

Manipulácia s vláknobetónovými kontajnermi v areáli jadrového zariadenia

Slimák Andrej · Elektrotechnika, Študentské práce

07.12.2011



Príspevok je zameraný na konkrétnu činnosť súvisiacu s manipuláciou skladovaných vláknobetónových kontajnerov. Prvá časť sa venuje oboznámeniu sa s problematikou rádioaktívnych odpadov, t.j. bude venovaná vysvetleniu základných pojmov a princípov nakladania s rádioaktívnymi odpadmi a rozdeleniu rádioaktívnych odpadov. Druhá časť bude zameraná na nakladanie s rádioaktívnymi odpadmi, konkrétne na popis jednotlivých krokov nakladania s rádioaktívnymi odpadmi. V poslednej časti bude namodelovaná pomocou kódu VISIPLAN 3D ALARA Planning Tool manipulácia skladovaných vláknobetónových kontajnerov za účelom ohodnotenia dávkovej záťaže pracovníka vykonávajúceho manipuláciu.

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. Ďalej sa rádioaktivita 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 druhu odpadu, množstva, aktivity a doby polpremeny rádionuklidov v nich obsiahnutých.

2. Rádioaktívne odpady

Všeobecne sú odpady bežným sprievodným javom takmer pri všetkých ľudských činnostiach. Špecifikum vyššie vymenovaných 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 elektrárnami je množstvo vyprodukovaných odpadov v jadrových elektrárnach (JE) oveľa menšie. Teda vyprodukované množstvo RAO je pomerne malé, ale ich špecifická vlastnosť rádioaktivita sťažuje manipuláciu s nimi.

Podľa atómového zákona [1] 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 (MAAE) 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 Bezpečnostné princípy nakladania s RAO a VJP

Zodpovedné zaobchádzanie s rádioaktívnym odpadom vyžaduje realizáciu opatrení, ktoré zabezpečia ochranu zdravia a životného prostredia (ŽP), pretože nesprávne nakladanie s RAO by mohlo mať za následok nežiaduce účinky na ľudské zdravie alebo životné prostredie ako teraz, tak aj v budúcnosti [2].

Plánovanie a uskutočňovanie všetkých činností týkajúcich sa zaobchádzania s RAO a VJP vychádza vo väčšine krajín z materiálu „Spoločný dohovor o bezpečnosti pri zaobchádzaní s vyhoreným palivom a rádioaktívnymi odpadmi“, ktorý bol členskými štátmi MAAE podpísaný vo Viedni v roku 1998. Odvtedy každá členská krajina vydáva a pravidelne aktualizuje daný dohovor. Dohovor rozpracováva vo všeobecnej rovine 9 princíпов [2]:

1. Princíp: Ochrana zdravia, ktorý hovorí, že s RAO by sa malo zaobchádzať takým spôsobom, aby bola zabezpečená prijateľná úroveň ochrany zdravia obyvateľstva,
2. Princíp: Ochrana životného prostredia hovorí, že s RAO by sa malo zaobchádzať takým spôsobom, aby bola zabezpečená prijateľná úroveň ochrany ŽP,
3. Princíp: Ochrana v nadnárodnom merítku hovorí, že pri zaobchádzaní s RAO treba uvažovať aj možné dopady na zdravie obyvateľstva a ŽP aj za hranicami štátu,
4. Princíp: Ochrana budúcich generácií: s RAO by sa malo zaobchádzať takým spôsobom, že predpovedaný vplyv na zdravie budúcich generácií nebude väčší, ako úroveň dopadov prijateľných v súčasnosti,
5. Princíp: Zaťaženie budúcich generácií: s RAO by sa malo zaobchádzať takým spôsobom, aby nebolo prenesené nežiaduce zaťaženie na budúce generácie,
6. Princíp: Národný právny rámec, ktorý hovorí, že s RAO má byť zaobchádzané v rámci zodpovedajúceho národného právneho prostredia vrátane jasného uvedenia zodpovednosti a existencie nezávislých dozorných funkcií,
7. Princíp: Obmedzenie vzniku RAO hovorí, že vznik RAO by sa mal udržať na maximálnom dosiahnuteľnom minime,
8. Princíp: Vzťahy medzi vznikom a nakladaním s RAO: vzťahy medzi vznikom a nakladaním s RAO majú byť vhodným spôsobom zohľadnené,
9. Princíp: Bezpečnosť zariadení pre nakladanie s RAO hovorí, že bezpečnosť zariadení pre zaobchádzanie s RAO má byť vhodným spôsobom zabezpečená počas celej doby ich životnosti.

2.2 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]

2.2.1 Rozdelenie RAO podľa MAAE

Rádioaktívne odpady sa podľa MAAE rozdeľujú do 6 tried z hľadiska ich rozdielnej aktivity, doby polpremeny rádionuklidov obsiahnutých v RAO a podľa odporúčania ich konečného uloženia [4]:

- odpady vyňaté spod radiačnej kontroly - Exempt waste,
- veľmi krátkodobé odpady - Very short lived waste,
- veľmi nízkoaktívne odpady - Very low level waste,
- nízkoaktívne odpady - Low level waste,
- stredneaktívne odpady - Intermediate level waste,
- vysokoaktívne odpady - High level waste.

2.2.2 Rozdelenie RAO v Slovenskej republike

V Slovenskej republike existuje viacero rozdelení RAO, z ktorých je najvýznamnejšie rozdelenie podľa vyhlášky Úradu jadrového dozoru SR č.53/2006 Z.z. [5], ktorá vychádza z odporúčaní Medzinárodne agentúry pre atómovú energiu [6] a odporúčaní Európskej komisie [7]. Na základne týchto odporúčaní možno RAO rozdeliť podľa ich aktivity na:

- prechodné rádioaktívne odpady,
- nízkoaktívne a stredneaktívne odpady:
 - krátkodobé,
 - dlhodobé
- vysokoaktívne odpady.

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 [8].

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 [8].

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 vyhoreného 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 pre účely namodelovania manipulácie s VBK

Ako bolo spomenuté na začiatku príspevku, RAO vznikajú pri všetkých činnostiach kde sa využívajú rádioaktívne materiály. 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 maximálne bezpečne a zabrániť tak nežiaducim vplyvom na ľudské zdravie a ŽP.

Zariadenie na spracovanie a úpravu RAO predstavuje v Slovenskej republike 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 VBK v areáli JE Bohunice v tesnej blízkosti budovy BSC. Konkrétne ide o predbežné ocenenie dávkovej záťaže pracovníka vykonávajúceho premiestňovanie VBK nachádzajúcich sa pod plánovaným prístreškom, ktorý by sa mal postaviť v areáli BSC, pomocou výpočtového prostriedku VISIPLAN 3D ALARA Planning Tool.

4.1 Bohunické spracovateľské centrum

Bohunické spracovateľské centrum rádioaktívnych odpadov je komplex na spracovanie a úpravu rádioaktívnych odpadov do formy vhodnej pre konečné uloženie. Bolo

vybudované v rokoch 1993-1999. Spracovateľské zariadenia sú určené na spracovanie a úpravu kvapalných a pevných rádioaktívnych odpadov vznikajúcich pri vyradovaní jadrovej elektrárne A1 z prevádzky, jadrových elektrární V1, V2 a inštitucionálnych rádioaktívnych odpadov z celého Slovenska [9].

4.2 Popis výpočtového prostriedku VISIPLAN 3D ALARA Planning Tool

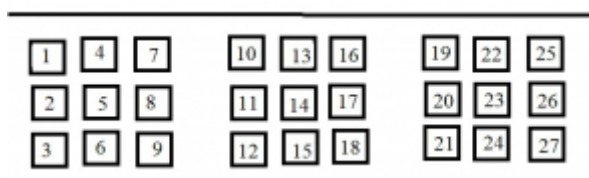
Na ocenenie dávkového zaťaženia bol vybraný výpočtový prostriedok VISIPLAN 3D ALARA Planning Tool. Ide o výpočtový prostriedok vyvinutý spoločnosťou SCK-CEN v Belgickom meste Mol. Tento prostriedok predstavuje analytický nástroj pre výpočet dávky vonkajšieho ožiarenia pracovníkov v žiarením. Pomocou tohto výpočtového prostriedku môže byť nasimulovaná nakladanie s rádioaktívnymi materiálmi a následne môžu byť vypočítané výsledky použité v praxi, čo môže byť prínosom pri optimalizácii nakladania s danými rádioaktívnymi materiálmi.

Pre výpočet efektívneho dávkového príkonu používa VISIPLAN 3D ALARA Planning Tool metódu „point-kernel“, 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 [10].

4.3 Zostavenie modelu pre manipuláciu s VBK

Prístrešok, ktorý by sa nachádzal v areáli Bohunického spracovateľského centra, by mal 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. Vzďialenosť medzi kontajnermi v jednotlivých sekciách je 1,35 m a vzdialenosť jednotlivých sekcií je 3 m. Namodelovaný VBK má tvar kocky s dĺžkou hrany 1,7 m a hrúbkou steny 10 cm. Každý VBK je modelovaný ako samostatný objekt, pričom v každom sa nachádza zdroj gama žiarenia.

Zdroj je namodelovaný ako cementová zmes kontaminovaná iba rádionuklidom ^{137}Cs a je modelovaný homogénne. Aktivita jednotlivých VBK bola zadaná na základe databázy poskytnutej z BSC, pričom z nej boli konzervatívne vybrané VBK s najvyššou celkovou aktivitou. V tabuľke číslo 1. sú uvedené jednotlivé aktivity a na obr. 1 sú schematicky znázornené pozície jednotlivých kontajnerov umiestnených pod prístreškom. Za prístreškom sa nachádza svah s prevýšením cca. 2 m, pričom päta svahu začína vo vzdialenosti 3 m od prístrešku.



Obr. 1: Rozmiestnenie jednotlivých VBK pod prístreškom

Tab. 1: Celkové aktivity jednotlivých VBK

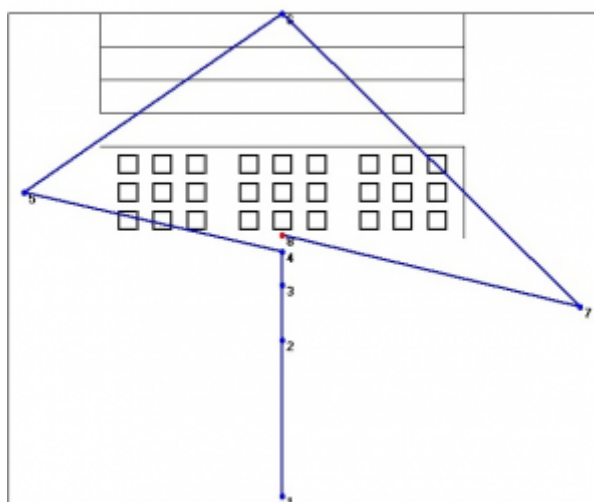
VBK	Aktivita [10^{10} Bq]	VBK	Aktivita [10^{10} Bq]
1	3.83	15	2.15
2	5.55	16	3.14

3	3.15	17	2.37
4	1.82	18	3.11
5	2.01	19	2.03
6	2.5	20	3.23
7	1.86	21	2.88
8	3.02	22	2.05
9	5.25	23	3.33
10	2.29	24	2.63
11	4.4	25	3.97
12	2.41	26	2.43
13	2.0	27	3.25
14	3.24		

Okrem iného treba ešte spomenúť, že rozmiestnenie jednotlivých VBK bolo uskutočnené náhodným výberom. V príspevku je namodelovaný jeden scenár zaoberajúci sa premiestnením VBK do budovy BSC a výpočet dávkových príkonov v referenčných bodoch. Pri výpočtoch bol použitý Build-up faktor pre vzduch a pre betón. Pre vzduch boli vypočítané výsledky o málo vyššie ako pre betón a preto sú v správe konzervatívne uvedené výsledky pre Build-up faktor vo vzduchu.

4.3.1 Výpočet dávkových príkonov v referenčných bodoch

Na nasledujúcom obrázku (Obr. 2) sú zobrazené referenčné body.



Obr. 2: Trajektória referenčných bodov

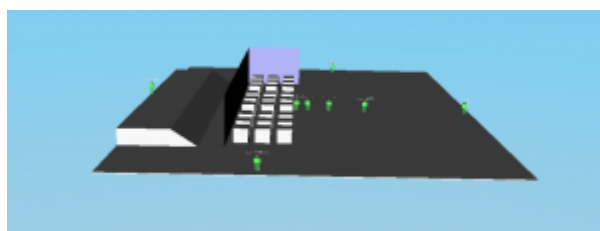
V nasledujúcej tabulke je stručný popis jednotlivých referenčných bodov spolu s dávkovými príkonmi.

Tab. 2: Popis referenčných bodov spolu s dávkovým príkonom

Bod	Vzdialenosť od prístrešku [m]	Výška nad terénom [m]	Dávkový príkon [$\mu\text{Sv/h}$]
1 - okraj objektu 44/10	24	1,2	1,5

2 - pri prístrešku	10	1,2	5,2
3 - pri prístrešku	5	1,2	12
4 - pri prístrešku	2	1,2	27
5 - okraj BSC	8,5	1,2	5,1
6 - za plotom	12	3,2	2,2
7 - okraj objektu 44/20	14	1,2	1,3
8 - povrch VBK	0,5	1,2	67

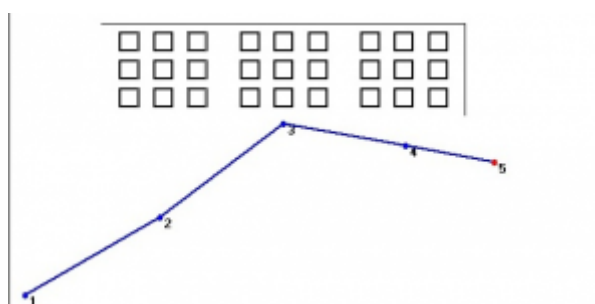
Ako vidieť z tabuľky, najväčší dávkový príkon je v tesnej blízkosti kontajnera (67 $\mu\text{Sv/h}$) a so zväčšujúcou sa vzdialenosťou postupne klesá. Naopak najmenší dávkový príkon je pri objekte 44/20 a to 1,3 $\mu\text{Sv/h}$. Na obr. 3 sú referenčné body zobrazené priestorovo.



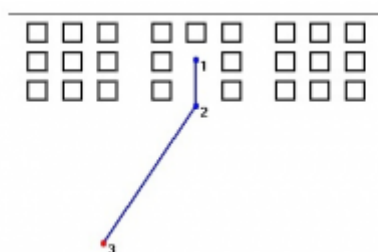
Obr. 3: 3D zobrazenie referenčných bodov.

4.3.2 Manipulácia VBK

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, kde ho zodvihne a premiestni ho smerom k objektu 44/20. Vzájomná vzdialenosť šoféra a VBK je 1,5 m, pričom šoféra oddeľuje od kontajnera sklo hrúbky 0,5 cm. Po odvezení prvého VBK sa pracovník vráti naspäť ku stredu prístrešku a naberie druhý VBK, odnesie ho k prvému kontajneru umiestnenému pri objekte 44/20. Tretí kontajner potom odvezie do budovy BSC. Po tejto činnosti vráti pracovník prvé dva kontajnery na pôvodné miesto. Na obrázkoch 4 a 5 sú zobrazené uvažované trajektórie pre tento scenár.



Obr. 4: Prvá trajektória manipulácie s VBK



Obr. 5: Druhá trajektória premiestnenia VBK

Ako bolo už spomenuté, pracovník obsluhujúci stroj HYSTER je počas prevážania oddelený od VBK sklom hrúbky 0,5 cm a vzdialený od neho 1,5 m, čo bolo pre presnejšie určenie obdržanej dávky konzervatívne namodelované samostatne s VBK s najvyššou aktivitou.

V tabulke číslo 5 sú uvedené vypočítané obdržané dávky pri jednotlivých činnostiach scenáru. V tabulke Tab. 3 sú uvedené jednotlivé dávkové príkony, dávky obdržané v jednotlivých bodoch trajektórie a akumulované dávky pre trajektóriu 1 a v tabulke Tab. 4 pre druhú trajektóriu. Z vypočítaných výsledkov vidno, že ako sa pracovník približuje k prístrešku, dávkový príkon postupne rastie z hodnoty 1,2 $\mu\text{Sv/h}$ až na hodnotu 35 $\mu\text{Sv/h}$, pričom pri nakladaní tretieho kontajneru zo stredu prístrešku sa pracovník nachádza medzi kontajnermi kde je dávkový príkon relatívne vysoký a to 68 $\mu\text{Sv/h}$.

Tab 3: Dosiahnuté výsledky pre trajektóriu č. 1

Bod trajektórie	Čas [min]	Dávkový príkon [$\mu\text{Sv/h}$]	Obdržaná dávka [μSv]	Akumulovaná dávka [μSv]
1	0,3	1,2	$6,9 \cdot 10^{-3}$	$6,9 \cdot 10^{-3}$
2	0,3	4,8	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$3,3 \cdot 10^{-2}$
3	2,3	35	1,4	1,4
4	1	15	0,25	1,6
5	2	3,3	0,11	1,8

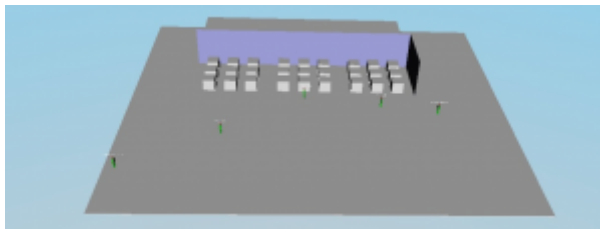
Tab. 4: Dosiahnuté výsledky trajektórie č. 2

Bod trajektórie	Čas [min]	Dávkový príkon [$\mu\text{Sv/h}$]	Obdržaná dávka [μSv]	Akumulovaná dávka [μSv]
1	3	68	3,4	3,4
2	1	26	0,43	3,8
3	1	3,8	$6,3 \cdot 10^{-2}$	3,9

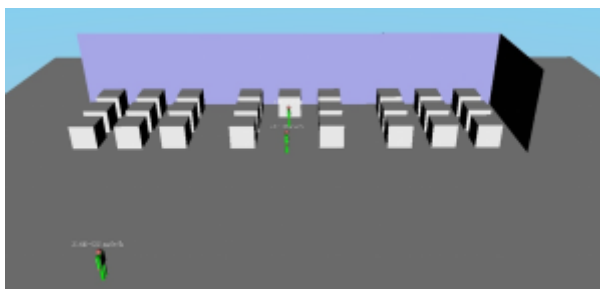
Tab. 5: Sumarizácia dosiahnutých výsledkov manipulácie s VBK

Popis činnosti	Trvanie činnosti [min]	Obdržaná dávka [μSv]
Príchod a odvezenie prvého VBK zo stredu prístrešku k objektu 44/10	6	3,28
Premiestnenie druhého VBK k objektu 44/10	5	3,25
Nabratie tretieho kontajnera a odvoz do budovy BSC	10	7,6
Premiestnenie druhého VBK na pôvodné miesto	6	4,13
Premiestnenie prvého VBK na pôvodné miesto	6	3,28
	32	21,54

Ako vidno z tabuľky, pracovník obdrží najvyššiu dávku pri nabratí tretieho kontajnera a jeho preprave do budovy BSC. Je to dané najmä dobou činnosti a tým, že najprv sa pri nakladaní kontajnera pracovník nachádza medzi kontajnermi a potom je pri prevoze od neho vzdialený iba 1,5 metra. Celková obdržaná dávka pracovníkom pri tejto činnosti je 21,54 μSv . Na nasledujúcich obrázkoch (Obr. 6 a Obr. 7) sú priestorovo zobrazené obe základné trajektórie scenáru.



Obr. 6: Priestorové zobrazenie prvej trajektórie



Obr. 7: Priestorové zobrazenie trajektórie č.2

Počas premiestňovania kontajnera je dávkový príkon vo vnútri kabíny, kde sa pracovník nachádza je, 44 $\mu\text{Sv/h}$.

4.4 Zhodnotenie scenáru manipulácie s VBK

Úlohou príspevku bolo namodelovať scenár súvisiaci s manipuláciou VBK v areáli jadrového zariadenia. V scenári bola ohodnotená dávková záťaž pracovníka pri premiestnení dvoch kontajnerov zo stredu prístrešku nabok smerom k objektu 44/20, premiestnení tretieho VBK do budovy BSC a spätnom premiestnení prvých dvoch VBK na pôvodné miesto. Pri výkone tejto činnosti obdrží pracovník celkovú dávku 21,54 μSv za dobu 32 minút.

Vláknobetónové kontajnery sa po naplnení určitú dobu skladujú v areáli BSC a následne sú transportované do republikového úložiska v Mochovciach. Ročne sa prepraví do tohto úložiska približne 200 VBK. Za predpokladu, že kontajner premiestnený do budovy BSC je následne odvezený do úložiska Mochovce a za predpokladu, že pri preprave všetkých 200 VBK za jeden rok by bola ich manipulácia pod prístreškom približne rovnaká, by pracovník pri tejto činnosti obdržal ročnú dávku 4,31 mSv.

5. Záver

V príspevku bol stručne popísaný manažment rádioaktívnych odpadov. Konkrétne sa jednalo o rozdelenie RAO, základné princípy nakladania s RAO a nakladanie s RAO, t.j. predbežné spracovanie, spracovanie, úprava, skladovanie, preprava a ukladanie RAO. Bližšie sa príspevok venoval ohodnoteniu dávkovej záťaže pracovníka, ktorý

manipuluje s VBK pomocou výpočtového prostriedku VISIPLAN.

Z vypočítaných výsledkov vyplýva, že pri modelovanej manipulácii obdrží pracovník celkovú dávku 21,54 μSv . Ak by teda každá jedna manipulácia znamenala premiestnenie VBK na kamión a následný transport do úložiska v Mochovciach a ak by každá manipulácia bola približne rovnaká, tak by pracovník ročne obdržal dávku 4,31 mSv, čo predstavuje iba viac ako jednu pätinu jeho ročného limitu ožiarenia. Avšak treba ešte pripomenúť, že pracovník v skutočnosti obdrží dávku nielen pri manipulácii, ale aj pri mnohých iných činnostiach súvisiacich s nakladaním s RAO v BSC.

Použitá literatúra

1. Zákon z 9. septembra 2004 o mierovom využívaní energie (Atómový zákon) a o zmene a doplnení niektorých zákonov. Zbierka zákonov č. 541/2004.
2. International Atomic Energy Agency, The Principles of Radioactive Waste Management, Safety Series No. 111-F, Viedeň, 1995, ISBN 92-0-103595-0.
3. NEČAS, V., ĎURČEK, E. RAO likvidácia JE: Učebný text pre postgraduálne rekvalifikačné štúdium: „Bezpečnostné aspekty prevádzky jadrových zariadení“, Bratislava, FEI STU, 2007.
4. International Atomic Energy Agency, Classification of Radioactive Waste, General Safety Guide No. GSG-1, Viedeň, 2009, ISBN 92-0-103595-0
5. Vyhláška Úradu jadrového dozoru SR z 12. Januára 2006 č. 53/2006 Z.z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o požiadavkách pri nakladaní s jadrovými materiálmi, rádioaktívnymi odpadmi a vyhoreným jadrovým palivom
6. International Atomic Energy Agency, Classification of Radioactive Waste, Safety Series No. 111-G-1.1, Viedeň, 1994, ISBN 92-0-101194-6
7. European Commission, Commission Recommendation of 15 September 1999 on a Classification System for Solid Radioactive Waste, 1999/669/EC (Euratom), L 265/37 of 13 October 1999
8. 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
9. JAVYS, Jadrová a vyradovacia spoločnosť, [online] 15/4/2011, Dostupné na internete: <http://www.javys.sk/sk/index.php?page=naklnaklad-s-rao/bsc-rao>
10. Vermeersch F.: VISIPLAN 4.0 3D ALARA Planning tool, Users manual, SCK-CEN, Mol Belgicko, 2005

Spoluautorom článku je Ing. Tomáš Hrnčíř a Prof. Ing. Vladimír Nečas, PhD., Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

Práca bola prezentovaná na Študentskej vedeckej a odbornej činnosti (ŠVOČ 2011) v sekcii Jadrová technika a energetika a získala Cenu Dekana, ISBN 978-80-227-3508-7
