

# Oponentský posudok

## na dizertačnú prácu

Autor:	Ing. Pavel Tichý
Študijný program:	Aplikácie prírodných vied
Študijný obor:	Jadrové inžinierstvo
Názov práce:	<i>Study of Accelerator-Driven Subcritical Setups Determined for Testing of Transmutation Possibilities</i>
Akademický rok:	2019/2020

---

Doktorand Ing. Pavel Tichý vypracoval svoju dizertačnú prácu s názvom *Štúdium urýchľovačom riadených podkritických zostáv určených pre testovanie možností transmutácií* na školiacom pracovisku KJR FJFI ČVUT v Prahe a v spolupráci s SÚJV Dubna v Rusku, pod vedením školiteľa RNDr. Vladimíra Wagnera, CSc. Svoju experimentálne zameranú prácu rozdelil do deviatich kapitol vrátane úvodu a záveru, ktoré ďalej dopĺňa 8 príloh. Práca tiež obsahuje zoznam skratiek s 59 skratkami a celkovo aj 32 tabuliek a 99 obrázkov, pričom väčšina z nich sú grafy. Autor cituje 162 literárnych zdrojov. Práca je napísaná v anglickom jazyku a na dobrej jazykovej úrovni, obsahuje minimum preklepov. Na niektorých miestach avšak autor nedodržiava zavedené typografické zásady písania odborného textu. A tiež by som vytkol aj nižšiu kvalitu niektorých obrázkov resp. grafov, ktoré majú podľa môjho názoru slabšie rozlíšenie. Avšak aj napriek tomu je práca pútavá a podarená.

### **Aktuálnosť zvolenej témy dizertačnej práce**

V rámci svojej dizertačnej práce sa Ing. Pavel Tichý zaoberal problematikou štúdia zostáv založených na spalačnom terči a blanketu, ktoré sú zapojené do sústavy s urýchľovačom nabitých častíc a ožarované sú zväzkami protónov alebo deuterónov na SÚJV v Dubne. Jedná sa o experimentálne a výpočtové činnosti na existujúcich zostavách QUINTA a E+T a výpočtové práce pre potreby pripravovanej zostavy BURAN. Výskum prebieha v rámci medzinárodnej spolupráce „Energy & Transmutation of Radioactive Waste“. Úlohy merania priestorového a energetického rozloženia neutrónových polí v spalačných zostavách či validácie jadrových dát a výpočtových kódov majú svoje neoddiskutovateľné opodstatnenie. *Zvolenú tému dizertačnej práce považujem preto za aktuálnu a prínosnú* a to nielen vzhľadom na vyššie uvedený výskumný program na SÚJV, ale aj aktuálny projekt MYRRHA, čo bude ADS systém založený na rýchlom reaktore a urýchľovači protónov s vysokou intenzitou a s očakávanou štandardnou prevádzkou okolo roku 2036.

## Zvolené metódy spracovania

Hlavnou náplňou práce bola analýza experimentov na existujúcich zostavách QUINTA a E+T na urýchľovačoch Fázotrón resp. Nuklotrón podporená výpočtovými prácami v Monte Carlo kóde, v prípade simulácií sa navyše jednalo aj o výpočty pre pripravovanú zostavu BURAN. Pre meranie parametrov neutrónových polí, resp. zmiešaných polí neutrónov a nabitých častíc si študent zvolil aktivačnú metódu s dozimetrickými fóliami a s využitím jadrovej gama-spektrometrie. Pre výpočtové práce, v rámci ktorých simuloval experimentálne podmienky na ožarovacích zostavách, využil autor kódy MCNPX a TALYS. Je nutné zdôrazniť, že riešená problematika svojim charakterom spadá do energetický oboru, pre ktorý je stále príznačný nedostatok jadrových dát a experimentálnych meraní. Z toho plynúce komplikácie sa avšak darilo autorovi riešiť úspešne. Osobne by som uvítal, ak by sa pokúsil pri analýze experimentov dôkladnejšie odlišiť odozvu na neutrónové pole a odozvu na nabitú časticu, ale uvedomujem si, že vzhľadom na charakter riešenej problematiky sa nemusí jednáť o triviálnu záležitosť. Okrem popisu experimentov, simulácií, použitých nástrojov a teoretického zázemia uvádza autor vo svojej dizertačnej práci v rámci súčasného stavu aj popis ADS výskumu na SÚJV a to terčové zostavy GAMMA-2, GAMMA-3, Energy plus Transmutation (E+T), QUINTA a BURAN. Podáva tak takmer komplexnú predstavu o jednotlivých zostavách a experimentálnom využití. Prekvapilo ma avšak, že som v práci nenašiel nejaké podrobnosti o zostave EZHIK. I napriek tomu čitateľ získava jasnú predstavu o prebiehajúcom výskume v SÚJV a *zvolené metódy spracovania preto celkovo považujem za primerané vzhľadom k riešenej problematike*. Ďalej by som ale podotkol, že experimentálne dáta (pre E+T zostavu) uvádzané v kapitole 3 sú prevzaté z iných Ph.D. prác, ako je autorom v texte uvedené aj s príslušnými referenciami na dané práce, avšak obrázok č. 18 je založený na experimentálnych výsledkoch z iných prác, a preto by v jeho popisku mali byť uvedené príslušné referencie. Podobne aj tabuľky 9 až 24 v prílohe C obsahujú dáta prevzaté od iných autorov a preto by v záhlaví jednotlivých tabuliek mali byť uvedené odpovedajúce referencie. Ďalej trochu máätúco pôsobí začlenenie častí výsledkov simulácií pre experimenty na Fázotrone do grafu 27 v kapitole o výsledkoch simulácií pre Nuklotrón (str. 67). Tiež by som podotkol, že niektoré grafy v dizertačnej práci by si zaslúžili podrobnejší komentár.

## Splnenie cieľov dizertačnej práce

Autor uvádza vytýčené ciele svojej dizertačnej práce hneď v úvodnej kapitole. Ciele práce zahrňujú prehľad súčasného stavu výskumu zameraného na urýchľovačom riadené systémy, analýzu experimentov na existujúcich terčových zostavách v SÚJV (predovšetkým zostava QUINTA), podporné MCNPX výpočty a porovnanie s experimentálnymi výsledkami, ďalej výpočtové MCNPX poklady pre pripravovanú zostavu BURAN a nakoniec posúdenie využiteľnosti získaných výsledkov pre program urýchľovačom riadených transmutácií a využiteľnosť predikcií MCNPX kódu. *Po preštudovaní dizertačnej práce môžem určite konštatovať, že ciele vytýčené v úvode práce boli postupne naplnené*. Niektoré dosiahnuté výsledky a prínosy mohli byť síce podrobnejšie okomentované, avšak aj napriek tomu je prínos výskumnej činnosti doktoranda a jeho práce zrejмый.

## Dosiahnuté výsledky a vedecký prínos práce

Doktorand dosiahol zaujímavých a prínosných výsledkov pre študované terčové zostavy, ktoré mimo iné prispievajú k zefektívneniu budúcich experimentov. Charakterizoval neutrónové polia a tiež aj citlivosť geometrického nastavenia zväzku primárnych incidentných častíc voči zostavám a identifikoval pozície využiteľné pre benchmarking Monte Carlo simulačných kódov. *Dosiahnuté výsledky a vedecký prínos práce z pohľadu výskumného programu „Energy & Transmutation of Radioactive Waste“ a programov zameraných na ADS je zrejmý.*

Súčasťou dizertačnej práce avšak nie je zoznam autorových publikácií a príslušný zoznam nebol priložený ani k výťažku práce, ktorý som obdržal na oponovanie. Avšak podľa údajov uvedených v databáze SCOPUS má autor dizertačnej práce celkovo 19 publikácií zameraných na problematiku ADS, jadrových dát a ožarovacích zostáv v SÚJV Dubna, z toho dve ako hlavný autor. Uvedené prvoautorké aj spoluautorké publikácie potvrdzujú vedecký prínos jeho výskumných činností a dosiahnutých výsledkov ako aj aktuálnosť riešenej problematiky.

## Pripomienky a dotazy k predloženej dizertačnej práci

- 1) Uveďte, ako sa líši Váš MCNPX model od starších MCNPX modelov iných autorov, ktorí vyhodnocovali experimenty E+T zostavy, napr. MCNPX model dr. M. Suchopára. Vyšpecifikujte Váš príspevok ohľadom problematiky E+T zostavy a uveďte, aké zlepšenie sa od novej systematiky očakáva?
- 2) Na strane 55 (odstavec dole) tvrdíte, že neutrónový tok obecné narastá s narastajúcou energiou primárneho zväzku. Trendy na základe experimentálnych dát uvedené na obrázku 18 to ale úplne nepotvrdzujú. Môžete teda vysvetliť trendy pozdĺžnej distribúcie reakčnej rýchlosti v E+T zostave pre protónové zväzky 0,7 GeV, 1 GeV, 1,5 GeV a 2 GeV? A obdobne pre deuterónové zväzky 1,6 GeV, 2,52 GeV a 4 GeV. Napr. prečo v rozsahu 10 až 30 cm sa trendy pre deuterónové zväzky 1,6 GeV a 2,52 GeV prekrývajú? Možno by bolo zaujímavé vidieť príslušné trendy stanovené na základe vašich simulácií.
- 3) Na strane 61 uvádzate (Kapitola 4), že zostava QUINTA bola orientovaná na experimentoch na Nuklotrone pod uhlom  $\alpha$  voči osi zväzku. Môžete okomentovať dôvod daného usporiadania?
- 4) Na strane 70 uvádzate, že príspevky reakcií indukovaných deuterónmi k reakčným rýchlostiam Co-57,58 boli menšie než 0,2 %, resp. v prípade reakčných rýchlostí Bi-205,206 boli menšie než 1,3 %. Ako ste uvedené hodnoty stanovili, boli experimentálne overené?
- 5) Na strane 72 na konci posledného odstavca (experiment na Fázotrone s 660 MeV protónmi) zdôvodňujete podhodnotenie výsledkov simulácií voči experimentom tým, že izotopy kobaltu sú produkované aj reakciami indukovanými neutrónmi. Sú príslušné vplyvy uvažované v MCNPX výpočtoch alebo sú zohľadnené ich korekcie v experimentálnych výsledkoch? Jedná sa teda v pomere exp/sim o ekvivalentné veličiny?

- 6) Aké sú Vaše budúce plány ohľadom vedecko-výskumných činností na experimentálnych ožarovacích zostavách QUINTA a BURAN resp. v rámci spolupráce „Energy & Transmutation of Radioactive Waste“?

### **Záver a zhodnotenie**

Podľa môjho názoru predložená dizertačná práca splňuje požiadavky samostatnej tvorivej vedeckej práce a obsahuje originálne výsledky vedeckej práce. *Predloženú prácu odporúčam k obhajobe a po jej úspešnom obhájení odporúčam udeliť uchádzačovi akademický titul philosophiae doctor Ph.D.*

V Prahe dňa 13.7.2020

**Ing. Milan Štefánik, Ph.D.**

Oponent dizertačnej práce

Katedra jaderných reaktorů FJFI ČVUT v Praze