

# Odvod tepla z palivového článku jaderného reaktoru

P.Chalupa, M.Staněk, M. Veselá  
gym. tř. Kpto. Jaroše 14 Brno, gym. Jeseník Komenského 254, gym.  
Christiana Dopplera Zborovská 45 Praha 5  
[gaul@post.cz](mailto:gaul@post.cz), [Mir-minem@seznam.cz](mailto:Mir-minem@seznam.cz), [mufaya@yahoo.com](mailto:mufaya@yahoo.com)

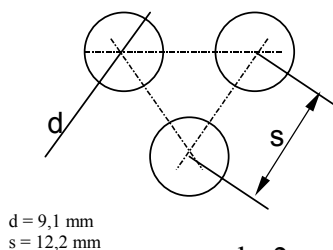
## Abstrakt:

Při jaderném štěpení vzniká velké množství energie, které je nutno odvádět. Jakákoliv porucha na systémech odvádějících teplo v jaderné elektrárně má katastrofální následky. Naše studie spočívala ve výpočtu rozložení teplot v nejvíce zatíženém palivovém článku. Dále jsme vymodelovali havarijní stav, jenž vznikl přerušením spojitého toku chladicí kapaliny v okolí palivového článku (viz obdoba JE A-1).

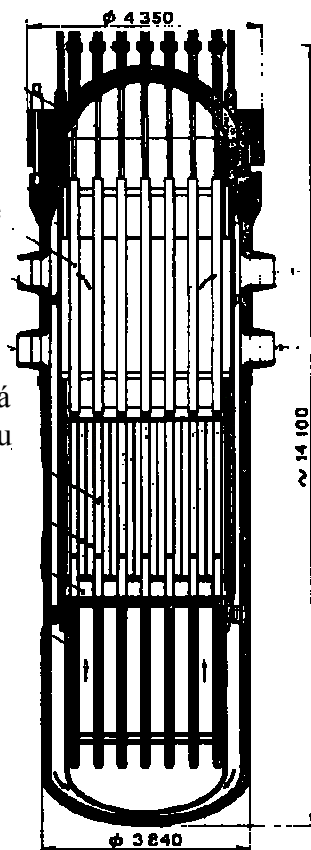
## 1 Jaderný reaktor

Ačkoliv v dnešní době jsou již jaderné elektrárny běžné, neustále se diskutuje o jejich bezpečnosti. Z toho důvodu jsme se zaměřili na dílčí problémy bezpečnosti, resp. dostatečného odvodu tepla z jaderného reaktoru (konkrétně v reaktoru typu VVER 440 viz obr.1).

Jaderná elektrárna se skládá z primárního a sekundárního okruhu. Jaderný reaktor je součástí primárního okruhu, ten předává teplo sekundárnímu okruhu, který obsahuje parní turbíny, na něž jsou napojeny generátory elektrického napětí.



obr.2



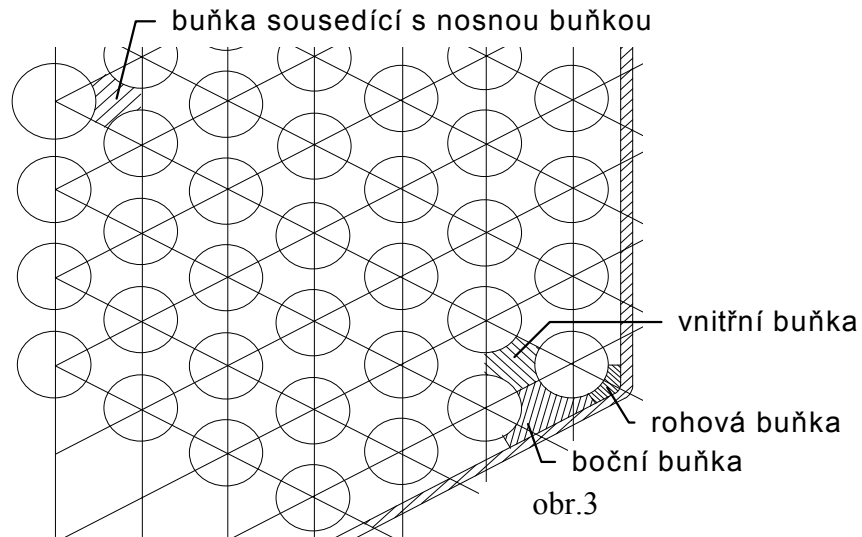
obr.1

Reaktor VVER 440 má nominální tepelný výkon 1375 MW. Toto teplo odvádí chladicí kapalina (chladiivo) primárního okruhu, v případě uvažovaného jaderného reaktoru tlaková lehká voda. Aktivní zóna reaktoru má válcový tvar, o průměru 2,88 m a výšce 2,5 m. V ní je umístěno 349 šestiúhelníkových palivových kazet, každá se 126

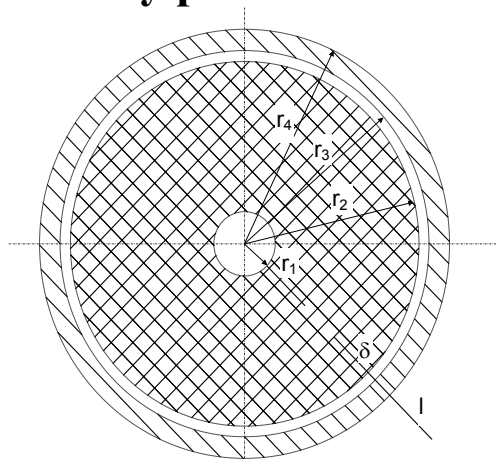
palivovými proutky v trojúhelníkové mříži (obr.2). Mezi palivovými proutky jsou volné prostory, kterými protéká chladivo - viz. obr 3.

Jednotlivé proutky v kazetách jsou nerovnoměrně tepelně namáhány. Nejvíce je výkonově namáhán vlivem zvýšené moderace v okolní vodě proutek umístěný v rohu palivové kazety (ve vrcholech šestiúhelníka), což má spolu s geometrickými charakteristikami (menší prostor pro chladivo) za následek vyšší teploty.

Dále se proto budeme zabývat pouze tepelnou studií „rohového“ proutku, jako potenciálně nejméně bezpečného.



## 2 Palivový proutek



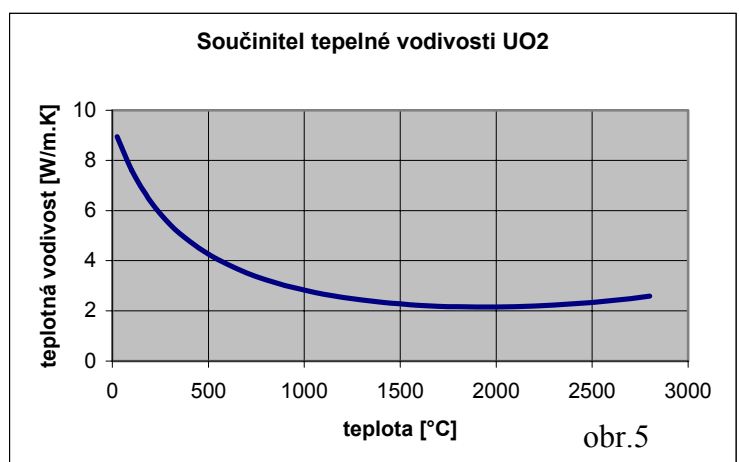
obr.4

$r_1 = 0,75 \text{ mm}$ ,  $r_2 = 3,775 \text{ mm}$ ,  $r_3 = 3,9 \text{ mm}$ ,  $r_4 = 4,55 \text{ mm}$ ,  $\delta = 0,125 \text{ mm}$ ,  $l = 0,65 \text{ mm}$ , výška  $h = 15 \text{ mm}$

Zbývajících 12 segmentů jsme vytvořili stejným způsobem. Nyní bylo třeba nadefinovat jednotlivé vlastnosti materiálů, ze kterých je složen palivový proutek. Jednotlivé údaje jsme získali z tabulek a skript. Aby výpočty byly co nejpřesnější, bylo nutno zadat křivku (obr.5) závislosti jednotlivých veličin (měrné tepelné kapacity, hustoty a součinitele tepelné vodivosti) na teplotě. Po zadání vlastností materiálů jsme všechny plochy modelu vysítávali výpočetními elementy. Velmi důležitá byla hlavně volba vzdáleností jednotlivých bodů: čím menší vzdálenost je zvolená, tím větší přesnost výpočtu získáme, ale prodlouží se doba

Palivový proutek (obr.4) se skládá ze tří materiálů:  $\text{UO}_2$ , plynné vrstvy (zejména helia a produktů štěpení) a slitiny zirkonia ( $\text{Zr-1\%Nb}$ ). Ve středu se nachází mezera pro únik plynných štěpných produktů a ochlazování paliva.

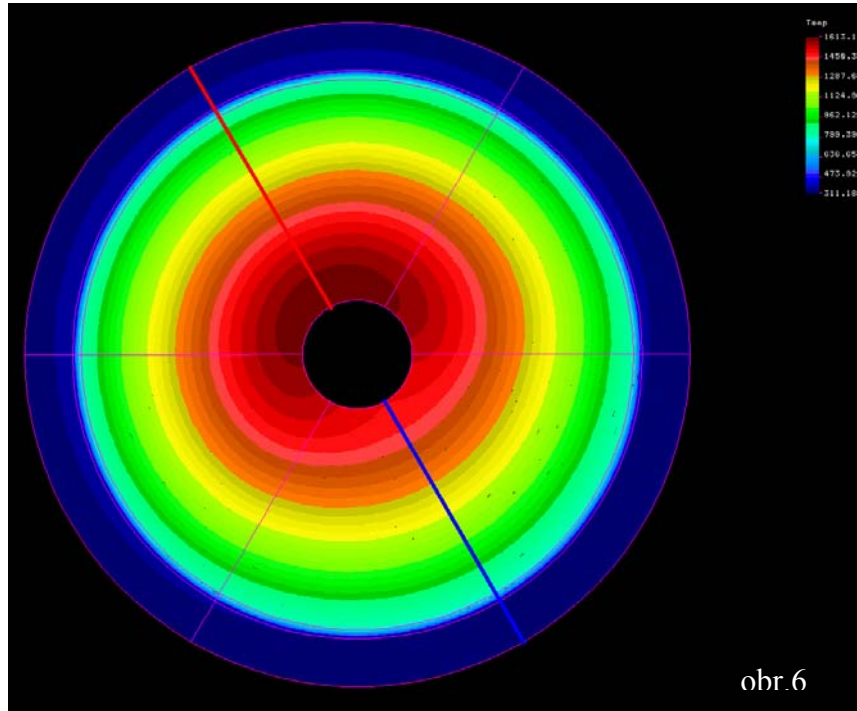
Ve výpočetním kódu Cosmos/M jsme vytvořili dvourozměrný model proutku. Příčný řez palivovým článkem jsme vytvořili postupným definováním jednotlivých částí. Nejprve jsme zadali čtyři body na poloměru řezu (ve vzdálenostech  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$  a  $r_4$ ). Mezi prvními dvěma body jsme vytvořili křivku, kterou jsme pak nechali rotovat kolem osy z o  $360^\circ$ . Vzniklou plochu jsme rozdělili na 6 segmentů (oblouků).



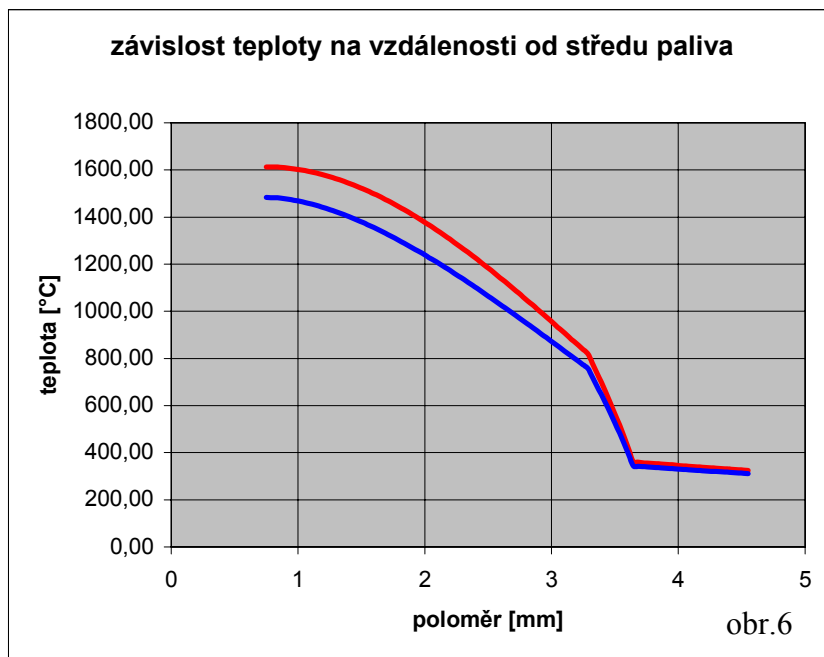
obr.5

výpočtu. Po vysítování všech ploch je zapotřebí jednotlivě vytvořené sítě spojit do jedné. Nyní je nutné zadat okrajové podmínky výpočtu, těmi jsou tepelný výkon v  $UO_2$  a odběr tepla chladivem z pláště proutku.

Provedli jsme několik výpočtů. Nejprve jsme spočítali stacionární rozložení teplot v palivovém článku. Výsledky studie byly překvapivé, vlivem špatné vodivosti jednotlivých částí palivového článku činil rozdíl teplot v jádře a na plášti  $1350\text{ }^\circ\text{C}$ .



Následně jsme sestavili graf z výpisu teplot bodů na protilehlých průměrech (viz obr.6) Dále jsme simulovali ucpání kanálu v okolí článku. (tj. z 1/6 článku nebylo dostatečně odváděno teplo).



Při zadávání nestacionárního výpočtu (závisí na čase) jsme nejdříve jako počáteční hodnoty zadali výsledek stacionárního výpočtu. Před samotným výpočtem jsme upravili parametr pro odvod tepla na 1/6 pláště.

Nejprve jsme zadali 3 min interval s časovými kroky po 1,8 sekundě. Teplota zirkoniového pláště téměř okamžitě narostla nad  $350\text{ }^\circ\text{C}$ , čímž překročila max. možnou provozní teplotu pláště.

Při této teplotě už dochází k varu vody a zejména k rychlému koroznímu porušení zirkonia,

### **3 Shrnutí**

Odvod tepla z jaderného reaktoru je velmi důležitý. Náš miniprojekt ukázal, že i jeho částečné narušení má katastrofální následky. Zjistili jsme tedy, že k tomu, aby vznikla havárie, stačí mnohdy málo.

### **Poděkování**

Tento miniprojekt byl zpracován s laskavou podporou katedry FJR. Zejména děkujeme našemu supervizorovi ing. D. Kobylkovi.

### **Reference:**

- [1] DUŽÍ, P.- KUCHAR, L.: *Základy jaderné metalurgie* Vysoká škola báňská v Ostravě, 1985
- [2] HEŘMANSKÝ, B.: *Termomechanika jaderných reaktorů*, Academia, 1986
- [3] HEŘMANSKÝ, B.: *Jaderná zařízení I*, Ediční středisko ČVUT 1990