

doc. Ing. Branislav Vrban, PhD., STU v Bratislave,
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

OPONENTSKÝ POSUDOK DIZERTAČNEJ PRÁCE

Doktorand: **Ing. et Ing. Adam Kecek**

Téma dizertačnej práce: **Modelování chování štěpných produktů uvnitř kontejmentu tlakovodních reaktorů při haváriích s únikem chladiva**

(Modelling of fission product transport inside pressurized water reactor containments during loss-of-coolant accidents)

Študijný program: Aplikace přírodných věd

Študijný odbor: Jaderné inženýrství

Školitel: Ing. Jiří Macek, CSc.

Školitel specialita: Ing. Ondřej Huml, Ph.D.

Konzultant: Ing. Lubomír Denk

Oponentský posudok som vypracoval na základe písomnej žiadosti dekana ČVUT - FJFI v Prahe, pána doc. Ing. Václava Čuby, Ph.D zo dňa 8. 6. 2022.

Posudzovaná práca je napísaná v češtine, obsahuje 118 strán textu včítane abstraktov, obsahu práce, zoznamov skratiek, tabuliek (23), obrázkov (60) a 96 referencií. Priložené sú aj potvrdenia o spoluautorstve (2).

Práca predstavuje v súčasnosti aktuálnu oblasť určenia zdrojového členu, ktorá opäť vzbudila výrazný záujem odbornej verejnosti po udalostiach na JE Fukušima Daiichi (2011). Zmienaná udalosť iniciovala vznik nových výskumných projektov, na ktoré sa autor v texte práce odkazuje, ale oživila aj záujem relevantných regulačných orgánov. Autor v práci naznačuje východzí stav problematiky v ČR, kde poukazuje na možnosť významného kvalitatívneho posunu v problematike určovania zdrojového členu ako súčasti nadväzujúcich bezpečnostných analýz. Navyiac v závere konštatuje, že vývoj tejto interdisciplinárnej problematiky prebieha dynamicky a je potrebné ho neustále sledovať. Možnosti spresnenia aplikovaných modelov a previazanie jednotlivých dejov umožňujú zníženie miery konzervativizmu, po optimalizácii bezpečnostných systémov dovoľujú redukcii radiačných následkov, a tým nepochybne majú potenciál znížiť sociálno-ekonomické dôsledky nežiadúcich udalostí na jadrových zariadeniach. Predložená práca preto predstavuje nielen aktuálnu, ale aj prospešnú tému pre ďalší rozvoj jadrovej energetiky v nových spoločenských a environmentálnych podmienkach.

K predloženej dizertačnej práci a k postupom a metódam riešenia úloh, ktoré si doktorand zvolil pri dosahovaní cieľov svojej práce a k výsledkom dizertácie mám nasledujúce poznámky:

Práca je rozdelená do 6 kapitol, ktoré spadajú do požadovaného členenia dizertačných prác. V úvodnej kapitole v krátkosti definuje aktuálny stav skúmanej problematiky v ČR, kde vzhľadom na svetové trendy naznačuje potrebu kvalitatívneho posunu. Ďalej sa autor venuje definícii pojmov ďalej používaných v práci, čo výrazne napomáha čitateľovi orientovať sa v problematike. Druhá kapitola definuje ciele dizertačnej práce a definuje metodický prístup vedúci k ich naplneniu. Ciele práce sú explicitne a dobre definované. Z hľadiska metód spracovania predpokladá relevantné a štandardné postupy ako sú literárna rešerš, validácia jednotlivých modulov (krokov) simulácie, citlivostná analýza a porovnávanie reálnej úlohy s iným prístupom. Je možno hodnotiť, že tieto metódy spracovania boli v práci adekvátne použité. V tretej časti práce sú zhrnuté legislatívne požiadavky a relevantné

odporúčania medzinárodnej komunity spravidla uvedené v dokumentoch vydaných pod gesciou MAAE vo Viedni. Uvedené informácie sú analyzované a správne štruktúrované, čo umožňuje ich ďalšie použitie v rámci metodiky určenia zdrojového členu v Českej republike, ktorej je autor spoluautorom. Nasledujúca kapitola sa zaoberá opisom významných modulov výpočtového programu COCOSYS 2.4v5, validáciou tohto programu v domovskej organizácii (GRS), ako aj na pracovisku ÚJV. Uvedená validácia zahŕňa selekciu vhodných experimentov, ich adekvátny prepočet, analýzu výsledkov, úpravu vstupných parametrov a zhodnotenie výsledkov a pozorovaní. Predposledná kapitola sa venuje aplikácii poznania z predchádzajúcich častí pri simulačnom určení zdrojového členu pre udalosť LB LOCA na VVER-1000/V-320. V existujúcom modeli, ktorého krátky opis je uvedený v práci, bolo na základe validácie novovytvorené špecifické priestorové rozdelenie, ktoré umožnilo efektívnu simuláciu šírenia jódu. Vzhľadom na naplnenie postulovanej požiadavky na konzervatívnu analýzu, bola uskutočnená citlivostná analýza, ktorá vyvrátila predpoklad, že maximalizácia úniku štiepných produktov je spojená s maximalizáciou úniku hmoty z kontajmentu. Táto kapitola obsahuje aj porovnanie obdobného výpočtu vykonaného spoločnosťou ŠKODA JS. Prezentované výsledky možno aj napriek iným postupom hodnotiť ako konzistentné so zachovaním relevantných trendov. V poslednej kapitole sú zhrnuté a zhodnotené rozsiahle výsledky dizertácie.

Cieľmi dizertácie boli jednotlivé postupné kroky (uvedené vyššie v jednotlivých kapitolách), získanie nových poznatkov potrebných pre simuláciu interdisciplinárneho problému určenia zdrojového členu (napr. nastavenie výpočtového modulu pre adsorpciu na suchom farbenom povrchu), ktoré sú obsahom spomínaných kapitol v dizertačnej práci. Na základe realizovanej rešerše, validácie, splnenia legislatívnych postupov, simulácií a získaných výsledkov môžem konštatovať, že práca splnila všetky zadané ciele, ktoré v mnohom presiahli pôvodné očakávania.

Vedecký prínos doktoranda vidím hlavne v jeho významnom podiele na tvorbe novej certifikovanej metodiky určovania zdrojového členu v ČR. Z aplikačného hľadiska významne prispel k validácii a štandardizácii kódu COCOSYS pred komisiou pre šírenie štiepných produktov, upravil existujúce modely kontajmentu VVER-1000/V-320, pomocou citlivostnej analýzy určil konzervatívne okrajové a počiatočné podmienky a nakoniec uskutočnil samotný výpočet zdrojového členu. Hlavne vo validačnej fáze pracoval s množstvom experimentálnych dát, vytvoril potrebné modely a v rámci možnosti softvéru pristúpil k modifikácii vstupných parametrov tak, aby bol dosahovaný relevantný súlad so skutočnosťou.

Podľa predložených výsledkov dizertačnej práce, získaných pomocou celého spektra simulačných metód jadrového inžinierstva, možno konštatovať, že priniesli nové poznatky, ktoré sú dôležité z hľadiska základného aj aplikovaného výskumu a sú prínosom pre rozvoj študijného/vedného odboru Jadrové inžinierstvo.

Formálna úprava dizertačnej práce je na dobrej úrovni, s malým množstvom preklepov. Je však možno vytknúť nedôsledne vypracovaný zoznam skratiek v práci (chýbajúce KTMT, TQ, ESFAS ...), chronicky nedostatočný komentár k legende uvedených obrázkov (uvedené výrazne sťažuje čitateľnosť práce), zámenu desatinných čiarok a bodiek v tabuľkách a neúplné uvádzanie prác v zozname literatúry. Uvedené nedostatky však neznižujú odbornú úroveň práce.

K dizertačnej práci mám tieto pripomienky a otázky:

- Práca mnohokrát veľmi správne nadväzuje na výsledky iných výskumníkov, niekedy bola vykonaná v rámci širšieho tímu. Preto prosím doktoranda o explicitný popis jeho vlastnej príspevku k problematike určenia zdrojového členu.
- Na vykonané analýzy sú postulované požiadavky na konzervatívny prístup. Je podľa Vás z akademického hľadiska možné pristúpiť aj k realistickému prístupu a kvantifikácii

prislúchajúcich neurčitostí? V ktorej špecifickej oblasti vidíte potrebu experimentálnej činnosti?

- Pri určení inventára rádionuklidov je významná aj história prevádzky paliva. Aké sú principiálne požiadavky pri modelovaní zaisťujúce konzervatívny prístup v uvažovanej analýze? Bol uvážení axiálny profil vyhorenia palivových súborov?
- V časti 4.3 Validace v ÚJV bolo vykonaných množstvo validačných simulácií. Miera zhody simulovaných parametrov je však závislá od kvality implementovaných fyzikálnych modelov a vstupných dát, ale výrazne závisí aj od efektu užívateľa. Predpokladám, že autor práce mal možnosť vykonať porovnanie svojich výsledkov aj so simulačnými výsledkami iných kolektívov. Takéto porovnanie by mohlo odhadnúť potenciál redukcie získaných odchýlok od experimentu. Je uskutočniteľná a zároveň v budúcnosti plánovaná obdobná činnosť?
- Pri porovnaní simulácie s ŠKODA JS sú konštatované rovnaké trendy výsledkov. Predpokladá autor zachovanie súladu týchto trendov aj po započítaní jadrového rozpadu v kóde COCOSYS?

Záver: Predložená dizertačná práca je kvalitná a pôvodná. (Splnenie kritéria o kontrole originality som nemohol posúdiť, lebo mi protokol nebol doručený). Autor preukázal výbornú teoretickú prípravu, a taktiež výborne zvládol orientáciu v interdisciplinárnej téme, náročné simulačné výpočty a interpretáciu získaných výsledkov. V databáze WOS, resp. SCOPUS má však len 1 záznam, kde navyše nie je uvedená afiliácia akademického pracoviska. Dizertant je autorom viacerých technických správ a je autorom alebo spoluautorom 4 vedeckých článkov (2x NENE2011, 1x NURETH-19, 1x Kerntechnik). Uvedenú publikačnú činnosť možno hodnotiť ako podpriemernú a vzhľadom na rozsah vykonanej práce odporúčam publikovanie výsledkov v impaktovaných periodikách. Uvedené posúdenie práce medzinárodnou komunitou má potenciál zvýšiť relevanciu a dosah práce, prípadne môže priniesť ďalší pokrok v skúmanej problematike. Zároveň je nutné vyzdvihnúť, že výsledky práce prispeli k riešeniu dôležitých medzinárodných (BIP) a národných (TAČR TH02021010) projektov.

S ohľadom na uvedené skutočnosti **odporúčam dizertačnú prácu k obhajobe** a po úspešnom absolvovaní obhajoby navrhujem udeliť Ing. Adamovi Keckovi titul doktor filozofie (Ph.D.) v študijnom odbore Jadrové inžinierstvo.

V Bratislave, 8. 7. 2022