

Hodnotenie a porovnanie troch vybraných scenárov manipulácie s VBK počas doby ich skladovania v areáli jadrového zariadenia

Slimák Andrej · Elektrotechnika, Strojárstvo

01.10.2012



Príspevok sa zaoberá konkrétnou činnosťou súvisiacu s manipuláciou skladovaných obalových súborov. Prvá časť príspevku sa venuje oboznámeniu sa s problematikou rádioaktívnych odpadov, t.j. sa stručne venuje vysvetleniu základných pojmov a rozdeleniu rádioaktívnych odpadov v Slovenskej republike. Druhá časť sa zaoberá vysvetlením základných pojmov nakladania s rádioaktívnymi odpadmi.

V tretej časti je namodelovaná pomocou kódu VISIPLAN 3D ALARA Planning Tool manipulácia vláknobetónových kontajnerov za účelom ohodnotenia dávkovej záťaže pracovníka vykonávajúceho manipuláciu. Táto časť sa venuje najmä zostaveniu modelu a trom vybraným scenárom. Posledná časť príspevku je venovaná dosiahnutým výsledkom pre jednotlivé modelované scenáre.

1. Úvod

V súčasnej dobe existuje mnoho dôležitých odvetví využívajúcich rádioaktívne materiály a rádioaktivitu. Najčastejšie sa s rádioaktívnymi materiálmi pracuje v energetike pri produkcii elektrickej energie, teda v jadrových elektrárňach (JE). Ďalej sa rádioaktivita široko využíva v medicíne, priemysle, výskume a mnohých iných aplikáciách. Pri všetkých týchto činnostiach vzniká značne množstvo rádioaktívnych odpadov (RAO). Nakladanie s rádioaktívnymi odpadmi sa riadi prísnyimi pravidlami a podlieha kontrole. Všetky vzniknuté rádioaktívne odpady je potrebné spracovať a upraviť do formy vhodnej na ich uloženie. Jednotlivé metódy spracovania a úpravy RAO závisia od mnohých faktorov ako sú druh odpadu, množstvo, aktivita a doba polpremeny rádionuklidov v nich obsiahnutých [1].

2. Rádioaktívne odpady

Všeobecne sú odpady bežným sprievodným javom takmer pri všetkých ľudských činnostiach. Špecifikum činností spojených s rádioaktivitou je v tom, že pri nich vznikajú rádioaktívne odpady, teda odpady obsahujúce rádionuklidy. Najväčšie množstvo RAO v súčasnosti vzniká v jadrovoenergetickom priemysle, či už sú to odpady z prevádzky alebo z vyradovania jadrovoenergetických zariadení. Avšak v porovnaní s klasickými elektrárňami je množstvo vyprodukovaných odpadov v JE oveľa

menšie. Teda vyprodukované množstvo RAO je pomerne malé, ale ich špecifická vlastnosť – rádioaktivita sťažuje manipuláciu s nimi.

Podľa atómového zákona [2] nazývame rádioaktívnymi odpadmi nevyužiteľné materiály v plynnej, kvapalnej alebo pevnej forme, ktoré pre obsah rádionuklidov v nich alebo pre kontamináciu rádionuklidmi nemožno uviesť do životného prostredia. Podľa odporúčenia Medzinárodnej agentúry pre atómovú energiu vo Viedni a podľa prijatej legislatívy mnohých krajín nie je vyhorené jadrové palivo (VJP) považované za odpad, pokiaľ ho zaň nevyhlási jeho vlastník. V niektorých krajinách je VJP vzhľadom k vysokému obsahu energeticky využiteľných zložiek považované za druhotnú surovinu. VJP je definované ako ožiarené jadrové palivo trvalo vybrané z jadrového reaktora.

2.1 Rozdelenie RAO

Rádioaktívne odpady vznikajú rôznymi spôsobmi, pričom majú rôznu koncentráciu rádionuklidov, ktoré môžu mať rôznu fyzikálnu a chemickú formu. Na základe určitých parametrov sa stanovuje nielen spôsob ich spracovania a úpravy, ale tiež spôsob ich konečného zneškodnenia. RAO je možné rozdeliť a opísať z viacerých hľadísk. Najvýznamnejšie z nich je rozdelenie podľa úrovne aktivity a doby polpremeny prevládajúcich rádionuklidov, pôvodu odpadov a podobne [3]. Rozdelenie RAO do tried je založené na ich uložitelnosti a je definované vo Vyhláske Úradu jadrového dozoru SR č. 30/2012, Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách pri nakladaní s jadrovými materiálmi, rádioaktívnymi odpadmi a vyhoretým jadrovým palivom [4]. Podľa tejto vyhlášky sa RAO rozdeľujú do nasledovných tried:

Prechodné RAO: Aktivita RAO počas skladovania poklesne pod limitnú hodnotu umožňujúcu ich uvoľnenie do životného prostredia (ŽP).

Veľmi nízkoaktívne RAO: Aktivita RAO je mierne vyššia ako limitná hodnota umožňujúca ich uvoľnenie do ŽP. Tieto RAO obsahujú prednostne rádionuklidy s krátkou dobou polpremeny, prípadne aj rádionuklidy s dlhou dobou polpremeny v nízkej koncentrácii, ktoré si pri ukladaní vyžadujú nižší stupeň izolácie od ŽP systémom inžinierskych bariér a doba inštitucionálnej kontroly úložiska je kratšia ako v prípade povrchového typu úložiska RAO.

Nízkoaktívne RAO: Odpady, ktorých priemerná hmotnostná aktivita rádionuklidov s dlhou dobou polpremeny, najmä rádionuklidov emitujúcich alfa žiarenie, je nižšia ako 400 Bq/g a zároveň maximálna hmotnostná aktivita rádionuklidov s dlhou dobou polpremeny, najmä rádionuklidov emitujúcich alfa žiarenie, je lokálne nižšia ako 4 000 Bq/g. Tieto RAO neprodukujú zostatkové teplo a po úprave spĺňajú limity a podmienky bezpečnej prevádzky pre povrchový typ úložiska RAO.

Stredneaktívne RAO: Odpady, ktorých priemerná hmotnostná aktivita rádionuklidov s dlhou dobou polpremeny, najmä rádionuklidov emitujúcich alfa žiarenie, sa rovná 400 Bq/g alebo je vyššia. Tieto RAO môžu produkovať zostatkové teplo a opatrenia na jeho odvod sú nižšie ako v prípade vysokoaktívnych RAO a po úprave nespĺňajú limity a podmienky bezpečnej prevádzky pre povrchový typ úložiska RAO.

Vysokoaktívne RAO: Ich priemerná hmotnostná aktivita rádionuklidov s krátkou i dlhou dobou polpremeny, najmä rádionuklidov emitujúcich alfa žiarenie, prevyšuje

hodnoty stanovené pre nízkoaktívne a stredneaktívne RAO. Takéto odpady sú uložitelné iba v hlbinnom type úložiska RAO, pričom opatrenia na odvod zostatkového tepla predstavujú významný faktor pri projektovaní týchto úložísk.

3. Nakladanie s rádioaktívnymi odpadmi

Rádioaktívne odpady, ako bolo už spomenuté, vznikajú pri rôznych ľudských činnostiach, najmä počas prevádzky a vyradovania jadrových zariadení. Všetky tieto RAO je potrebné zneškodniť s maximálnou možnou bezpečnosťou a minimálnym dopadom na ľudské zdravie a ŽP. Základná regulačná požiadavka je, aby sa s RAO zaobchádzalo bezpečne. Jednotlivé kroky zaobchádzania s RAO sú nasledovné [3]:

- predbežné spracovanie RAO,
- spracovanie RAO,
- úprava RAO,
- skladovanie RAO,
- preprava RAO,
- ukladanie RAO.

Predbežné spracovanie a spracovanie RAO je chápané ako súhrn technologických procesov a postupov vedúcich k transformovaniu vzniknutých odpadov do formy umožňujúcej ich efektívnu úpravu pre účely uloženia. Patrí sem napr. koncentrácia, fragmentácia, chemická úprava, ochranné obalenie, dekontaminácia atď [3]. Hlavným cieľom spracovania rádioaktívnych odpadov je zvýšiť bezpečnosť ďalších fáz zaobchádzania s RAO a zlepšiť technické a ekonomické parametre úpravy a uloženia RAO pomocou oddelenia rádionuklidov z RAO, zmenou zloženia RAO a redukciou objemu RAO [5].

Úprava rádioaktívnych odpadov je súhrn technologických procesov, postupov a činností, vedúcich k vytvoreniu chemickej a fyzikálnej formy, v akej bude rádioaktívny odpad prepravený a uložený, prípadne skladovaný. Väčšinou je odpad imobilizovaný vhodným spôsobom a vložený do štandardného obalu, napr. ocelového suda s objemom 200 dm³ a/alebo vláknobetónového kontajnera. Kvapaliny sú pritom solidifikované, pevné odpady zalievajú cementovou zmesou [3]. Skladovanie rádioaktívnych odpadov znamená umiestnenie odpadov takým spôsobom, ktorý poskytuje ich dočasnú izoláciu s úmyslom neskoršej manipulácie. Skladovanie je teda dočasný krok, ktorý môže byť vykonaný medzi alebo v rámci jednotlivých fáz nakladania s RAO [5].

Preprava rádioaktívnych materiálov podľa atómového zákona zahŕňa prepravné operácie, vrátane činností spojených s naložením a vyložením, z miesta pôvodu jadrových materiálov, rádioaktívnych odpadov z jadrových zariadení alebo vyhorelého jadrového paliva na miesto určenia a prepravné operácie z miesta úpravy inštitucionálnych rádioaktívnych odpadov na úložisko. Ukladanie RAO je umiestnenie odpadov do špeciálnych zariadení (úložísk) bez úmyslu ďalšej manipulácie. Existujú rôzne typy trvalých úložísk RAO, ktoré sa rozdeľujú do troch hlavných kategórií: povrchové, podpovrchové a hlbinné úložiska.

4. Využitie výpočtového prostriedku VISIPLAN 3D ALARA pre účely namodelovania manipulácie s VBK

Ako bolo už spomenuté na začiatku príspevku, RAO vznikajú pri všetkých činnostiach kde sa využívajú rádioaktívne materiáli. V Slovenskej republike sa najviac pracuje s rádioaktívnymi materiálmi pri výrobe elektrickej energie. Ďalej je to výskum, medicína a iné inštitucionálne činnosti. Všetky RAO vzniknuté pri týchto činnostiach je potrebné spracovať a upraviť maximálne bezpečne a zabrániť tak nežiaducim vplyvom na ľudské zdravie a ŽP, pričom treba brať do úvahy princíp ALARA.

Jedným zo zariadení na spracovanie a úpravu RAO v Slovenskej republike predstavuje Bohunické spracovateľské centrum (BSC). V celom procese zaobchádzania s RAO je finálnym produktom vláknobetónový kontajner (VBK) zaplnený cementovou zmesou, resp. voľne uloženým pevným odpadom zaliatym cementovou zmesou. Príspevok sa zaoberá manipuláciou práve so spomínaným VBK v areáli JE Bohunice v tesnej blízkosti budovy BSC. Konkrétne ide o ocenenie dávkovej záťaže pracovníka vykonávajúceho premiestňovanie VBK nachádzajúcich sa pod prístreškom, ktorý bol postavený v areáli BSC, pomocou výpočtového prostriedku VISIPLAN 3D ALARA Planning Tool.

4.1 Bohunické spracovateľské centrum

Bohunické spracovateľské centrum rádioaktívnych odpadov tvorí komplex zariadení na spracovanie a úpravu rádioaktívnych odpadov do formy vhodnej na ich konečné uloženie. Bolo vybudované v rokoch 1993-1999. V aktívnej prevádzke je od roku 2001. Spracovateľské zariadenia sú určené na spracovanie a úpravu kvapalných a pevných rádioaktívnych odpadov vznikajúcich pri vyradovaní jadrových elektrární A1 a V1, z prevádzky jadrových elektrární V2 a Mochovce, a inštitucionálnych rádioaktívnych odpadov z celého Slovenska. Objekt BSC je prepojený v aktívnej časti s bitúmenačnou linkou a čistiacou stanicou odpadových vôd [6].

V BSC sú spracovávané a upravované spáliteľné pevné a kvapalné RAO, lisovateľné pevné RAO, nespáliteľné a nelisovateľné pevné RAO a kvapalné RAO, a na úpravu a spracovanie RAO sú používané nasledovné spracovateľské linky [6]:

- vysokotlakový lis na zmenšenie objemu nespáliteľných odpadov,
- cementačné zariadenie pre spevňovanie a stabilizáciu koncentrovaných odpadov, ostatných kvapalných RAO, pevných zlisovaných odpadov a pevných nelisovateľných odpadov,
- triediace zariadenie pre pevné RAO,
- spaľovacie zariadenie pre pevné RAO,
- zariadenie na koncentráciu kvapalných RAO.

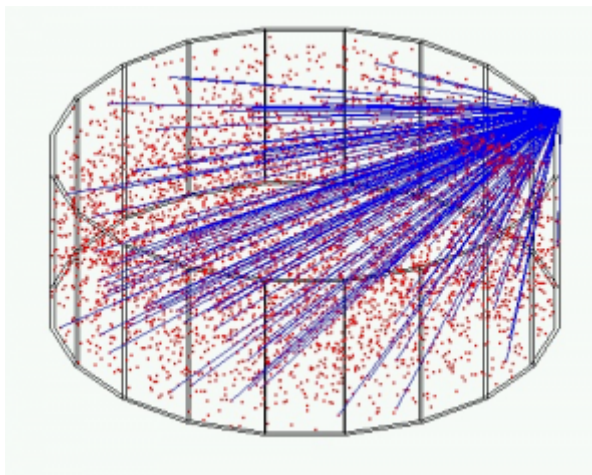
V celom procese zaobchádzania s RAO je finálnym produktom zaplnený vláknobetónový kontajner s rozmermi 1,7 x 1,7 x 1,7 m určený na trvalé uloženie v Republikovom úložisku RAO v Mochovciach.

4.2 Popis výpočtového prostriedku VISIPLAN 3D ALARA Planning Tool

Na ocenenie dávkového zaťaženia bol vybraný výpočtový prostriedok VISIPLAN 3D ALARA Planning Tool. Ide o výpočtový prostriedok vyvinutý spoločnosťou SCK-CEN v Belgickom meste Mol. Tento prostriedok predstavuje analytický nástroj pre výpočet dávky vonkajšieho ožiarenia pracovníkov γ žiarením. Pomocou tohto výpočtového

prostriedku môže byť nasimulované nakladanie s rádioaktívnymi materiálmi a následne môžu byť vypočítané výsledky použité v praxi. Tieto dosiahnuté výsledky môžu byť prínosom pri optimalizácii nakladania s danými rádioaktívnymi materiálmi.

Pre výpočet efektívneho dávkového príkonu používa VISIPLAN 3D ALARA Planning Tool metódu „point-kernel“ (Obr. 1), pri ktorej je rádioaktívny zdroj modelovaný množinou zdrojových bodov, kde výsledná hodnota efektívnej dávky v stanovenom bode sa rovná súčtu efektívnych dávok od jednotlivých bodov [7].

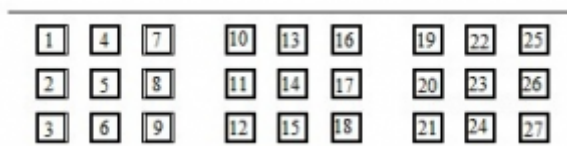


Obr. 1: Metóda „point - kernel“ [7]

4.3 Zostavenie modelu pre manipuláciu s VBK

Prístrešok postavený v areáli Bohunického spracovateľského centra má rozmery pôdorysu 32,7×8,3 m a výšku 6 m. Pod prístreškom sa uvažuje s umiestnením 27 VBK rozdelených do troch sekcií, pričom v každej sekcií sa nachádza 9 VBK. Vzdialenosť medzi kontajnermi v jednotlivých sekciách je 1,35 m a vzdialenosť jednotlivých sekcií je 3 m. Každý VBK je modelovaný ako samostatný objekt, pričom v každom sa nachádza zdroj gama žiarenia. Aktivita jednotlivých VBK bola zadaná na základe databázy sprievodných listov VBK, pričom z nej boli konzervatívne vybrané kontajnery s najvyššou celkovou aktivitou.

Vláknobetónový kontajner je namodelovaný ako kocka s dĺžkou hrany 1,7 m zo zosilneného betónu s hustotou 2,7 g/cm³ a hrúbkou steny 10 cm. Zdroj gama žiarenia - forma RAO je namodelovaná ako homogénna cementová zmes s hustotou 1,175 g/cm³ kontaminovaná rádionuklidmi ¹³⁷Cs a ⁶⁰Co v pomere 98,18 - 99,78 % ¹³⁷Cs a zvyšok ⁶⁰Co. Percentuálne zastúpenia daných izotopov v jednotlivých kontajneroch boli zadané na základe spomínaných sprievodných listov vybraných VBK. V tabulke Tab. 1 sú uvedené jednotlivé aktivity a zastúpenia daných izotopov vo VBK a na Obr. 2 sú schematicky znázornené pozície jednotlivých kontajnerov umiestnených pod prístreškom. Celková hmotnosť namodelovaného VBK je 8122 kg, čo pomerne presne zodpovedá skutočným hmotnostiam vybraných kontajnerov (7974 - 8682 kg).



Obr. 2: Uvažované rozmiestnenie jednotlivých VBK pod prístreškom

Okrem iného treba ešte spomenúť, že rozmiestnenie jednotlivých VBK bolo uskutočnené náhodným výberom. V príspevku sú namodelované tri scenáre zaoberajúce sa manipuláciou s VBK. Prvý a druhý scenár sa zaoberá premiestnením VBK do budovy BSC, kde bude daný kontajner naložený na kamión a transportovaný do Republikového úložiska RAO v Mochovciach (RÚ RAO). Rozdiel medzi prvým a druhým scenárom je v počte VBK uskladnených pod prístreškom. Tretí scenár sa zaoberá premiestnením VBK priamo na kamión umiestnený vedľa prístrešku pomocou portálového žeriavu.

Tab. 1: Celkové aktivity jednotlivých VBK a percentuálne zastúpenie izotopov ^{137}Cs and ^{60}Co v jednotlivých VBK

číslo VB	Celková aktivita [10^{10} Bq]	Podiel ^{137}Cs vo VBK [%]	Podiel ^{60}Co vo VBK [%]
1	3.85	99.38	0.62
2	5.59	99.30	0.70
3	3.17	99.33	0.67
4	1.83	99.29	0.71
5	2.03	99.20	0.80
6	2.52	99.27	0.73
7	1.87	99.30	0.70
8	3.04	99.32	0.68
9	5.29	99.34	0.66
10	2.31	99.28	0.72
11	4.42	99.46	0.54
12	2.43	99.32	0.68
13	2.01	99.34	0.66
14	3.26	99.30	0.70
15	2.21	99.61	0.39
16	3.16	99.37	0.63
17	2.38	99.64	0.36
18	3.13	99.36	0.64
19	2.04	99.32	0.68
20	3.25	99.29	0.71
21	2.91	99.78	0.22
22	2.06	99.31	0.69
23	3.36	99.22	0.78
24	2.68	98.12	1.88
25	4.00	99.23	0.77
26	2.45	99.29	0.71
27	3.28	99.18	0.82

4.4 Zostavenie scenárov pre manipuláciu s VBK

V nasledujúcich dvoch podkapitolách budú stručne popísané scenáre manipulácie s VBK.

Scenár č. 1 - 27 VBK uskladnených pod prístreškom

Scenár pozostáva z premiestnenia VBK č. 13 do budovy BSC, kde bude následne naložený na kamión a prevezený do republikového úložiska RAO v Mochovciach. Pracovník obsluhujúci stroj HYSTER prichádza smerom od budovy BSC ku kontajneru umiestnenému v strede prístrešku (VBK č. 15), kde ho zodvihne a premiestni ho nabok vedľa prístrešku. Vzájomná vzdialenosť šoféra a VBK je 1,5 m, pričom šoféra oddeľuje od kontajnera sklo hrúbky 0,5 cm. Po odvezení VBK č. 15 sa pracovník vráti naspäť ku stredu prístrešku a naberie ďalší VBK (č. 14) a odnesie ho k VBK č. 15. Nakoniec odvezie VBK č. 13 do budovy BSC. Po tejto činnosti vráti kontajnery č. 14 a č. 15 na pôvodné miesto. Pre ocenenie obdržanej dávky pracovníkom pri tejto činnosti boli namodelované štyri trajektórie.

Scenár č. 2 - 24 VBK uskladnených pod prístreškom

V tomto scenári sa uvažuje s umiestnením iba 24 VBK pod prístreškom. VBK č. 25 - 27 sa v prípade druhého scenáru pod prístreškom nenachádzajú. Scenár sa zaoberá, ako aj v prípade prvého scenára, premiestnením VBK č. 13 do budovy BSC, kde bude tento kontajner naložený na kamión a prevezený do spomínaného úložiska RAO v Mochovciach. Pracovník prichádza od budovy BSC smerom k stredu prístrešku, kde naberie kontajner (č. 14) a premiestni ho na voľné miesto pod prístreškom. Následne naloží druhý VBK (č. 15) a premiestni ho na voľné miesto vedľa VBK č. 14. Nakoniec naloží posledný kontajner (č. 13) a odvezie ho do budovy BSC. Pre ocenenie obdržanej dávky pracovníkom pri tejto činnosti bolo namodelovaných päť trajektórií.

Scenár č. 3 - Manipulácia s VBK pomocou portálového žeriavu

Tento scenár sa zaoberá premiestnením VBK č. 23 priamo na kamión umiestnený vedľa prístrešku pomocou portálového žeriavu. Hlavnou vykonávanou činnosťou v tomto scenári je upevnenie a následne, keď už je VBK naložený na kamióne, odmontovanie uchopovacieho zariadenia z VBK. Uchopovacie zariadenie je súčasťou portálového žeriavu a slúži na prichytenie VBK k žeriavu. Pracovník najprv premiestni žeriav nad VBK a potom naň primontuje uchopovacie zariadenie. Následne pracovník pomocou žeriavu premiestni VBK na kamión a odmontuje z neho uchopovacie zariadenie. Pre ohodnotenie obdržanej dávky pre tretí scenár boli namodelované dve trajektórie.

5. Dosiahnuté výsledky pre manipuláciu s VBK

Scenár č. 1 - 27 VBK uskladnených pod prístreškom

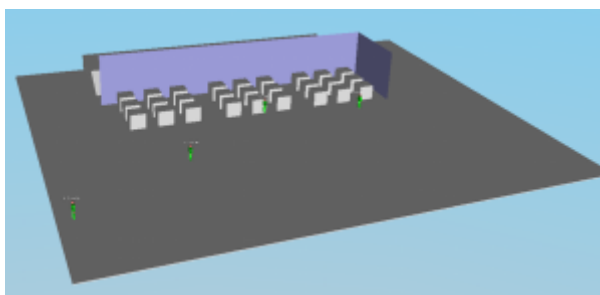
Ako sa pracovník približuje k prístrešku, dávkový príkon postupne rastie z hodnoty 1,2 $\mu\text{Sv/h}$ až na hodnotu 25 $\mu\text{Sv/h}$, pričom pri nakladaní kontajnera č. 15 a č. 14 zo stredu prístrešku sa pracovník nachádza medzi kontajnermi kde je dávkový príkon relatívne vysoký a to 49 - 51 $\mu\text{Sv/h}$. Pri nakladaní, respektíve vykladaní kontajnera č. 14 umiestneného dočasne vedľa prístrešku sa pracovník nachádza na mieste s dávkovým príkonom približne 32 $\mu\text{Sv/h}$. V tabuľke číslo 2 sú uvedené dosiahnuté výsledky

jednotlivých činností prvého scenáru.

Tab. 2: Dosiachnuté výsledky pre scenár č. 1

Popis činnosti	Trvanie činnosti [min]	Obdržaná dávka [μSv]
Príchod a odvezenie VBK č. 15 vedľa prístrešku	6	2,39
Premiestnenie VBK č. 14 vedľa prístrešku	6	4,34
Nabratie VBK č. 13 a odvoz do budovy BSC	11	5,70
Premiestnenie VBK č. 14 na pôvodné miesto	6,50	3,81
Premiestnenie VBK č. 15 na pôvodné miesto	6	3,34
	35,50	19,58

Celková dávka obdržaná pracovníkom pri premiestňovaní VBK č. 13 do budovy BSC v prípade prvého scenára je 19.58 μSv počas 35,50 minút. Na obrázkoch (Obr. 3a - 3d) sú modelované trajektórie prvého scenáru zobrazené priestorovo.



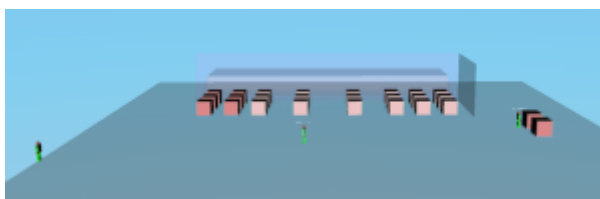
Obr. 3a: 3D zobrazenie trajektórie č. 1 scenáru č. 1



Obr. 3b: 3D zobrazenie trajektórie č. 2 scenáru č. 1



Obr. 3c: 3D zobrazenie trajektórie č. 3 scenáru č. 1



Obr. 3d: 3D zobrazenie trajektórie č. 4 scenáru č. 1

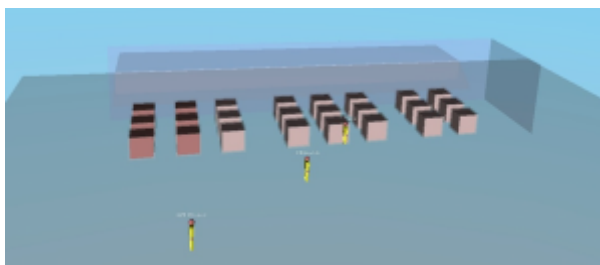
Scenár č. 2 - 24 VBK uskladnených pod prístreškom

Tento scenár uvažuje s umiestnením iba 24 VBK pod prístreškom a premiestnením dvoch VBK v rámci prístrešku na iné miesto, čo podstatne skráti čas manipulácie a teda aj celkovú obdržanú dávku pracovníkom oproti prípadu, kedy je pod prístreškom umiestnených 27 VBK. V nasledujúcej tabuľke (Tab. 3) sú uvedené vypočítané obdržané dávky pri vykonávaní jednotlivých činností obsiahnutých v druhom scenári spolu s dobou trvania jednotlivých činností. Ako vyplýva z tabuľky, najvyššiu dávku obdrží pracovník pri vyzdvihnutí a odvezení kontajnera č. 13, pretože pri jeho vyzdvíhovaní sa nachádza v mieste s dávkovým príkonom približne 50 $\mu\text{Sv/h}$ a ďalej pri jeho prevoze je od neho vzdialený iba približne 1,5 m. Taktiež trvanie tejto činnosti je oproti ostatným najdlhšie.

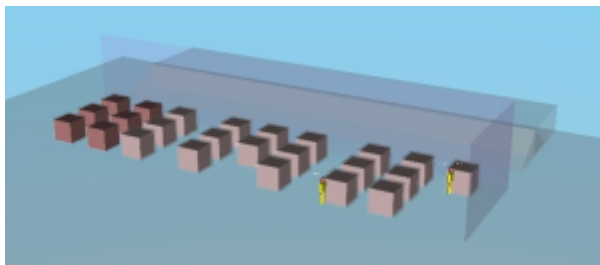
Tab. 3: Dosiahnuté výsledky pre scenár č. 2

Popis činnosti	Trvanie činnosti [min]	Obdržaná dávka [μSv]
Príchod a vyzdvihnutie VBK číslo 15	3	0,89
Odloženie VBK číslo 15	3	1,70
Vyzdvihnutie a odloženie VBK číslo 14	6	2,90
Vyzdvihnutie a odvezenie VBK číslo 13 do budovy BSC	11	5,80
	23	12,10

Celková dávka obdržaná pracovníkom pri premiestňovaní VBK č. 13 do budovy BSC je 12,10 μSv počas 23 minút. Na obrázkoch (Obr. 4a - 4e) sú modelované trajektórie druhého scenáru zobrazené priestorovo.



Obr. 4a: 3D zobrazenie trajektórie č. 1 scenáru č. 2



Obr. 4b: 3D zobrazenie trajektórie č. 2 scenáru č. 2



Obr. 4c: 3D zobrazenie trajektórie č. 3 scenáru č. 2



Obr. 4d: 3D zobrazenie trajektórie č. 4 scenáru č. 2



Obr. 4e: 3D zobrazenie trajektórie č. 5 scenáru č. 2

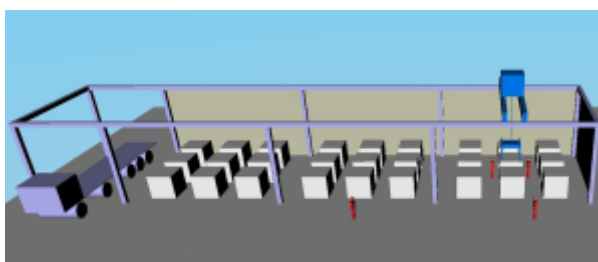
Scenár č. 2 - Manipulácia s VBK pomocou portálového žeriavu

V Tab. 4 sú zobrazené dosiahnuté výsledky pre tretí scenár. Počas premiestňovania VBK č. 23 na kamión pomocou portálového žeriavu obdrží pracovník počas 15,50 minút efektívnu dávku 16,50 μSv . Ako vplýva z tabuľky, najvyššiu efektívnu dávku obdrží pracovník počas upevňovania uchopovacieho zariadenia na VBK a to najmä preto, lebo pri tejto činnosti sa pracovník nachádza medzi kontajnermi v ich tesnej blízkosti.

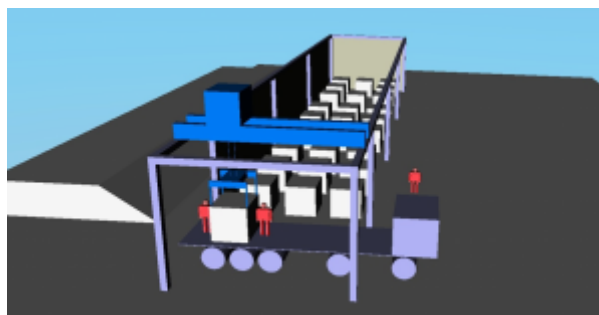
Tab. 4: Dosiahnuté výsledky scenáru č. 3

Popis činnosti	Trvanie činnosti [min]	Obdržaná dávka [μSv]
Premiestnenie žeriavu nad VBK č. 23	3	1
Upevnenie žeriavu k VBK č. 23	4	9,70
Premiestnenie VBK č. 23 na kamión	4,50	1,50
Odmontovanie uchopovacieho zariadenia z VBK	4	4,30
	15,50	16,50

Pri obsluhu žeriavu, kedy ho pracovník premiestňuje nad VBK, respektíve kedy už premiestňuje VBK na kamión, sa pracovník pohybuje v miestach, kde sa hodnota dávkového príkonu pohybuje od 17 do 24 $\mu\text{Sv/h}$. V miestach s najväčším dávkovým príkonom (140 - 150 $\mu\text{Sv/h}$) sa pracovník pohybuje pri montovaní uchopovacieho zariadenia na VBK pod prístreškom. Pri odmontovaní uchopovacieho zariadenia, kedy je už kontajner naložený na kamióne, sa pracovník pohybuje v miestach s dávkovým príkonom v rozmedzí od 59 až do 70 $\mu\text{Sv/h}$. Na nasledujúcich dvoch obrázkoch (Obr. 5a a Obr. 5b) sú uvažované trajektórie tretieho scenáru zobrazené priestorovo.



Obr. 5a: Priestorové zobrazenie prvej trajektórie scenáru č. 3



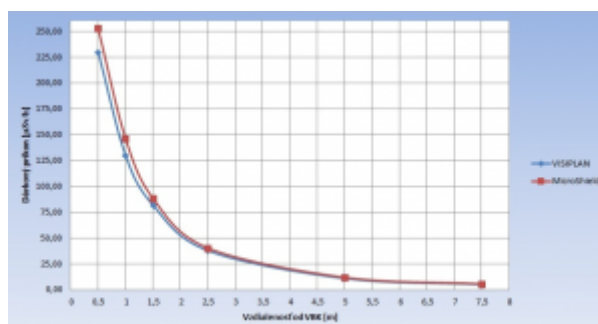
Obr. 5b: Priestorové zobrazenie druhej trajektórie scenáru č. 3

5.1 Verifikácia výpočtového prostriedku VISIPLAN 3D ALARA pomocou výpočtového prostriedku MicroShield®

Na verifikáciu výpočtového prostriedku VISIPLAN bol vybraný výpočtový prostriedok MicroShield®. MicroShield® je komplexný software určený pre stanovenie hrúbky tienenia gama žiarenia a pre hodnotenie obdržanej dávky, ktorý sa široko využíva pre návrh tienenia, na stanovenie výdatnosti zdroja z radiačných meraní a na minimalizovanie ožiarovania obyvateľstva [8].

Vzhľadom na skutočnosť, že vo výpočtovom prostriedku MicroShield® nie je možné modelovať komplexnejšie geometrie, ale iba jednoduché objemy, bol verifikačný výpočet vykonaný iba na VBK s najvyššou aktivitou. Z tých istých dôvodov bol kontajner modelovaný iba ako forma RAO pričom iba na jednej strane sa nachádza tienenie zodpovedajúce stene VBK. Vo výpočtovom prostriedku VISIPLAN ako aj MicroShield® bola modelovaná identická situácia, ktorá pozostáva z výpočtu dávkových príkonov v šiestich vybraných bodov vo vzdialenosti 0,5 až 7,5 m od VBK.

Na Obr. 6 sú dosiahnuté výsledky verifikačného výpočtu zobrazené graficky. Z dosiahnutých výsledkov vyplýva, že dávkové príkony v jednotlivých bodoch vypočítané programom MicroShield® sú v priemere 1,078 násobne, teda o 7,8 % vyššie ako dávkové príkony vypočítané programom VISIPLAN. Hlavným dôvodom odlišných výsledkov v jednotlivých výpočtových prostriedkoch môže byť použitie rozdielnych knižníc pre zdroje žiarenia ako aj pre materiály.



Obr. 6: Grafické zobrazenie dosiahnutých výsledkov verifikačného výpočtu

6. Sumarizácia dosiahnutých výsledkov

Pracovník vykonávajúci manipuláciu obdrží rozličnú efektívnu dávku pri rôznych scenároch manipulácie s VBK. V prvom scenári, kde sa uvažuje s umiestnením 27 VBK

pod prístreškom, obdrží pracovník počas doby takmer 36 minút efektívnu dávku 19,58 μSv . V druhom scenári, ktorý uvažuje s umiestnením 24 VBK pod prístreškom obdrží pracovník dávku 12,10 μSv počas 23 minút. V poslednom scenári, ktorý uvažuje premiestnenie VBK pomocou portálového žeriavu, obdrží pracovník dávku 16,50 μSv počas doby 15,50 minúty.

Z uvedeného teda vyplýva, že pracovník obdrží najvyššiu dávku v scenári, ktorý uvažuje s umiestnením 27 VBK pod prístreškom. Z radiačného hľadiska je najvýhodnejší scenár s 24 VBK pod prístreškom, avšak tento je nevýhodný z hľadiska skladovania VBK, pretože skladovacia kapacita prístrešku sa zníži na 24 VBK. Keďže ide o podobné scenáre, rozdiel v obdržanej dávke je daný najmä rozdielnym trvaním činnosti. V treťom scenári obdrží pracovník efektívnu dávku 16,50 μSv , čo je v porovnaní s prechádzajúcimi scenármi pomerne vysoká hodnota vzhľadom na najkratšie trvanie manipulácie. Táto pomerne vysoká dávka je spôsobená najmä konzervatívnym časom manipulácie ako aj skutočnosťou, že pracovník sa nezanedbateľnú dobu manipulácie nachádza v tesnej blízkosti VBK, a taktiež tým, že vo výške 120 cm nad povrchom je dávkový príkon vyšší ako vo výške 200 cm nad povrchom, ktorá sa uvažuje pre pracovníka obsluhujúceho stroj HYSTER.

V Slovenskej republike sa ročne prepraví do RÚ RAO približne 200 VBK. Ak sa teda predpokladá, že sa do úložiska v Mochovciach prepraví presne 200 VBK ročne a ak sa taktiež konzervatívne uvažuje, že preprava jedného VBK vyžaduje približne rovnakú manipuláciu, ako je namodelovaná v jednotlivých scenároch pričom všetky manipulácie počas roka bude vykonávať ten istý pracovník, tak ročné obdržané efektívne dávky pracovníkom by zodpovedali hodnotám uvedeným v nasledujúcej tabuľke (Tab. 5) v treťom stĺpci.

Tab. 5: Dosaiahnuté výsledky manipulácie s VBK pre jednotlivé scenáre

Scenár	Obdržaná efektívna dávka	
	Doba činnosti [min]	Ročne [mSv]
27 VBK pod prístreškom	200×35,5 (118 h)	3,92
24 VBK pod prístreškom	200×23(77 h)	2,42
Manipulácia s VBK pomocou portálového žeriavu	200×15,5 (52 h)	3,30

Nariadenie vlády SR z 10. Mája 2006 č. 345/2006 Z.z. o základných bezpečnostných požiadavkách na ochranu zdravia pracovníkov a obyvateľstva pred ionizujúcim žiarením v paragrafe 6 druhej časti hovorí, že efektívna dávka pracovníkov nesmie presiahnuť 100 mSv počas piatich za sebou nasledujúcich kalendárnych rokov, pričom efektívna dávka nesmie ani v jednom kalendárnom roku prekročiť hodnotu 50 mSv [9]. Z daného zákona teda vyplýva, že ročné povolené limity z ožiarovania sú v priemere 20 mSv za jeden kalendárny rok, výnimočne 50 mSv za rok.

Z uvedenej tabuľky teda vyplýva, že dávka obdržaná pracovníkom vo všetkých scenároch je v rámci platnej legislatívy Slovenskej. Avšak je potrebné poukázať na skutočnosť, že pracovník BSC sa ročne pohybuje v kontrolovanom pásme oveľa dlhšie ako trvá ročná doba manipulácie čo je cca 120 hodín a teda pracovník bude ožiarený aj pri iných činnostiach. Na druhej strane činnosti popísané v príspevku sú modelované

konzervatívne a teda ročná dávka spôsobená manipuláciou VBK bude v skutočnosti nižšia.

7. Záver

V príspevku bola stručne popísaná problematika RAO, konkrétne sa jednalo o základné definície a rozdelenie RAO. Bližšie sa príspevok venoval ohodnoteniu dávkovej záťaže pracovníka, ktorý manipuluje s VBK pomocou výpočtového prostriedku VISIPLAN. V druhej časti boli modelované a hodnotené tri scenáre zaoberajúce sa premiestnením VBK na kamión spod prístrešku umiestnenom v spracovateľskom centre rádioaktívnych odpadov. Posledná časť príspevku sa zaoberá sumarizáciou a vyhodnotením dosiahnutých výsledkov. Z vykonaných analýz vyplýva, že z radiačného hľadiska sa ako najvýhodnejší javí scenár, ktorý uvažuje s umiestnením 24 VBK pod prístreškom, čo je avšak menej výhodne z hľadiska skladovania VBK pod prístreškom, pretože skladovacia kapacita je iba 24 VBK.

8. Podakovanie

Projekt bol podporený grantom VEGA 1/0685/09 a MŠ SR vrámci projektu CONRELMAT.

9. Použitá literatúra

1. SLIMÁK A., HRNČÍŘ T., NEČAS V. Vybraný scenár manipulácie s vláknobetónovými kontajnermi počas ich skladovania, ŠVOČ 2011: Študentská vedecká a odborná činnosť, Zborník prác. 4. máj, Bratislava, ISBN: 978-80-227-3508-7
2. Zákon z 9. septembra 2004 o mierovom využívaní energie (Atómový zákon) a o zmene a doplnení niektorých zákonov. Zbierka zákonov č. 541/2004
3. NEČAS, V., ĎURČEK, E. RAO likvidácia JE: Učebný text pre postgraduálne rekvalifikačné štúdium: „Bezpečnostné aspekty prevádzky jadrových zariadení“, Bratislava, FEI STU, 2007.
4. Vyhláška Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky z 30. januára 2012, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách pri nakladaní s jadrovými materiálmi, rádioaktívnymi odpadmi a vyhoretým jadrovým palivom, Zbierka zákonov č. 30/2012
5. International Atomic Energy Agency, Pre-disposal Management of Radioactive Waste Including Decommissioning, Safety Requirements No. WS-R-2, Viedeň, 2000, ISBN 92-0-100300-5
6. JAVYS, Jadrová a vyradovacia spoločnosť, [online] 12/4/2012, Dostupné na internete: <http://www.javys.sk/sk/jadrove-zariadenia/technologie-spracovania-a-upravy-rao/bohunicke-spracovatejske-centrum-rao>
7. Vermeersch F.: VISIPLAN 4.0 3D ALARA Planning tool, Users manual, SCK-CEN, Mol Belgicko, 2005
8. Grove Software, Inc., [online] 23/2/2012, Dostupné na internete: <http://www.radiationsoftware.com/mshield.html>
9. Nariadenie vlády SR z 10. mája 2006 o základných bezpečnostných požiadavkách na ochranu zdravia pracovníkov a obyvateľov pred ionizujúcim žiarením, Zbierka zákonov č. 345/2006

Spoluautormi článku sú Tomáš Hrnčíř a Vladimír Nečas, Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva, Fakulta elektrotechniky a informatiky STU Bratislava
