

Abstrakt disertační práce

Předkládaná disertační práce byla vypracována v rámci doktorátu „pod dvojitým vedením“ mezi Univerzitou Karlovou v Praze a Univerzitou ve Štrasburku (Francie). Práce využívala také zázemí Ústavu Anorganické Chemie AVČR, v.v.i a Francouzské komise pro jadernou energetiku (CEA Cadarache, Francie). Výsledky práce přispívají do projektu OECD/NEA Serena 2, zaměřeného na řešení problému parního výbuchu v jaderných aplikacích.

Práce tematicky zapadá do oblasti jaderné bezpečnosti a vědy o materiálech. Hlavním zaměřením je tzv. „interakce roztaveného jaderného paliva s chladivem, která patří mezi současné vědní problémy těžkých havárií jaderných reaktorů. V případě těžké nehody jaderného reaktoru s roztavením vsádky může tavenina reagovat s chladivem (lehkou vodou), generovat velké tlakové rázy a ohrozit tím integritu jaderné nádoby nebo kontejmentu. Tato interakce může nastat uvnitř reaktorové nádoby nebo v případě jejího porušení v reaktorové šachtě. Tyto dva scénáře se liší ve vstupních podmínkách (teplota, tlak) a mohou tedy vyvolat jiné následky. Interakce taveniny s vodou může dospět do stavu tzv. „termální detonace“ nazývané také parní exploze.

Současné experimenty ukázaly, že složení taveniny má významný vliv na výskyt a intenzitu takovéto exploze. Obzvláště velký rozdíl byl zaznamenán v chování taveniny oxidu hlinitého, neradiokativního materiálu simulující roztavený reaktor, a prototypických směsí (80 hm.% UO_2 a 20 hm.% ZrO_2). Tyto výsledky odstartovaly velký zájem o strukturní a chemickou charakterizaci různých materiálů, které prošly parní explozí. Tyto analýzy napomáhají k lepšímu porozumění mechanismů při tak extrémně rychlých fyzikálně-chemických procesech.

Disertační práce je rozdělena do devíti kapitol.

Kapitola 1 poskytuje obecný úvod do problematiky těžkých havárií. Nejzávažnější nehody jaderných elektráren (Three Miles Island 1979, Černobyl 1986 a Fukushima 2011) jsou stručně popsány.

Kapitola 2 sumarizuje teoretické aspekty interakce jaderného paliva a chladiva. Je rozdělena tematicky do čtyř částí podle fenomenologického průběhu interakce:

- i) Promíšení horké taveniny s vodou a vytvoření plynného filmu na povrchu kapek taveniny
- ii) Iniclace - Porušení stability parního filmu a iniciace fragmentace taveniny do jemných částic
- iii) Propagace jemné fragmentace celým objemem směsi
- iv) Expanze - Předání termální energie taveniny do mechanické práce páry – exploze

Kapitola 3 podává souhrn a výsledky hlavních experimentálních programů zaměřených na parní exploze.

Kapitola 4 obsahuje výsledky termodynamických výpočtů simulujících chemické reakce mezi taveninou a párou za vysokých teplot. Druhá část této kapitoly ukazuje tvorbu a výsledky 1D modelu radiačního modelu přenosu tepla mezi taveninou/párou/vodou.

Kapitola 5 popisuje výsledky analýz (mikroskopie, krystalografie, termografie, apod.) neradioaktivních vzorků pocházejících z experimentálních zařízení v KTH Stockholm, Švédsko a FZK, Karlsruhe, Německo.

Kapitoly 6 až 8 podávají výsledky analýz prototypických radioaktivních vzorků pocházejících z experimentálního zařízení v Cadarache, Francie. Vzorky ze tří testů parních výbuchů byly podrobeny chemickým a metalografickým analýzám. Experimenty byly provedeny s taveninami o složení: 1) 70 hm. % UO_2 , 30 hm. % ZrO_2 ; 2) 80 hm. % UO_2 , 20 hm. % ZrO_2 ; 3) 80,1 hm. % UO_2 , 11,4 hm. % ZrO_2 a 8,5 hm.% kovového Zr.

Poslední kapitola 9 shrnuje hlavní výsledky a vymezuje nové perspektivní oblasti zájmu.