

Oponentní posudek doktorské práce Martina Loveckého

“Zvyšování účinnosti jaderného paliva použitím vyhořívajících absorbátorů“

Oponent: doc. Ing. Václav Dostál, Sc.D., ČVUT v Praze

Obsah doktorské práce

Předkládaná doktorská práce obsahuje 7 hlavních kapitol, odkazy na použitou literaturu, seznamy obrázků, tabulek a použitých veličin a 3 přílohy. V první kapitole jsou po stručném úvodu do problematiky uvedeny hlavní cíl doktorské práce (návrh materiálů pro budoucí vyhořívající absorbátory) a postup řešení. Druhá kapitola obsahuje rešerši problematiky a v současnosti používané metody řešení. Ve třetí kapitole jsou znovu probrány cíle dizertační práce. Ve čtvrté kapitole je popsána metodika řešení a validace vytvořeného kódu. Pátá kapitola tvoří podstatu celé dizertační práce. Je zde prezentována metrika použitá pro porovnání jednotlivých vyhořívajících absorbátorů, dále jsou zde prezentovány výsledky pro jednotlivé absorbátory a porovnání vybraných variant kódem SERPENT. Kapitola 6 shrnuje přínosy práce a kapitola 7 je závěrem celé práce.

Zhodnocení významu dizertační práce pro obor

Vyhořívající absorbátory jsou důležitou součástí palivového cyklu jaderných elektráren a to jak vzhledem ke snaze o maximální využití jaderného paliva, tak vzhledem ke zvyšování bezpečnosti provozu jaderných elektráren. Předkládaná dizertační práce je systematickou studií použitelnosti nuklidů a jejich kombinací jako vyhořívajících absorbátorů. Velmi přínosný je fakt, že analýzy jsou prováděny též pro různé typy jaderných reaktorů a práce tak reflektuje odlišnosti jednotlivých jaderných technologií.

Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění určeného cíle

Výsledků dizertační práce by nemohlo být dosaženo bez nového kódu, který byl vyvinut autorem dizertační práce, který přestože nedosahuje přesnosti konkurenčních kódů, umožnil provedení velkého množství výpočtů. Systematický přístup k hodnocení výsledků a vytvoření několika nezávislých přístupů k jejich vyhodnocení (2 materiálové metriky a shluková analýza) významně přispěly ke kvalitě výsledků a možnosti jejich objektivní interpretace. Vytčený cíl práce tak byl splněn, i když v reálném světě je nutné brát v úvahu i další parametry než pouze neutronově-fyzikální, což výsledky může poněkud posunout, nicméně toto je již nad rámec cíle vytčeného autorem a za hlavní přínos lze považovat, že vznikl podklad, na jehož základě lze tyto další analýzy provádět.

Stanovisko k výsledkům dizertační práce a k původnímu konkrétnímu přínosu předkladatele dizertační práce

Výsledky dizertační práce jsou kvalitní a vědecký přínos je dostatečný. Bohužel vlastní přínosy dizertační práce jsou v práci velmi špatně popsány, tvorba nového kódu je sice záslužnou činností, nicméně rozhodně nemůže být deklarována jako hlavní přínos práce, obzvláště vzhledem k jeho omezené aplikovatelnosti. V čem spočívá novost výpočetního přístupu, který zrychlení výpočtů umožnil, není též nikde detailně uvedena a nelze tak být deklarována jako přínos. Vývoj schématu 2sPC, který je asi hlavním přínosem v oblasti výpočtu, je zmíněn okrajově pouze v kapitole věnující se tomuto schématu a jeho význam pro vlastní kód není

příliš vysvětlen. Velká část kapitoly 4 je v zásadě popisem kódu a patřila by spíše do přílohy naopak popis, v čem spočívá zrychlení výpočtů, z podstatné části chybí. U validace kódu student argumentuje absolutní chybou, přitom by bylo spíše vhodné používat chybu relativní. Mezi hlavní přínosy práce tak patří vývoj schématu 2sPC, metodika hodnocení výsledků pomocí metrik MM6 a MM9, shluková analýza a aplikace těchto metodik na výsledky získané výpočty pomocí vyvinutého kódu. Tento výčet se bohužel v textu práce neobjevuje v konkrétní podobě, ale pouze v obecných frázích a bylo nutné se s prací detailně seznámit, aby tyto přínosy vyplynuly.

Vyjádření k systematice, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni dizertační práce

Vysoká odbornost práce je zcela podkopána nepřehledností práce a špatným sepsáním. Vlastní struktura práce a její organizaci by nebylo třeba nic vytknout, kdyby jednotlivé kapitoly plnily svoji funkci. Práce obecně působí dojmem, že vše je obsaženo v kapitole 5 a ostatní kapitoly pak byly pouze dopsány, aby se práce dala odevzdat. Práce obsahuje čtyři vysoce redundantní kapitoly: úvod, cíle dizertační práce, přínosy práce a směry dalšího výzkumu a závěr. Lze říci, že žádná z těchto kapitol neplní svoji funkci. Všechny jsou velmi krátké a v podstatě se opakují. Časté opakování jednotlivých pasáží textu na různých místech práce je obecně její velkou slabinou. Každá kapitola by měla mít svůj význam a svoji úroveň detailu. To se bohužel v této práci neobjevuje a významně to snižuje její jinak vysoce odbornou úroveň. Jednotlivé podkapitoly jsou i u kapitol 4 a 5, které tvoří stěžejní část práce špatně strukturované, přeskakují z tématu na téma a jsou obecně špatně vyargumentované. Tyto prohršky by se u dizertační práce neměly vyskytovat a snižují kvalitu jinak vynikající práce až na úroveň hraničící s obhajitelností.

Vyjádření k publikacím studenta

Publikační činnost studenta je nadprůměrná a reflektuje široký záběr předkládané doktorské práce.

Závěr

Předkládaná dizertační práce je na vysoké odborné úrovni a snese mezinárodní srovnání, bohužel kvalita jejího sepsání je velice nízká a snižuje její kvalitu. Student tak zůstal daleko za možnostmi prezentovat potenciál práce na úrovni, která by odpovídala jejímu odbornému přínosu. Práce představuje systematickou studii materiálů pro vyhořívající absorbatory z pohledu neutronově-fyzikálních výpočtů, která nemá obdoby. Vzhledem k tomu, že k hodnocení bylo použito pouze kritérium neutronově-fyzikální, jsou výsledky pouze jednou částí a vyhodnocení aplikovatelnosti dosažených výsledků je na dalších navazujících pracích. Nicméně, rozsah takové práce by výrazně přesahoval rozsah dizertační práce a uvedený fakt tak nesnižuje její kvalitu.

Doktorskou práci doporučuji k obhajobě.

Doc. Ing. Václav Dostál, Sc.D.
18. 10. 2016

Otázky k obhajobě:

1. Které nové výpočetní postupy a modely vyvinuté autorem práce byly použity v novém kódu?
2. Jak detailně reflektuje výpočet energetickou závislost mikroskopických účinných průřezů a zahrnuje i prostorové a energetické rozložení neutronů v reaktoru?
3. Pokud ne, jak by to ovlivnilo získané výsledky?

doc. Ing. Jiří HAMMERBAUER, Ph.D.
děkan

Fakulta elektrotechnická
Západočeská univerzita v Plzni
Univerzitní 26
306 14 Plzeň

Věc: Posudek disertační práce Ing. Martina Loveckého

Student doktorského studijního programu, Ing. Martin Lovecký, předložil k posouzení disertační práci na téma „Zvyšování účinnosti jaderného paliva použitím vyhořívajících absorbátorů“, kterou vypracoval na Katedře elektroenergetiky a ekologie pod vedením pana doc. Radka Škody.

Předložená disertační práce má 121 stran, je doplněna 13 stranami úvodních informací a seznamů a 43 stranami příloh. Práce je standardního vyhovujícího rozsahu, ačkoliv tištěna jednostranně na kvalitním papíře působí na první pohled nadprůměrně rozsáhle. Práce je členěna do 7 kapitol, přičemž číslovány jsou i kapitoly Úvod, Závěr, Cíle, Přínosy; vlastní práce je tedy obsažena zejména ve třech kapitolách – Současný stav, Metodika, Výstupy. Autor v práci cituje 89 literárních zdrojů, práce je v hlavním textu doplněna 39 obrázky a 29 tabulkami, další rozsáhlejší tabulky jsou obsaženy v příloze. Příloha také obsahuje vstupní a výstupní soubory programu UWB1, který autor v rámci své práce vyvinul. Autor uvádí publikace, který vycházejí z jeho práce; jedná se o tři články v prestižních impaktovaných časopisech, tři články v českých recenzovaných časopisech a 13 vystoupení na konferencích. U všech těchto publikací je v seznamech autor uveden vždy jako první autor. Doktorand doplňuje seznam publikací také úctyhodným seznamem výzkumných zpráv, na jejichž vzniku se podílel mimo své doktorské studium.

Zákon o vysokých školách definuje požadavky na disertační práce tak, že jimi musí být prokázána schopnost a připravenost k samostatné činnosti autora v oblasti výzkumu nebo vývoje a disertační práce podle zákona musí obsahovat původní a uveřejněné výsledky nebo výsledky přijaté k uveřejnění. Vnitřní předpisy upřesňují požadavky zákona ve smyslu toho, že disertační práce musí být výsledkem řešení konkrétního vědeckého nebo uměleckého úkolu a musí prokazovat schopnost doktoranda samostatně tvůrčím způsobem pracovat a obsahovat původní a autorem disertační práce publikované výsledky vědecké nebo umělecké práce řešené na školícím pracovišti pod vedením školitele.

Autor práci systematicky a logicky rozdělil, postupuje od obecných definic, metodik a nástrojů, postupně až ke konkrétním výsledkům a závěrům. Práce je z tohoto pohledu velmi čtivá a bezesporu natolik srozumitelná, že bude jistě doporučována jako studijní materiál pro autorovy následovníky. V práci doktorand stručně definuje existující problém, přechází k teoretickému základu a k přehledu problematiky vyhořívajících absorbátorů, kterou postavil na rešerši současného i staršího výzkumu a vývoje v oblasti vyhořívajících absorbátorů, zejména těch méně používaných a do budoucna perspektivních. Poté definuje cíle disertační práce a přechází k popisu metodiky řešení problému a naplňování cílů. V rámci metodiky popisuje vývoj programu UWB1, který autor pod vedením školitele naprogramoval pro rychlé a jednoduché ocenění změny izotopického složení a reaktivity jaderného paliva v průběhu vyhořívání. Program je vybaven nejen řešičem Batemanových rovnic, ale i řešičem transportu neutronů pomocí Monte Carlo metody, má vlastní knihovnu a využívá různých pokročilých metod pro řešení a urychlení řešení daného fyzikálního problému. Závěrem kapitoly se autor pokouší o validaci kódu UWB1. V poslední kapitole jsou představeny vlastní výpočty směřující k optimalizaci využití jaderného paliva s pomocí vyhořívajících absorbátorů. Jsou definovány metriky posuzování

přínosu jednotlivých sledovaných izotopů a výsledky jsou ověřeny nezávislým autorovým výpočtem pomocí kódu SERPENT. Závěrem práce autor shrnuje své výsledky a formuluje závěry a možné cesty dalšího výzkumu a vývoje v této oblasti.

Jak už jsem uvedl, práce je čtivá, přehledná, obsahuje jen velmi malé množství gramatických či slohových chyb. V přehlednosti a čtivosti poněkud pokulhává kapitola 5 – vlastní výsledky práce, kde je zařazeno mnoho grafů, tabulek a obecně velké množství nových informací a relativně málo vysvětlujícího textu. Také přítomnost tří po sobě jdoucích shrnujících kapitol (Shrnutí, Přínosy, Závěr) poněkud znesnadňuje orientaci v textu, ačkoliv jsou obsahově logicky odděleny. Čtenář ale musí velmi často listovat tam a zpět, aby formulované závěry pochopil na základě výsledků výpočtů. Při systematickém čtení poněkud ruší opakování některých stejných vět na různých místech textu, někdy jsou tytéž věty opakovány ve dvou po sobě následujících odstavcích. Při popisu hodnocení autor při snaze zhodnotit výsledky občas sklouzává k subjektivním výrazům (lepší, horší, rychle, pomalu atp.); je to však pochopitelné a nemá to významný vliv na pochopení závěrů.

Z odborného hlediska je práce zpracována velmi pečlivě a zodpovědně. Mimo některých, téměř až filosofických otázek, které s autorem dlouhodobě polemizují, mám k práci opravdu velmi málo odborných připomínek, našel jsem jen několik nedostatků či chyb. Své konkrétní připomínky budu formulovat v rámci dotazů.

Za vyslovenou chybu (nebo naopak mé nepochopení) bych považoval pouze formulaci na straně 27, kde autor uvádí, že při vyhořívání je nuklid B-10 přeměněn na B-11 s nízkými účinnými průřezy. Následně pak v tabulce 2.4 porovnává účinný průřez B-10 pro reakci (n, α) s účinným průřezem (n, γ) pro B-11. Z pohledu analýzy vyhořívajícího absorbátoru bych spíše očekával srovnání s účinnými průřezy pro Li-7.

Spíše za námět k diskuzi než za nedostatek považuji uvedení účinných průřezů v tabulkách pouze pro bodovou hodnotu v bodě 0,0253 a v bodě 0,625 eV (tedy pro tepelné neutrony a za kadmiovou hranou). Uvedení těchto hodnot může být pro čtenáře neúplnou informací – většina uvažovaných lanthanoidů vykazuje ve svém účinném průřezu výrazný rezonanční charakter. Zajímavou doplňující informací by tedy mohla být hodnota „nějak“ grupovaného váženého účinného průřezu.

Práce je metodickou přehledovou komplexní studií použitelnosti všech možných (i nemožných) nuklidů jako vyhořívajících absorbátorů pouze z hlediska neutroniky a to pouze části neutroniky – zejména s důrazem na průběh koeficientu násobení. Práce je tedy akademickou studií, která není přímo svázána s praktickým využitím výsledků, ale může definovat potencionálně nadějně směry aplikovaného výzkumu. Za určitý nedostatek vidím i nedostatečnou komunikaci tohoto faktu. Čtenář tedy může při zběžném čtení či prolistování práce nabýt dojmu poněkud zmateného, jelikož některé předpoklady (obohacení paliva pro VVER do 10%; zabudování vyhořívajícího absorbátoru do pokrytí, atp.) nebo naopak závěry (prezentování některých krátce-žijících nuklidů jako nadějných vyhořívajících absorbátorů či uvažování aktinoidů) mohou čtenáře uvést v omyl a ten může výstupy rozporuplně hodnotit. Sám autor mohl zůstat v některých svých závěrech poněkud při zemi; uvádění Bk-249 či Cf-250 (nebo na jiných místech Be-7 či Co-58m) jako vhodných materiálů (bez dalšího komentáře) je poněkud příliš vizionářské. V textu práce je nereálnost využití krátkodobých nuklidů zmíněna, aktinoidy jsou však zmíněny i v samém závěru práce. Opět, pro čtenáře, který pochopí význam této práce, jsou zmíněné formulace jasné a nepředstavují žádný závažný nedostatek. Praktický přínos práce lze totiž (navzdory názvu a cíli práce) spatřovat dle mého názoru v rozpracování metodiky, metrik, hodnocení a vyvinutí výpočetního nástroje pro hodnocení nuklidů jako vyhořívajících absorbátorů, než ve vlastním návrhu perspektivních nuklidů. Trh s jaderným palivem je velmi konzervativní, hranice 5% obohacení se

zdá v reálném čase nepřekročitelná, nehledě na finanční náročnost výzkumných a testovacích prací a bezpečnostních analýz. Mnoho navržených řešení bude také asi nerealizovatelných z důvodů chemické kompatibility, procesu výroby či ceny (např. i autorem navrhované Li-6 či Tc-99). Pro reaktory PWR nelze v blízké době očekávat nějakou zásadní změnu v použití vyhořívajících absorbátorů, určitá šance na využití výsledků je u reaktorů těžkovodních (snaha o zavezení paliva s vyšším obohacením) nebo u reaktorů SMR. I zde však je před praktickým a komerčním využitím velmi dlouhá cesta.

Jak jsem již uvedl, tak práce velmi podrobně popisuje teoretický základ, metodiku řešení rovnic, program UWB1, atd. Za drobný nedostatek ale považuji také určitou direktivnost na jiných místech, kdy autor naopak pouze zmíní nějaký fakt bez hlubšího vysvětlení (program obsahuje procedury na kondenzaci energetických grup, byla zvolena periodická okrajová podmínka, energetické grupy jsou děleny tak a tak, atp.). Chápu, že podrobný popis všech procedur programu by zabral velmi mnoho stran – výhodou disertační práce oproti odborným článkům je však to, že v ní čtenář najde vše, co potřebuje k pochopení problematiky a výsledků. To zde na některých místech chybí.

Za další nedostatek, ze svého subjektivního pohledu, považuji definici cílů práce. Práce má definovaný pouze jeden cíl, a to navrhnout materiály pro budoucí vyhořívající absorbátory na základě neutronově-fyzikálních výpočtů. Není zde vůbec zmíněn návrh metodiky hodnocení, vývoj programu pro hodnocení atp. Neutronově-fyzikální výpočty lze také chápat poněkud obecněji, než pouze tak, jak je provedl autor, což v definici cílů také chybí. Nicméně, v žádném případě nelze rozporovat, že autor definovaný cíl naplnil.

Závěrem svého posudku konstatuji, že autor předložil výjimečnou disertační práci. Provedl obrovské množství výpočetních analýz, na jejichž základě určil potenciálně nadějně materiály pro použití jako vyhořívající absorbátory s dlouhodobě vhodným vlivem na reaktivitu paliva. Tím splnil cíl disertační práce. Pro vyslovení svého závěru a splnění cíle vyvinul kompletní metodiku hodnocení vlivu vyhořívajících absorbátorů na reaktivitu paliva během procesu vyhořívání, včetně definice metrik a výpočetního aparátu – rychlého neutronově-fyzikálního kódu UWB1. Svoji práci a svými publikacemi přispěl k dalšímu rozvoji vědy v oblasti jaderného inženýrství a prokázal, že je schopnost samostatně tvůrčím způsobem pracovat. Autor i odevzdaná práce splňují zákonné požadavky na disertační práce kladené, proto práci doporučuji k obhajobě a po úspěšné obhajobě doporučuji Ing. Martinovi Loveckému udělit titul Ph.D. (Philosophiae Doctor) uváděný za jménem.

V Jerevanu, dne 22. 11. 2016

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektřinové energetiky
Technická 3082/12, 616 00 Brno

Ing. Karel Katovský, Ph.D.
UEEN FEKT VUT v Brně

Prosím autora o zodpovězení následujících otázek:

- 1) Je knihovna používaná pro MCNP opravdu „bodová“ nebo grupová, jak je uváděno na jiném místě? Jak je prováděna kondenzace (kolaps) účinného průřezu do energetických grup a do efektivního XS?
- 2) Jak je prováděna interpolace na konkrétní teplotu materiálu, zejména moderátoru, pokud jsou z knihovny POINT-2012 používány pouze 4 teploty? Jaké chyby se dopouštíte (zejména u CANDU), když rozptyl v tepelné oblasti simulujete pro všechny moderátory pouze modelem volného plynu?
- 3) Jak byly určeny koeficienty reaktivity představené v tabulce 5.9?
- 4) Na str. 58 se uvádí, že Q-values jsou využity při převodu z výkonu paliva na celkovou hustotu toku neutronů. Také je uvedeno, že 5 MeV je typická energie využitelná při radiačním záchytu – typicky v pokrytí. Můžete, prosím, vysvětlit tato dvě tvrzení?

POSUDEK OPONENTA DISERTAČNÍ PRÁCE

Doktorand: Ing. Martin Lovecký

Název práce: Zvyšování účinnosti jaderného paliva použitím vyhořívajících absorbátorů

Školící pracoviště: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Studijní obor: Elektroenergetika

Podpora projektu: Technologická agentura ČR, Centrum kompetence č. TE 01020455

Oponent: Prof. Josef Kott, DrSc.,

1. Zhodnocení významu pro obor

Před několika desítkami let se světoví energetičtí odborníci zamýšleli nad strukturou a doporučeními dalšího vývoje bezpečné a ekonomické jaderné energetiky v časovém pásmu více než příštích padesáti let. Minulostní a perspektivní jadernou energetiku shrnuli do čtyř řad s budoucí a finální podobou chladících medií : voda, oxid uhličitý, kov, helium a sole s průměrnou představou tepelných výkonů aktivních zón nad 3 GW, samozřejmě s odpovídajícími kritérii provozní bezpečnosti a spolehlivosti, za nejvyššího dosažitelného stupně tepelné účinnosti.

Uvedené, souborné požadavky, vyvolávají nutnost dalšího vývoje a výzkumu mnoha oblastí komponent jaderného zařízení, z nichž je jistě nejpřednější prognóza časového popisu provozních vlastností a chování aktivních zón daných typů jaderných reaktorů. Posuzovaná disertační práce jednoznačně a na vysoké odborné úrovni představuje část výstupu nutného pro vývoj, realizaci a provoz optimalizovaných a inovovaných budoucích jaderně energetických zařízení.

2. K postupu, metodám a plnění stanoveného cíle

Cílem disertační práce je posoudit, navrhnout, nové druhy materiálů pro vyhořívající absorbátory na základě rozborů a dílčích zhodnocení neutronově fyzikálních charakteristik aktivních zón. To vyžaduje rozsáhlou teoretickou analýzu a následně vytvoření mapy výpočtových dat pro různé, vhodné prvky a jejich kombinace s přihlédnutím ke specifikám různých typů aktivních zón. Z toho pak vyplynou, a to doktorand důsledně sledoval, parametry využitelnosti teoreticky nalezených, optimalizovaných poznatků pro doporučení technologických inovací konstrukčního provedení palivových článků s novými absorpčními nuklidy vhodných prvků.

Doktorand vytvořil vlastní výpočtový kód $U_w B_1$, poskytující parametrickou skladbu dat pro výběr vhodných látek vyhořívajících absorbátorů. Uvedený výpočtový kód poskytuje také predikci provozních dat o vyhořívání daného jaderného paliva. Časový vývoj nové metodiky výpočetního kódu $U_w B_1$ je také patrný z rozsáhlé průběžné publikační aktivity doktoranda, zahrnující impaktované (3), recenzované (3) a dalších

94 prací z mezinárodních konferencí, vnitrostátních a dalších odborných akcí. Za důležitý výsledek sestaveného výpočtového kódu U_wB_1 je také jeho udávaná deseti až stonásobná operační rychlost. Sama výpočetní metodika byla v části analýzy vyhořívajících absorbátorů posuzována v disertační práci porovnáváním vybraných prvků a navazujících nuklidů a jejich smysluplnými kombinacemi v palivu a pokrytí paliva při různých obohaceních paliva reaktorů typu CANDU, VVER a SFR.

3. K výsledkům a přínosu práce

Disertační práce poskytuje novou metodiku výpočtů predikce provozní funkce vyhořívajících absorbátorů, poskytuje vstup do jejich konstrukční optimalizace včetně údajů o souběžném vyhořívání jaderného paliva.

Výpočtový kód U_wB_1 je použitelný pro všechny k realizaci i v ČR předpokládaných inovovaných tlakovodních reaktorů generace IIIplus některé zahraniční provenience, nebo, na příklad, při možné realizaci některého z typů modulárních reaktorových energetických systémů, kde bude jistě větší možnost využití české odborné účasti.

4. Další vyjádření

Disertace je mimo teoretickou výzkumně vývojovou a metodickou část doložena velkou řadou názorných obrázků, tabulek s detailními informacemi a daty, které jsou příslušně jednotlivým krokům vývoje obsahu práce. Na samém konci práce se vyskytují shrnující přílohy B (vstupní a výstupní soubory kódu U_wB_1) a C (materiálové metriky).

Výběr řešeného tématu sám o sobě svědčí o vysoké odborné úrovni školící katedry, neboť se jedná o důležitý dílčí prvek fyzikálního výpočtu provozní funkce aktivní zóny jaderného reaktoru, jehož výsledky se v celém projektu promítají prakticky do všech složek bezpečného a ekonomického provozování jaderně energetického zařízení.

Také pozitivně hodnotím vědecko výchovnou kooperaci katedry, v tomto případě s ČVUT Praha (školitel pan doc. Škoda). Dalším kladem je, že se katedře podařilo jistě spolu s dalšími zajistit pro doktoranda zahraniční stážové a konzultační pobyty (Royal Military College of Canada, Texas A and M University, Guru Gobind Singh Indraprastha University), s pomocí TA ČR, také vědeckou podporu pracovníků Ústavu jaderného výzkumu, a.s., Řež a samozřejmě mateřského pracoviště doktoranda, Škoda JS a.s. Práce je také důkazem o mimořádné pracovitosti a odborném nasazení pana Loveckého.

5. Závěrečné vyjádření oponenta k disertaci

Z předložené disertační práce jednoznačně vyplývá, že pan Lovecký má široký teoretický rozhled a navazující znalosti a zkušenosti v moderních metodách fyzikálních výpočtů a predikce provozních stavu jaderných reaktorů. Proto disertační práci doporučuji předložit k obhajobě a současně, v případě úspěšné obhajoby, udělit panu Loveckému vědecký titul „doktor filozofie“(PhD.).