

Oponentní posudek disertační práce Ing. Vladislava Píši „Použití křemíkových detektorů pro vojenské účely“.

Předložená disertační práce se celkem na 91 stránkách textu ve 12 kapitolách snaží v poměrně široké podobě pokrýt tematiku danou jejím názvem. Její uspořádání je v podstatě tradiční od souhrnu současného stavu přes teoretické úvahy a popis vývoje detektoru Podhornik (cca 60 stran textu) k částem, které autor práce označuje za její těžiště. Tyto části jsou věnovány výpočtu energetické závislosti detektoru Podhornik, jejímu experimentálnímu ověření, spolehlivosti tohoto přístroje a přesnosti při měření dávkového příkonu záření gama směsi štěpných produktů. Práce je datována rokem 2020, nicméně v seznamu literatury je uvedena i publikace v AIP Conference Proceedings z roku 2021, na níž se autor disertace podílel.

Cíle práce jsou specifikovány v Kapitole 2:

- Základním cílem této práce je:
 - Určit experimentálně energetickou závislost odezvy přístroje DP - 86 pro měření dávkového příkonu záření gama
 - Vytvoření matematického modelu a simulační určení energetické závislosti odezvy přístroje DP - 86 pro měření dávkového příkonu
 - Porovnání experimentálních a simulačních výsledků
- Přístroj DP-86 je určený k měření dávkového příkonu záření gama směsi štěpných produktů v polních podmínkách. Druhým cílem práce tedy je výpočet odezvy při měření dávkového příkonu směsi štěpných produktů na podkladě získaných výsledků.
- Měření v polních podmínkách vyžaduje znalost úhlové závislosti odezvy přístroje DP -86. Třetím cílem je:
 - Určit experimentálně úhlovou závislost odezvy přístroje DP - 86 pro vybrané energie
 - Na podkladě získaných výsledků vypočítat odezvu přístroje DP - 86 pro kontaminovanou rovinu podle návodu k použití přístroje

Z formálního hlediska se všechny tyto cíle v práci odrážejí, výhrady však je možné mít jak k samotnému jejich stanovení pro doktorskou disertační práci, tak ke způsobu jejich naplnění.

Již část 1.1 práce „Současný stav dozimetrického zabezpečení v české armádě a v NATO“ zpochybňuje její aktuálnost. Práce se zabývá polovodičovými detektory Podhornik použitými v dozimetrickém přístroji DP-86. Autor práce uvádí, že tento přístroj začal být zaváděn do ČSLA koncem roku 1992 (v té době již šlo o ČSA, přívlastek „lidová“ byl z názvu v r. 1990 vypuštěn). Jako příklad komplexního monitorovacího přístroje v armádách NATO pak uvádí přístroj SVG 2 firmy Thermo Scientific (specifikace tohoto přístroje na firemním webu má vnošení 2007) a konstatuje, že tento přístroj je z hlediska multifunkčnosti a miniaturizace o generaci napřed v porovnání s našimi přístroji.

V další části práce je možné ocenit pečlivou rešerši literatury k jednotlivým dílčím oblastem. Nicméně některé části jsou uváděny zbytečně a s cílem práce nesouvisí, náležely by spíše do obecných učebnic dané problematiky. Zejména se jedná o část

1.2, shrnující technologie výroby polovodičů a polovodičových detektorů, vysvětlení principu metody Monte Carlo v části 3.1 nebo elementární údaje o interakci záření s látkou v části 3.2.

Kapitola 4 „Program Monte Carlo transportu elektronů použitím Moliérové teorie“ je, jak lze usoudit ze záhlaví výpisu programu, vlastní prací disertanta. Z hlediska koncepce práce by patrně bylo vhodnější program dát jako přílohu k práci, nikoli přímo do textu. Program je napsán v Basic Visual, a uvažuje jednoduché geometrické uspořádání – elektrony odražené při Comptonově rozptylu fotonu dopadlého kolmo na čelní plochu válcového křemíkového detektoru. Nabízí se otázka, proč autor disertační práce nepoužil některý z dostupných sofistikovanějších kódů, jako je MCNP, FLUKA, případně GEANT 4 (který ostatně zmiňuje již v kapitole 1, kde stručně komentuje pokroky v matematickém modelování). Kromě toho v uvažované energetické oblasti fotonů se budou v nezanedbatelné míře uplatňovat i elektrony emitované při fotoefektu.

Kapitola 5 se zabývá konstrukcí a vlastnostmi křemíkové diody s dlouhou bází jako integrujícího detektoru neutronů. Jde o rešerši prací konaných v ČR v 70. a 80. letech minulého století, které byly postupně uplatněny v ČKD Polovodiče a Tesle Rožnov. Autor disertace se zjevně podle odkazů na příslušné práce na výzkumu a vývoji nepodílel a k reálnému uplatnění této diody ve vojenské dozimetrické technice nedošlo (i když určitý potenciál k takovému uplatnění tento detektor má). Důvod zařazení této kapitoly do disertační práce její autor nevysvětluje a není jasný.

Podobně rešeršní charakter má Kapitola 6, věnovaná vývoji polovodičového detektoru dávkového příkonu záření gama cíleného na energie fotonů ve spektru záření gama štěpných produktů. Je zřejmé, i když v práci neuvedené, že tento energetický rozsah je vyhovující i pro jiné možné případy využití pro armádu, např. pro monitorování míst kontaminovaných špinavou bombou. Rovněž zde jde o práce ze 70. a 80. let minulého století, které vyústily v podniku Monokrystaly Turnov v realizaci detektoru dávkového příkonu záření gama pod názvem Podhornik. Zařazení této kapitoly do disertační práce je ale na rozdíl od předchozí kapitoly relevantní, protože tyto detektory byly využity v přístroji DP-86, zavedeném do výzbroje tehdejší ČSLA, kterým se práce v dalším textu zabývá.

Vlastní výsledky autora (pokud pomineme program uvedený v Kapitole 4) přináší tedy teprve Kapitola 7 a následující. Kapitola 7 se zabývá výpočtem energetické závislosti polovodičového detektoru Podhornik ve značně zjednodušeném geometrickém uspořádání uvažujícím pouze kolmý dopad fotonů na čelní stranu válce. Znovu se nabízí otázka, položená již v souvislosti s Kapitolou 4, proč nebylo použito některého v současnosti dostupného programu Monte Carlo, modelujícího interakci ionizujícího záření s látkou. Je při tom uvažována interakce fotonu v aktivní vrstvě detektoru Comptonovým rozptylem nebo fotoefektem, v neaktivní vrstvě nebo niklovém pouzdře pouze Comptonovým rozptylem, autor nezdůvodňuje, proč v tomto případě neuvažuje také fotoefekt, který zjevně k odezvě detektoru bude také přispívat. Předpoklad přímočarého pohybu elektronu poněkud zjednodušuje reálnou situaci. Výsledky jsou shrnuty v poměrně nepřehledné formě v tab. 7, která by vyžadovala podrobnější komentář, a částečně jsou zobrazeny v grafech na obr. 7 a 8. Pokud je při

výpočtu uvažováno pouze 10 000 historií (jak je uvedeno dále na str. 80), bylo by vhodné doplnit výsledky o odhad neurčitostí simulace.

V Kapitole 8 jsou shrnuty výsledky experimentálního ověření energetické závislosti sond přístroje DP-86, které realizoval autor disertace a následně je uvedl ve výzkumné zprávě někdejšího vojenského výzkumného ústavu VÚ 070 v roce 1990. Podobně jako v předešlé kapitole by bylo na místě, aby k naměřeným hodnotám byl uveden odhad neurčitostí. Hlavní výsledek je názorně shrnut v obr. 10, kde jsou zaneseny jak experimentální, tak i vypočtené hodnoty relativní citlivosti. Jakýkoli komentář k tomuto grafu však v práci chybí.

Kapitola 9.1 se zabývá chováním přístroje DP-96 při měření dávkového příkonu od záření gama směsi štěpných produktů v závislosti na čase. Z textu není zcela jasné, ale jeví se jako pravděpodobné, že jde o výsledky uvedené v další výzkumné zprávě autora disertace z roku 1991. Jsou založené na rozdělení spektra záření gama štěpných produktů v energetickém intervalu od 0,03 do 2,4 MeV do pěti grup a spojitě spektrum v těchto grupách je nahrazeno efektivní energií. To je možný, byť aproximativní přístup, opět ale chybí jakýkoli komentář k míře přibližnosti této aproximace. Bylo by rovněž na místě vysvětlit, jak byla z tab. 10 získána dvouřádková tab.10 – pokračování, a smysl tohoto pokračování. Na tuto kapitolu navazuje Kapitola 9.2, která shrnuje další výsledky získané na VÚ 070 (ústav byl zrušen k 31.12.1992), týkající se směrové závislosti sondy. Ty byly naměřeny pro záření ^{60}Co a ^{137}Cs , takže formálně jde o rozpor s názvem Kapitoly 9 jako celku, který hovoří o použití přístroje DP-86 k měření dávkového příkonu od záření gama směsi štěpných produktů. Poslední odstavec této kapitoly je natolik jen odhadem ve vztahu k záření směsi štěpných produktů, že nemůže sloužit jako odpovědné posouzení vlastností sondy („Nelze vyloučit, že při měření v terénu nedosáhne naměřená hodnota ani 70 % skutečné hodnoty“).

Stručná Kapitola 10 shrnuje ve více méně heslovité podobě provedené zkoušky spolehlivosti přístroje DP-86 před jeho zavedením do ČSLA na základě protokolů o těchto zkouškách z r. 1991. Ty jsou citovány jako dílo autora disertace. Konkrétní hodnoty testovaných parametrů a výsledky nejsou v práci uvedeny, je jen konstatováno, že zkoušky byly vyhodnoceny jako vyhovující.

Kapitola 11 má název „Přesnost vyhodnocení měření dávkového příkonu záření gama směsi štěpných produktů“. Místo toho je však většina kapitoly věnována komentáři ke způsobu stanovení přesnosti výpočtu, aniž by byly uvedeny jakékoli konkrétní číselné hodnoty. Závěrečná věta odstavce 11.4 je dostatečně výmluvná: „....je nutné přiznat, že získaná poměrná citlivost nemusí odpovídat skutečnosti“. Navazující shrnutí v Kapitole 12 pak konečně obsahuje několik konkrétních čísel, tj. odhad změn relativní citlivosti měření se stářím směsi štěpných produktů od 100 % do 119 % a v důsledku úhlové závislosti od 70% do 119%. Čím ale autor práce podkládá tato čísla, není zjevné. V podstatě se tak pouze potvrzují chyby měření uváděné v Návodu k obsluze přístroje (základní chyba za standardních podmínek na úrovni 20 – 30 % podle měřicího rozsahu a doplňková chyba v důsledku změn teploty, energie záření, vlhkosti atd. 30 %).

Po formální stránce práce není zpracována příliš pečlivě a obsahuje řadu tiskových chyb a nesrozumitelných formulací, které nemá smysl zde jednotlivě uvádět. Snad jen

jeden příklad ze str. 69: „Podíváme-li se na dosažené výsledky⁷³, vidíme, že obě metody dávají nečekaně shodné výsledky výpočtu p_2 až na hodnoty p_2 se pro ^{60}Co „úlet“ pro energii 80 keV. Podrobněji bude otázka analyzována v kapitole 11, ve druhém případě se jedná o nárůst účinného průřezu pro fotoefekt před absorpční hranou ^{60}Co 88 keV.“ Kromě nesrozumitelné formulace – hodnotu 88 keV má absorpční hrana K olova a souvislost s ^{60}Co je zcela nejasná.

Jinde lze nalézt nesprávné názvy fyzikálních veličin. Opět jen jeden příklad: Veličina μ_{Pb} na str. 65 není lineární brzdná schopnost (tu pro záření gama nelze definovat), ale lineární součinitel zeslabení.

Ve snaze o co nejjednodušší přístup k výpočetním modelům se autor dopouští řady zjednodušení a zanedbání, aniž by jejich oprávněnost zdůvodnil. Tak např. na str. 22 v popisu zeslabení svazku nenabitých částic uvažuje pouze tenký terčik (a navíc úzký svazek záření, o čemž se nezmiňuje), což rozhodně není případ detekce záření v polovodičovém detektoru v přístroji pro použití v armádě. Jiným příkladem je možnost zanedbání brzdného záření zmiňovaná na str. 80, která je v uvažovaném energetickém rozmezí až do 2 MeV diskutabilní a míra aproximace tímto zanedbáním způsobená by měla být vyhodnocena.

K formální stránce práce lze ještě poznamenat, že poměrně obsáhlý seznam použité literatury by měl být revidován z hlediska jednotnosti a úplnosti citací (např. práce [22] nebo [49] nelze podle toho, jak jsou uvedeny, dohledat – v prvním případě snad je míněna kniha vydaná v r. 1991 nakladatelstvím Clarendon Press, ve druhém případě snaha nalézt tuto práci citovanou pouze jménem autora a názvem zcela ztroskotává). Vzhledem ke značnému počtu použitých veličin a jejich symbolů by studium práce významně usnadnil jejich seznam. Na druhé straně přehled základních fyzikálních veličin a jednotek na str. 85 je zbytečný (navíc erg jako jednotka energie již není používán, soustava CGS byla v roce 1960 nahrazena soustavou SI).

Zákon č. 111/1998 o vysokých školách uvádí jako požadavek na doktorskou disertační práci a její obhajobu: „Studium se řádně ukončuje státní doktorskou zkouškou a veřejnou obhajobou disertační práce, kterými se prokazuje schopnost a připravenost k samostatné činnosti v oblasti výzkumu nebo vývoje nebo k samostatné teoretické a tvůrčí umělecké činnosti. Disertační práce musí obsahovat původní a uveřejněné výsledky nebo výsledky přijaté k uveřejnění.“ Je možné konstatovat, že požadavek uveřejnění výsledků byl formálně splněn referátem v rámci konference APCOM 2021 (Štrbské Pleso, 23 – 25 June 2021) a publikací tohoto referátu v AIP Conference Proceedings (2411, 050010, 2021). Konstatuji nicméně, že zvolená tematika práce a souhrn výsledků neodpovídají ani metodikou, ani komplexností očekávané úrovni doktorské disertační práce.

Otázka detailního zmapování odezev polovodičových detektorů je důležitá a při podrobném výpočetním a experimentálním zpracování by jistě byla velmi přínosná. Předložená práce se však tohoto problému pouze dotýká, a to na starém vojenském přístroji, který již v současnosti je za zenitem jeho používání. Lze proto doporučit komplexnější zpracování této tematiky s tím, že výpočty úhlových a energetických závislostí budou realizovány některým z řady dostupných sofistikovanějších kódů pro modelování interakce ionizujícího záření s látkou, nejlépe pro více v současné době používaných rozměrů polovodičových detektorů. Experimentální ověření výpočtů

samořejmě s ohledem na dostupné zdroje záření nemůže pokrýt celý rozsah výpočtů, ale srovnání v několika bodech je reálné.

S ohledem na výše uvedené skutečnosti doporučuji kompletní přepracování této doktorské disertační práce. V podobě, ve které byla předložena, ji nedoporučuji k obhajobě.

V Praze 6.6.2022

Prof. Ing. Ladislav Musílek, CSc.
ČVUT v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská.