníku

Na obr. 2 jsou zobrazeny moduly tepelného výměníku v jejich předpokládané funkční poloze. Jejich propojení není ve studii řešeno. Moduly jsou prohnuté z důvodu snažšího zpracování tepelných dilatací. Moduly jsou navrženy s odnímatelným víkem komory CO<sub>2</sub> pro možnou inspekci trubek.



Obr. 2: Tři moduly, ze kterých se sestává jeden tepelný výměník

## 7. Porovnání modulu tepelného výměníku s jinými jednotkami

Pro porovnání tepelného výměníku byly vybrány zejména tyto jednotky: sodíkový parogenerátor [2] a vlásenkový tepelný výměník Na-CO<sub>2</sub> [5]. Porovnání je uvedeno v tab. č. 2.

	měrný tepelný tok	hmotnost trub. svazku/MWt	tlaková ztráta Na	tlaková ztráta CO <sub>2</sub>	tlaková ztráta H <sub>2</sub> O
	[kW/m <sup>2</sup> ]	[kg/MWt]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
Navržený modul	28,69	684,29	64,12	1124,0	x
Vlásenkový výměník Na-CO <sub>2</sub> [5]	30,58	513,36	732,69	650,37	x
Sodíkový parogenerátor [2]	120,11	261,41	33,34	x	35,2

Tab. č. 2: Porovnání jednotek tepelných výměníků

Jak je patrné z tab. č. 2, nejlepší parametry vykazuje sodíkový parogenerátor. Je to zejména z toho důvodu, že voda má lepší termofyzikální vlastnosti než oxid uhličitý a také tepelný spád tohoto tepelného výměníku je větší než u navrhovaného modulu.

## Poděkování

Autor práce děkuje Ministerstvu průmyslu a obchodu ČR za finanční podporu řešení projektu ev. č. 2A-1TP1/067, na jehož základě mohl příspěvek vzniknout.

## Odkazy a literatura

- [1] FORAL, Š. *Výměníky tepla Sodík-Oxid uhličitý pro JE se sodíkem chlazeným rychlým reaktorem (SFR)*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011, 69 s. Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Oldřich Matal CSC.
- [2] KALÁB, C. *Modul parního generátoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 84s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Oldřich Matal, CSC.
- [3] FIEDLER, J.; ŠEN, H. *Výzkum parametrů a vlastností Braytonova cyklu pro pokročilý rychlý reaktor*. Energetický ústav, Odbor energetického inženýrství, FSI, VUT v Brně: FSI, VUT v Brně, 2008.
- [4] *Katalóg výrobov : spoločnosti na rok 2009* [online]. 6. vydanie. Podbrezová : Železiarné Podbrezová, a.s., 2008, [cit. 2010-02-28]. Dostupné z WWW: <http://www.zelpo.sk/>. [e- kniha]
- [5] Jae-Hyuk Eoh, Ji-Young Jeong, Ji-Woong Han, Seong-O Kim, Numerical simulation of a potential CO<sub>2</sub> ingress accident in a SFR employing an advanced energy conversion system, *Annals of Nuclear Energy*, Volume 35, Issue 12, December 2008, Pages 2172-2185, ISSN 0306-4549, 10.1016/j.anucene.2008.09.012. (http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306454908002570)