

Není-li z reaktoru odveden uvolněný výkon, může nastat i výbuch

M. Mironovová, T. Holenda, H. Havliš
Gymnázium Nad Kavalírkou, Nad Kavalírkou 1, 150 00 Praha 5
tholenda@quick.cz, martina.mir@volny.cz

Supervizor: Ing. Dušan Kobyłka

Abstrakt:

V našem příspěvku je studován odvod tepla vznikající v palivu jaderného reaktoru do proudícího chladiva. Pro ustálený provoz je nutné zaručit jeho transport a další využití aby nedošlo k situaci zmiňované v názvu příspěvku. Největší část tepla se vyvíjí přímo v palivu, které je v aktivní zóně reaktoru. Projekt se zabývá zkoumáním ochlazování palivových článků proudící tekutinou. Každý reaktor by byl teoreticky, z pohledu neutronického výpočtu schopen generovat mnohonásobně vyšší výkon, než produkuje, ale jedním z hlavních limitujících faktorů je právě schopnost dodaný výkon z reaktoru odvádět.

1 Úvod

Palivové články v reaktoru jsou chlazeny proudící tekutinou a u drtivé většiny reaktorů se pracuje s nucenou cirkulací chladícího média. Podle typu reaktoru se užívá voda, těžká voda, inertní plyn (helium, oxid uhličitý) nebo u rychlých reaktorů sodík v kapalně fázi. Celý náš miniprojekt se vztahuje k jadernému reaktoru VVER-440, proto je počítáno s vodou a palivovými články v trojúhelníkové mříži.

2 Chlazení reaktoru

V jaderném reaktoru se teplo generuje štěpením uranu ^{235}U a energie uvolněná při rozštěpení jeho jádra je rozdělena do několika částí. Největší je tvořena kinetickou energií odštěpků (cca 82%), které jsou nejčastěji 2, vzácně i 3. Malá část je odnášena rychlými neutrony (2,5%) a tato energie je uvolňována v moderátoru. Kromě toho odnáší část energie ostatní záření, vznikající při štěpení. Jistá část této energie je ještě v reaktoru zachycena a přeměněna v teplo. U jaderných reaktorů je tedy, kromě paliva, „zdrojem tepla“ i moderátor a konstrukční materiál. U tlakovodních reaktorů, jako je např. typ VVER-440, uvažovaný v miniprojektu, zastává tuto funkci chladícího média i moderátoru voda. Energie, která se uvolní při moderaci rychlých neutronů, se tedy uvolní přímo v chladící vodě. Samotné palivo tvoří tablety UO_2 , uložené v kovovém pokrytí ze slitin zirkonia, které jsou inertní vůči vodě a zároveň málo absorbují neutrony, potřebné pro řetězovou reakci. Výkon se z největší části uvolňuje přímo v palivových tabletách a protože použitý oxid uraničitý má nízkou hodnotu tepelné vodivosti, dosahují teploty v ose proutku přes 1000 C. Generovaný výkon je pak kondukcí odváděn přes pokrytí do proudící vody. Chlazení musí být neustále zajištěno, protože i např. při vypaření vody, kdy se jaderná reakce zastaví, se mohou články vlivem zbytkového tepla roztavit. Samozřejmě by nedošlo k jadernému výbuchu, ale poškození zařízení primárního okruhu by bylo značné.

Palivové proutky jsou u uvažovaného typu reaktoru uloženy v trojúhelníkové mřížce v palivové kazetě. Články jsou dlouhé 2,5 metru a silné 9,1 mm. Malá tloušťka negativně ovlivňuje mechanické vlastnosti (pevnost), je však nutná pro dobré odvádění vzniklého tepla (při větší tloušťce by se palivo v nitru článku začalo tavit, proto tablety v článcích pro větší výkony mají uprostřed otvor). Palivové proutky jsou v kazetě fixovány distančními mřížkami, které kromě fixace slouží i k promíchání vody, proudící jednotlivými kanály kazety.

Počítaný případ představuje rychlostní a teplotní poměry v jednom chladícím kanálu palivové kazety. Pro velkou náročnost výpočtu bylo nutno použít řadu zjednodušení. Především byla počítána jen malá délka kanálu (12 cm), která však dostačuje k ustálení proudění. Navíc byl učiněn předpoklad symetrie výkonu všech palivových proutků a tedy možnosti rozdělení kanálu na 6 stejných částí. Další zjednodušení se týkalo axiálního profilu



uvolňovaného výkonu a protože byl počítán jen 12 cm dlouhý úsek proutku, bylo možno uvolňovaný výkon považovat za konstantní. Přesto čas výpočtu v řádech hodin. Při definování úlohy bylo nutno zadat vstupní parametry systému (výkon, teplota, tlak, průtok...) a geometrii tvaru kanálu. Program COSMOS/M s modulem FlowPlus (univerzální CFD program) vypočetl pro palivový kanál všechny hledané veličiny. Výsledkem výpočtu jsou parametry teplotních a rychlostních polí vyjádřené grafy a obrázky (viz obr.1).

Obr. 1. Teplotní pole v kanálu

3 Shrnutí

Protože odvádění uvolňovaného výkonu je stěžejní otázkou při návrhu a provozu jaderného reaktoru a komplexní výpočet odvodu tepelného výkonu z reaktoru je také nutným předpokladem pro jeho bezpečnost, byly provedeny prezentované výpočty. Tyto potvrzují experimentální výsledky, uváděné v dostupné literatuře.

Poděkování

Děkujeme katedře jaderných reaktorů za poskytnuté technické prostředky a našemu supervizoru Ing. Dušanu Kobylkovi za pomoc a poskytnuté rady.

Reference:

- [1] Heřmanský, B.: Termomechanika jaderných reaktorů, Academia, 1986.
- [2] Heřmanský, B.: Jaderná zařízení I, Ediční středisko ČVUT, 1990.
- [3] FlowPlus – Solver User's Guide, Blue Ridge Numerics, Incorporated, 2000