

Vliv odpadů s nízkou radioaktivitou na životní prostředí

Dušan Kopecký

Bakalářská práce
2006



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

nascannované zadání s. 1

nascannované zadání s. 2

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na vznik radioaktivních odpadů a nakládání s nimi. Obsahuje kapitoly týkající se nakládání s radioaktivními odpady a legislativy dále na možnosti a způsoby měření radioaktivních odpadů. Na provedených měřeních v jaderné elektrárně Dukovany je vyloučen negativní vliv na životní prostředí u odpadů určených k uložení na skládce.

Klíčová slova:

Jaderná elektrárna, jaderná energie, radioaktivní odpad, radionuklid

ABSTRACT

The bachelory work is about nuclear waste, it's next use it's influence on the nature. There are the chapters about laws taking care about nuclear waste, the chapters about measuring of radio-activity and next use of nuclear waste in the bachelory work. There are the examples which are precluding negative influence on the nature.

Keywords:

Nuclear power station, nuclear energy, nuclear waste, radionuklid

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce paní doc. Ing. Dagmar Janáčové, CSc. za odborné vedení, podnětné rady a trvalý zájem při vedení této práce. Až nyní si plně uvědomuji, že jsem se při výběru vedoucího bakalářské práce nemohl rozhodnout lépe a bylo to jedno z nejlepších rozhodnutí, která jsem učinil.

Obzvláště děkuji rodičům a přátelům za jejich podporu při studiu. V neposlední řadě chci poděkovat svému otci, jenž mě obohatil odbornými znalostmi z praxe, bez nichž bych se neobešel.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího bakalářské práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně dne

4. 9. 2006

.....

podpis

OBSAH

ÚVOD	7
I LITERÁRNÍ STUDIE	8
1. RADIOAKTIVNÍ ODPADY	9
1.1 RADIOAKTIVNÍ ODPADY Z JADERNÝCH ELEKTRÁREN.....	9
1.2 CHARAKTERIZACE RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ	11
1.3 NAKLÁDÁNÍ S RADIOAKTIVNÍMI ODPADY	13
1.4 NEBEZPEČÍ.....	14
1.5 OCHRANA PŘED RADIOAKTIVITOU	16
1.6 LEGISLATIVA TÝKAJÍCÍ SE RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ.....	16
1.7 MOŽNOSTI A ZPŮSOBY MĚŘENÍ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ	17
II TEORETRICKÁ ČÁST	22
2. PRAKTICKÁ APLIKACE PŘÍSTROJŮ K MĚŘENÍ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ V PODMÍNKÁCH JADERNÉ ELEKTRÁRNY DUKOVANY	23
2.1 PŘENOSNÉ PŘÍSTROJE RADIAČNÍ KONTROLY	23
2.2 NEPŘENOSNÉ PŘÍSTROJE RADIAČNÍ KONTROLY	24
III PRAKTICKÁ ČÁST	30
3. MĚŘENÍ	31
3.1 MĚŘENÍ OBSAHU RADIONUKLIDŮ V ODPADECH PŘED UVEDENÍM DO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ PROBÍHÁ V TOMTO ALGORITMU.....	31
3.2 VLASTNÍ MĚŘENÍ	33
ZÁVĚR	38
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	40
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	42
SEZNAM OBRÁZKŮ	43
SEZNAM TABULEK	44
SEZNAM PŘÍLOH	45

ÚVOD

K rozvoji moderních technologií neodmyslitelná patří existence elektrické energie, bez které si naprostá většina lidí žijících ve vyspělých zemích, nedokáže představit svůj život. Elektrickou energii lze získat hned z několika zdrojů. Dnes již značně neefektivním a neekologickým způsobem buzení elektrické energie jsou naftové motory nebo uhelné elektrárny. Naopak ekologickým, ale kvantitativně nákladným způsobem, je využitím darů matky přírody - vodu, vzduch. Vodní síla nám dokáže vyrobit elektrický proud prakticky zadarmo ovšem jen tehdy, když náklady na výstavbu elektrárny a především vodního díla zaručujícího pro elektrárnu dostatečný a soustavný přívod vody nejsou příliš vysoké. Proto se „vodní“ elektrické energie využívá především v oblastech prudkých toků s velkými spády, které jsou pro tento účel nevyhodnější.

Druhou, ekologickou možností získání elektrické energie, jsou větrné elektrárny. Výroba proudu poháněná větrem je nejvíce rozvinutá technologie ze všech moderních obnovitelných zdrojů energie. Má nízké provozní náklady, zdroj energie je zdarma a nevyčerpatelný.

Ačkoliv by asi každý z nás raději uvítal existenci těch více ekologických zdrojů elektrické energie, geologické a ekonomické podmínky rozhodně nedokáží pokrýt potenciálně vzniklou produktivitu natolik, aby stačila pro naši zemi, natož pro zahraničí. Proto se nabízí poslední možnost - jaderná energie.

Slýcháváme o ní téměř každý den, ať už v kladném či záporném slova smyslu. S pojmem jaderná elektrárna, energie si většina z nás vybaví také radioaktivitu, resp. radioaktivní odpady. Se stejnou samozřejmostí si ovšem velká část populace spojí tyto pojmy s obavami a nebezpečím. A protože jsem se s takto uvažujícími lidmi nejednou setkal, rozhodl jsem se blíže seznámit s touto problematikou. Obsah práce směřuji především k nízko-radioaktivním odpadům, na kterých bych chtěl díky provedeným měřením názorně ukázat, že tyto odpady obsahují tak zanedbatelné množství radioaktivních látek, že se ve své podstatě nikterak neliší od odpadů běžně produkovaných v domácnostech či jiných průmyslových odvětvích. Důvodem, proč jsem se ubíral tímto směrem při výběru bakalářské práce byl také fakt, že můj otec je zaměstnán v JE Dukovany a proto je mi toto téma velice blízké a v neposlední řadě i fakt, že jsem měl možnost osobně provádět měření nízko-radioaktivních odpadů, jenž bylo naplní mé brigády ve zmiňované jaderné elektrárně.

I. LITERÁRNÍ STUDIE

1. RADIOAKTIVNÍ ODPADY

Radioaktivní odpad [1] je nevyužitelný materiál v pevném, kapalném nebo plynném skupenství, který pro obsah radionuklidů v něm nebo pro kontaminaci radionuklidy není možno uvést do životního prostředí. Vzniká při provozu, údržbě a kontrolách jaderných zařízení .

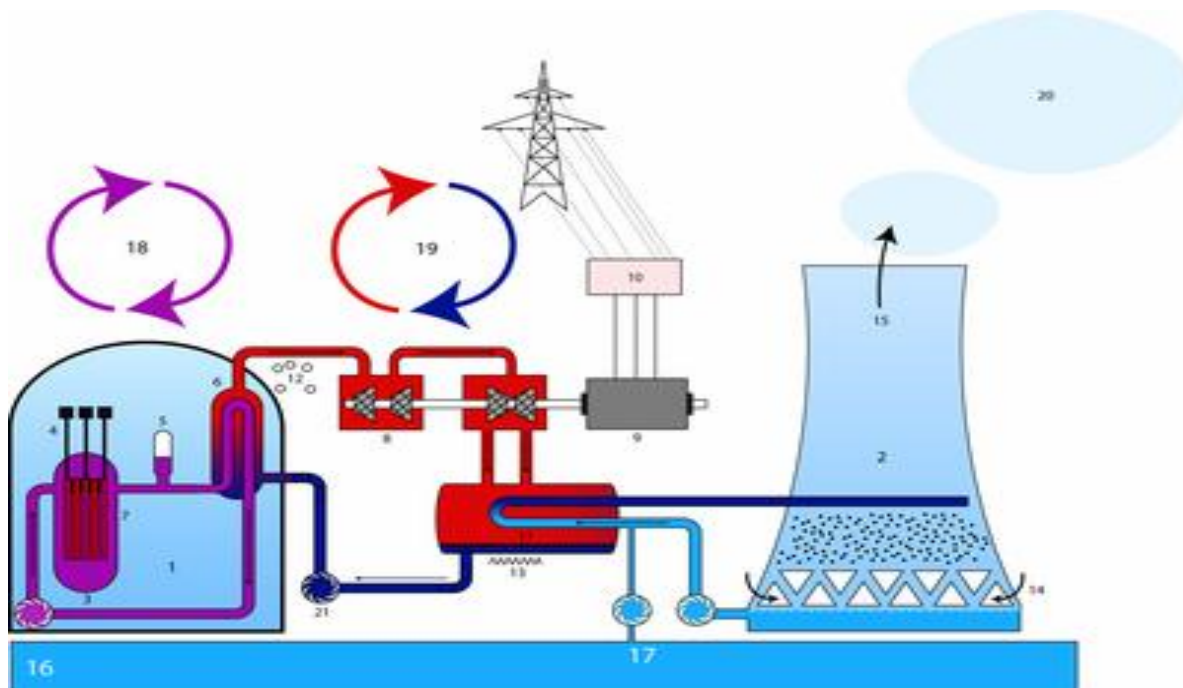
Radionuklidy vycházejí z nuklidů [2], což je soubor stejných atomů, které mají jednoznačně určený počet protonů a neutronů. Radionuklidy pak jsou nestabilní nuklidy, podléhající samovolné radioaktivní přeměně s nimiž přímo souvisí radioaktivita. To je vlastnost některých atomů samovolně se rozpadat (přeměňovat) na atomy jednodušší, vysílat elektromagnetické záření nebo na částice. Aktivita je veličina určená počtem radioaktivních přeměn probíhajících v látce za jednotku času. Dojde-li v látce k 1 přeměně za 1 sekundu, má aktivitu 1Bq, což je jednotka velmi malá. Proto se v praxi setkáváme spíše s jejími násobky (kBq, MBq atd.). Pro charakterizaci povrchového znečištění, resp. obsahu radioaktivní látky v materiálu se používají měrné jednotky (Bq/cm², Bq/kg apod.) Zjednodušeně řečeno charakterizuje „množství“ radioaktivní látky. Příčinou nestability některých jader atomů je, že mají nadbytek protonů nebo neutronů v jádře, nebo že jsou tak těžká a složitá, že nemohou existovat ve stabilním stavu.

Nebezpečnost radioaktivního záření [3] závisí na typu (zdroji) záření (od nejméně nebezpečných paprsků alfa až po tvrdé neutronové záření) a na intenzitě (síle) zdroje záření. Z toho vycházejí i různé způsoby ochrany před radioaktivitou, jimž se věnuji níže. Našimi lidskými smysly nepoznáme, je-li nějaká látka radioaktivní či ne. Radioaktivitu zachytí pouze speciální měřicí přístroje nebo se pozná podle některých doprovodných jevů: např. při silné ionizaci vzduchu se tvoří ozon, který zaznamenáváme čichem.

1.1 Radioaktivní odpady z jaderných elektráren

V České republice máme dvě jaderné elektrárny. JE Dukovany a JE Temelín. Při provozu jaderných elektráren se objevují vedle vysoko-aktivního vyhořelého paliva také nízko-aktivní a středně-aktivní plynné, kapalně a pevné radioaktivní odpady [4]. Vznikají kontaminací materiálů a povrchů radionuklidy uvolňovanými v reaktoru. Výjimečně jsou to štěpné produkty, ty se za normálního provozu nemohou dostat ven z obalu palivových článků. Většinou to jsou radionuklidy vzniklé aktivací různých látek obsažených v primárním okruhu. Vznikají a shro-

maždují se hlavně v chladicím systému reaktoru a v menší míře v bazénech na skladování vyhořelého paliva. Další radioaktivní odpady pak pocházejí z různých čisticích a filtračních stanic v elektrárně, z prádelen a umýváren, případně z laboratoří.



Obr. 1 Schéma jaderné elektrárny [5]

Schéma nejběžnějšího typu jaderné elektrárny s tlakovodním reaktorem:

1. Reaktorová hala, 2. Chladicí věž, 3. Tlakovodní reaktor, 4. Řídící tyče, 5. Kompenzátor objemu, 6. Parogenerátor, 7. Reaktor, 8. Turbína - vysokotlaký a nízkotlaký stupeň, 9. Elektrický generátor, 10. Transformační stanice, 11. Kondenzátor sekundárního okruhu, 14. Přívod vzduchu do chladicí věže, 15. Odvod teplého vzduchu a páry komínovým efektem, 16. Oběhové čerpadlo primárního okruhu, 17. Napájecí čerpadlo chladicího okruhu, 18. Primární okruh (voda pouze kapalná pod vysokým tlakem), 19. Sekundární okruh (červeně značena pára, modře voda), 20. oblaka vzniklá kondenzací vypařené chladicí vody, 21. oběhové čerpadlo sekundárního okruhu

1.2 Charakterizace radioaktivních odpadů

Abychom mohli určit, zda-li můžeme určený odpad považovat za radioaktivní, zaměříme se především na :

Obsah radionuklidů (radionuklid, aktivita) - slouží k charakterizaci odpadu z hlediska doby nezbytné k jeho izolaci a míry nebezpečnosti (druh záření, energie záření a radiotoxicita)

Povrchová kontaminace (obsah radionuklidů na povrchu Bq/cm²) charakterizuje riziko kontaminace pracovníků při manipulaci s odpady

Příkon dávkového ekvivalentu (mSv/h) charakterizuje nebezpečí spočívající v externím ozáření osob pocházející z odpadu

V praxi se radioaktivní odpady mohou vyskytovat ve třech skupenstvích [6]:

Pevné radioaktivní odpady

Většina pevných provozních odpadů patří mezi nízko, případně středně aktivní odpady. Jsou to například vzduchotechnické filtry, drobný odpad ze sběrných míst (papír a hadry) a odpad vzniklý při opravách a údržbě (kovy, izolační a těsnicí materiály).

Kapalné radioaktivní odpady

Všechny technologické a odpadní vody z kontrolovaného pásma jsou podle povahy a obsahu radioaktivních látek jímány odděleně a následně čištěny

Plynné radioaktivní odpady

Největší část těchto odpadů vzniká z primárního okruhu a je odváděna odplyňováním přes čisticí filtry do ventilačního komína. Menší část plynných odpadů také vzniká uvolněním z kapalných odpadů. V budově aktivních pomocných provozů vzniká plynný odpad v odparkách. Plyny jsou odváděny do systému speciální vzduchotechniky, kde jsou filtrovány a zadržovány v absorpčních kolonách (filtry jsou pak zneškodňovány jako pevný radioaktivní odpad) proto, aby poklesla jejich aktivita na stanovenou mez. Ventilačními komíny, které jsou na budově reaktorovny a na budově aktivních pomocných provozů, jsou potom řízeně a kontrolovaně v ředěném a podlimitním stavu vypouštěny do ovzduší. Veškeré výpusti jsou trvale monitorovány a průběžně hodnoceny s cílem zabránit překročení stanovených limitů.

Radioaktivní odpady se dále mohou dělit [2] obvykle podle aktivity (a z ní vyplývající míry nebezpečnosti pro okolí) na přechodné, nízko a středně aktivní a vysoko-aktivní odpady. Zneškodnění nízko, středně aktivních a vysoce-aktivních odpadů spočívá v zajištění jejich úplné izolace od biosféry, a to po celou dobu, po kterou mohou pro člověka a životní prostředí představovat riziko. Této izolace [7] radioaktivních odpadů je dosaženo v úložištích, v nichž soustava po sobě jdoucích bariér brání uvolnění nebezpečných látek do okolí. Radioaktivní odpady je třeba udržet pod kontrolou tak dlouho, dokud jejich radioaktivita neklesne v důsledku samovolného rozpadu na úroveň vylučující ohrožení jakékoliv složky biosféry.

Podle schopnosti uložit radioaktivní odpady do životního prostředí [8], je můžeme dále dělit dle kategorií na:

Kategorie 1 (Přechodné radioaktivní odpady) - radioaktivní odpady, jejichž radioaktivita poklesne na hodnoty umožňující jejich uvedení do životního prostředí za méně než 5 let.

Kategorie 2 (Nízko a středně aktivní odpady krátkodobé) - tyto odpady lze přijmout do přípo-
vrchových (povrchových nebo podpovrchových) úložišť.

Kategorie 3 (Nízko a středně aktivní odpady dlouhodobé) - radioaktivní odpady, které obsahují příliš velké množství dlouhodobých radionuklidů a je možné je uložit do hlubinných úložišť.

Kategorie 4 (Vysokoaktivní odpady) - radioaktivní odpady, které vyvíjejí nezanedbatelné množství tepla, jako např. vyhořelé jaderné palivo nebo odpady z jeho přepracování. Tyto odpady mohou být umístěny do hlubinných úložišť.

U nízko a středně aktivních odpadů pocházejících z jaderné elektrárny je doba, po kterou je nutná izolace radioaktivních odpadů od biosféry, obvykle tři sta až pět set let. Tyto odpady je možné ukládat v povrchových nebo přípo-
vrchových úložištích, jakým je i úložiště Dukovany.

Před uložením je nutné upravit odpady do formy splňující kritéria přijatelnosti pro ukládání. V praxi to znamená odpařování, koncentrování a fixaci do vhodné matrice u kapalných odpadů (bitumen, cement), lisování, spalování a fixaci u pevných odpadů. Všechny se pak uzavírají do bezpečného obalu. Odpad, ve kterém jsou obsaženy radionuklidy v množství nepřesahujícím limity, stanovené zvláštními předpisy, není považován za radioaktivní odpad a může být odstraněn jako neradioaktivní.

1.3 Nakládání s radioaktivními odpady

Než se radioaktivní odpad ocitne v uložišti radioaktivních odpadů, projde několika fázemi:

Sběr - shromažďování odpadů vznikajících na pracovištích s radioaktivními látkami nebo při provozu technologických zařízení. Typickými příklady jsou: sběr do obalů (plastové pytle, barely, sudy, stíněné kontejnery, kapalné odpady se shromažďují v konvích, uzavíratelných nádobách nebo nádržích)



Obr. 2 Shromažďování odpadů vznikajících na pracovištích s radioaktivními látkami [12]

Třídění - odpady se většinou třídí podle druhu, aktivity a následných technologických operací

Skladování - odpady jsou skladovány ve skladech s omezeným přístupem v podmínkách, které brání šíření aktivity do okolí a minimalizují možnost průniku ionizujícího záření do okolí. Jedná se většinou o betonové jímky, odstíněné místnosti a speciální kontejnery.

Zpracování - u pevných odpadů se jedná o zmenšení objemu lisováním, spalováním, popřípadě odstraněním kontaminace procesem dekontaminace. U kapalných odpadů se jedná především o odstranění radioaktivních látek v procesu odpařování, čištění na sorbentech nebo odstraňování radioaktivních látek chemickými postupy.

Úprava - úprava je proces, kterým se radioaktivní odpady převádějí do podoby vhodné k uložení do úložiště radioaktivních odpadů. V České republice se jedná zejména o fixaci kapalných odpadů do bitumenové (asfaltové) matrice a fixaci do cementových směsí.

Pevné odpady vkládány do kovových sudů, následně lisovány a v některých případech ještě fixovány cementovou směsí.

Ukládání - je proces, při kterém je upravený radioaktivní odpad nevratně uložen do úložiště radioaktivního odpadu, v případě odpadů pocházejících z JE je tímto úložištěm ÚRAO Dukovany.

Při zpracování odpadů se řídíme třemi hlavními zásadami: snížit množství odpadů, odstranit radionuklidy a změnit složení odpadů. Jedná se o zejména o odpady vznikající při čištění chladiva jaderného reaktoru (čistá voda s obsahem kyseliny borité), oleje, náplně čistících stanic (sorbenty), pomůcky náradí, ochranné prostředky a materiály, které přišly při provozu jaderné elektrárny do kontaktu s radionuklidy. [přílohy I – III.] V budoucnu také o vyhořelé jaderné palivo

Vyhořelé jaderné palivo nebo jiné vysoce aktivní odpady je však třeba izolovat od životního prostředí po dobu nesrovnatelně delší než umožňuje izolace v povrchových úložištích, řádově desetitisíce let. Vyhořelé jaderné palivo je v současné době bezpečně skladováno v tzv. meziskladech (v České republice je to mezisklad vyhořelého jaderného paliva v jaderné elektrárně Dukovany). Vzhledem k tomu, že vyhořelé palivo obsahuje prvky schopné uvolnit ještě značné množství energie, může se v budoucnu stát cennou surovinou a není v současné době považováno za odpad. Problematika vyhořelého paliva překračuje rámec této práce. .

1.4 Nebezpečí

Část veřejnosti, i když akceptuje provoz jaderných elektráren, bývá přesto zneklidněna jadernými odpady. Nějak energii vyrábět musíme a každý způsob je zdrojem větší či menší zátěže pro životní prostředí. Jaderná energetika s nulovou emisí oxidu uhličitého a nepatrným objemem odpadů patří k nejčistším zdrojům elektrické energie.

Zdeněk Bochníček ve své práci [9] nabízí srovnání, jak velké množství odpadu vyprodukuje uhelná elektrárna oproti elektrárně jaderné.

Tab. 1. Srovnání odpadu z roční produkce uhelné a jaderné elektrárny o výkonu 1 000 MW, všechny údaje jsou v tunách [9]

	Spotřeba paliva	pevné odpady (popel, popílek, vyhořelé palivo)	plynné odpady (CO ₂ , CO, SO ₂ ,)
uhelná elektrárna	2 000 000	415 000	6 600 000
jaderná elektrárna	28	vysoce aktivní 10 středně aktivní 400 nízko aktivní 600	40

Je zajímavé, že plynných odpadů z uhelných elektráren je více než spotřebovaného paliva. Dominantní složkou v odpadním plynu je CO₂, v jehož molekule více než 70 % hmotnosti připadá na kyslík. Středně aktivní a nízkoaktivní odpady jaderných elektráren jsou tvořeny hlavně materiálem, který byl za provozu elektrárny kontaminován (izolace, filtrační vložky, voda z prádelny apod.).

Je pravda, že odpadům z jaderných elektráren je nutno věnovat značnou pozornost a zajistit bezpečné uložení po velmi dlouhou dobu. Nejvíce nebezpečné jsou vysoce aktivní odpady, které je nutné několik let po vynětí z reaktoru skladovat ve vodních bazénech. Stále probíhající rozpad radioaktivních produktů štěpení je zdrojem značného tepla, které je třeba vodou odvést. Na druhé straně vysoce aktivní odpady jsou látky s krátkým poločasem rozpadu (např. ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr s poločasem rozpadu asi 30 let), a proto jejich aktivita rychle klesá. Za 500–1 000 let je aktivita těchto odpadů shodná s aktivitou vytěžené uranové rudy, ze které bylo dané palivo pro jadernou elektrárnu vyrobeno. Při žádné myslitelné katastrofě, spojené s jejich obnažením, by

obyvatelstvo Země nebylo vážně ohroženo. Za 10 000 let bude celková aktivita všech (i nízko aktivních) jaderných odpadů rovna aktivitě původní rudy. S trochou nadsázky můžeme říci, že jaderná energetika je bezodpadovou technologií s relaxační dobou cca 10 000 let. Přitom předpokládaná životnost kontejnerů pro radioaktivní odpad je 1 milion let a zdržná schopnost hlubinného úložiště ve vhodné geologické lokalitě se odhaduje na 70 milionů let. Uvažují se tedy možné negativní důsledky v časovém horizontu statisíců let.

1.5 Ochrana před radioaktivitou

Nebezpečnost radioaktivního záření [3] závisí na typu (zdroji) záření (od nejméně nebezpečných paprsků alfa až po tvrdé neutronové záření) a na intenzitě (síle) zdroje záření. Z toho vycházejí i různé způsoby ochrany před radioaktivitou - časem, vzdáleností, stíněním a jejich kombinací.

Ochrana časem znamená, že se ke zdroji záření přiblížíme až poté, co jeho aktivita klesne pod nebezpečnou úroveň (což lze snadno spočítat, například izotop jódu je neškodný po osmi dnech). Ochrana vzdáleností vychází z faktu, že v určité vzdálenosti od zdroje je jeho aktivita nižší, než úroveň přírodního záření - a logicky neškodící.

Ochrana stíněním se používá pro krátkou vzdálenost od silného zdroje, a to v závislosti na typu záření

1.6 Legislativa týkající se radioaktivních odpadů

Problematika odpadů je nejen pro Evropskou unii stěžejní. Letmý pohled na připravovanou legislativu, která se odpadů týká, svědčí o velké pozornosti, která je odpadům věnována prakticky už od roku 1975, kdy byla přijata první směrnice v odpadové oblasti. Aktivity, které orgány EU vyvíjí kolem odpadů, jsou velice výrazné např. ve srovnání s aktivitami, které jsou věnovány ostatním průmyslovým odvětvím.

Nakládání s radioaktivními odpady upravuje v ČR zákon č. 18/1997 Sb. ve znění pozdějších předpisů (atomový zákon). Radioaktivní odpad podléhá regulaci a dozoru Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB). Správa úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO), zřízená jako státní organizace na základě atomového zákona, je zodpovědná za bezpečné ukládání všech

radioaktivních odpadů. Zřízením SÚRAO jsou prakticky realizovány státní garance za bezpečné ukládání radioaktivních odpadů. Ostatní související dokumenty popisující legislativu jsou v příloze VIII.

1.7 Možnosti a způsoby měření radioaktivních odpadů

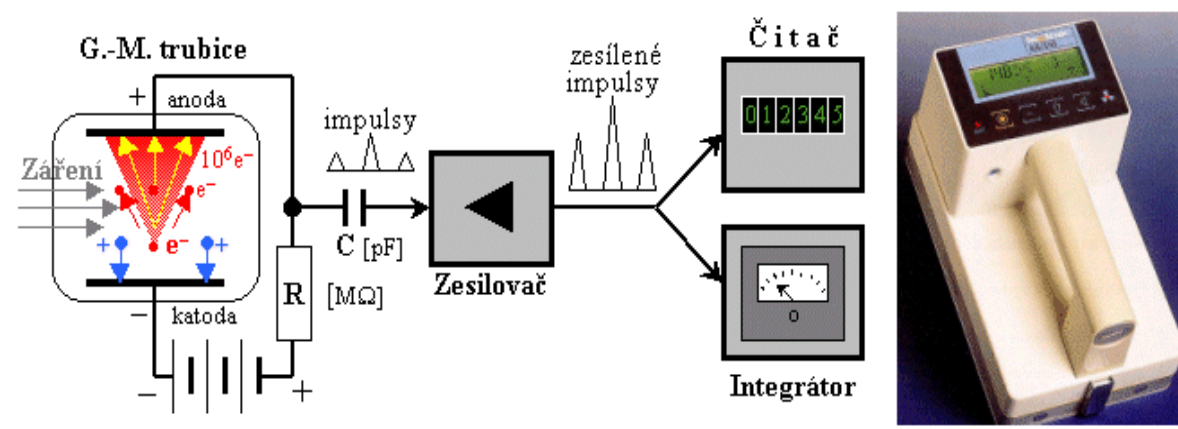
Problematiku radioaktivity odpadů upravuje Atomový zákon. V tomto materiálu jsou uvedena kritéria pro uvolňování radioaktivity do životního prostředí, používání odpadů obsahujících radioaktivní látky, popř jejich ukládání na skládkách. Měřením se tedy zjišťuje, zda míra znečištění radionuklidy (a ta je díky přírodním radionuklidům vždy nenulová) nepřekračuje uvolňovací hodnoty [11].

Měření radioaktivity

Pro měření radioaktivity [2] se využívá řady různých účinků ionizujícího záření, nejčastěji se měří ionizace vzniklá průchodem fotonu, nebo částice prostředím, nebo se měří vzniklé poruchy v pevné látce, protože množství vytvořeného elektrického náboje je velmi malé. Různými metodami se zesiluje, aby byl dobře měřitelný (lavinovité rozšíření elektrického náboje v plynu, zesílení signálu v elektronovém fotonásobiči apd.). U některých metod je výsledný elektrický signál úměrný typu a energii záření. Detektory, které toho využívají se nazývají proporcionální počítače. Existují také metody, které umožňují registrovat jedinou částici a sledovat její stopu. Typickým příkladem je *Wilsonova mlžná komora*, kde se kolem stopy částice vytvoří miniaturní kapičky, čímž se stopa zviditelní a lze ji fotograficky zachytit. Jiným příkladem je bublinková komora s kapalným vodíkem, nebo silná vrstva fotografické emulze. Pomocí magnetického pole je možno dráhy nabitých částic zakřivit, analyzovat stopy a určit přesně druh částice, která stopu způsobila. Dále se k měření využívá např. zčernání fotografické emulze, což je princip filmové dozimetrie. Je to metoda k určování malých dávek, zejména při dozimetrii osob. Stupeň zčernání je pak úměrný dávce záření. Pro měření vysokých dávek se zpravidla používají změny optických vlastností látek (změna barvy), nebo množství uvolněného tepla (tzv. kalorimetrie), nebo změny elektrických vlastností polovodičových součástek- měření se provádějí buď relativně (častější) nebo absolutně (pouze v případech, kdy je to nezbytně nutné, protože je k nim zapotřebí velmi složité speciální aparatury).

Detektory

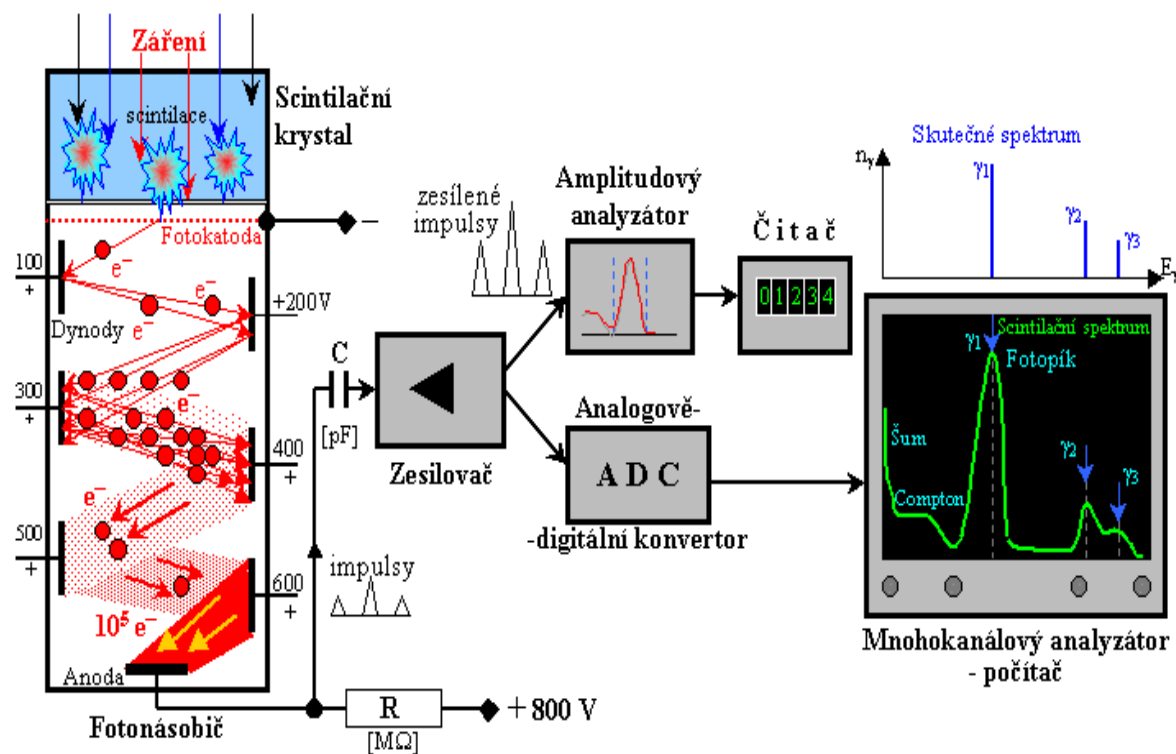
plynové - jsou nejčastěji používanými detektory záření. Jsou založeny na primárních účincích záření - ionizaci a excitaci atomů plynu. Plyn je uzavřen v kovovém obalu s elektrodou uprostřed, mezi obal a elektrodu je vloženo napětí, jakmile do detektoru vnikne záření, způsobí ionizaci, která se projeví jako ionizační proud mezi elektrodou a obalem. Podle závislosti proudu na napětí se rozlišují různé typy detektorů, např. ionizační komora, proporcionální počítač nebo Geiger-Müllerův počítač.



Obr. 3 Schématické znázornění Geiger-Müllerova detektoru [14]

moderační - slouží k detekci neutronů a ke stanovení jejich energie. Jsou tvořeny látkou, která účinně zpomaluje (moderuje) neutrony. Je to zpravidla látka s vysokým obsahem vodíku, např. parafín, polyetylén apod.

scintilační - jsou založeny na podobném principu jako termoluminiscenční dozimetry. Záření vybudí ve scintilátoru elektrony do vyššího energetického stavu a návrat elektronů do základního stavu se projeví jako světelné záblesky, které se měří fotonásobičem. Scintilátory mohou být pevné krystaly sloučenin anorganických (nejčastěji jodidu sodného) nebo organických (např. antracen), nebo roztoky či suspenze organických scintilátorů v organickém rozpouštědle, např. Toluenu. Vzorok se pak měří přímo rozpuštěné ve scintilátoru.



Obr. 4 Schéma scintilačního detektoru (horní větev schématu) a spektrometru (dolní větev schématu). V pravé části na obrazovce je typický tvar scintilačního spektra záření gama - ve srovnání se skutečným čárovým spektrem nahoře. [14]

polovodičové - záření způsobí v polovodiči přeskok elektronu do tzv. vodivého pásma polovodiče, působí-li na polovodič elektrické pole, projeví se tento přeskok jako zvýšení vodivosti. Vhodné elektronické zařízení zaznamenává elektrický impuls. Polovodičové detektory jsou tvořeny většinou monokrystalem křemíku nebo germania se stopovým množstvím lithia, nebo superčistým germaniem. Ke svému provozu většinou potřebují chlazení na teplotu kapalného dusíku.

Dozimetry

Jsou to zařízení k měření dávek ionizujícího záření.

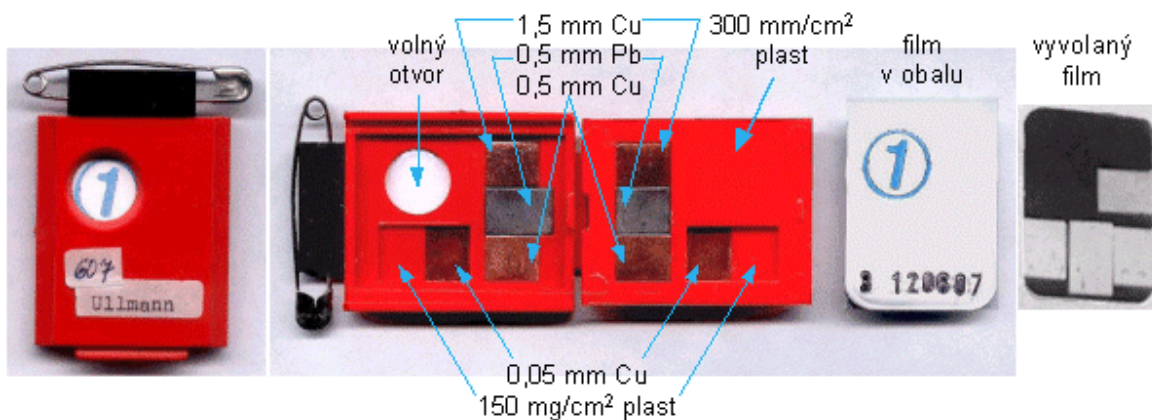


Obr. 5 Dozimetr [14]

Je několik druhů dozimetřů:

filmový - je tvořen speciální fotografickou emulzí. Intenzita jejího zčernání je úměrná dávce záření. Filmovými dozimetry se nejčastěji stanovují nízké dávky v osobní dozimetrii např. na

pracovištích, kde se pracuje se zářiči nebo u zaměstnanců jaderných elektráren.



Obr. 6 Osobní filmový dozimetr používaný pro monitorování pracovníků [14]

termoluminiscenční - používá se také jako osobní dozimetr, ve formě prstýnku ho nosí lidé manipulujícími ručně s radioaktivními zářiči, lze tak zjistit dávku, kterou obdrželi pracovníkovy ruce. Termoluminiscenční látka má tu vlastnost, že záření v ní vybudí elektrony do vyššího energetického stavu, když se pak ozářená látka zahřeje (asi na 200°C), elektrony se vracejí do základního stavu a přebytek své energie vyzáří ve formě světelných záblesků. Světelné záblesky se pomocí fotonásobiče převádějí na napěťové impulsy a měří.

II. TEORETRICKÁ ČÁST

2. PRAKTICKÁ APLIKACE PŘÍSTROJŮ K MĚŘENÍ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ V PODMÍNKÁCH JADERNÉ ELEKTRÁRNY DUKOVANY

2.1 Přenosné přístroje radiační kontroly

Některé typy přenosných přístrojů jsou víceúčelové, tj. jsou určeny k měření více typů dozimetrických veličin, některé jsou určeny k jednostrannému použití. Jiné přístroje umožňují signalizovat překročení nastavené úrovně měřené veličiny [12]

Monitory dávkových příkonů gama a dávky

Radiometr RP 114 – je určen pro měření dávkového příkonu záření gama a povrchové kontaminace beta. Skládá se z vyhodnocovacího přístroje a detekční jednotky. Vyhodnocovací část radiometru RP 114 je připojena k detekční jednotce pomocí držáku s rukojetí (který je pevně spojen s detekční jednotkou) a tvoří tak vlastně jeden celek. Elektrické propojení je pomocí kabelu. V případě potřeby lze detekční jednotkou od vyhodnocovací části odpojit.

Přepínač umožňuje volbu nejvhodnějšího dílčího měřicího rozsahu. Při zvolených dílčích rozsazích 0,03; 0,3; 3; 30 se údaje odečítají na dolní stupnici měřidla a při rozsazích 0,1; 1; 10; 100 se údaje odečítají na horní stupnici. Účinná detekční plocha okénka je 35 cm².

Radiometr FH 40F1, FH 40F2 – slouží pro měření příkonu dávkového ekvivalentu záření gama. Má pouzdro z umělé hmoty, které odolává nárazu a je snadno dekontaminovatelné. Na horní straně radiometru jsou umístěna tři tlačítka (zapnuto/vypnuto, tlačítko pro světelnou a zvukovou indikaci) a LC-displej (displej z tekutých krystalů). Jako detektor se používá GM trubice, která je zabudována v základním přístroji a leží příčně před čelní stranou přístroje. Na levé straně pouzdra je umístěna připojovací konektor pro vnější sondu. Radiometr je odolný proti stříkající vodě. Displej zobrazuje naměřené hodnoty digitálně třímístným číslem s příslušnou jednotkou měření a současně analogově sloupcem na lineární stupnici. Měřicí rozsah je u FH 40F1 0,2 mSv/h - 0,99 Sv/h a u FH 40F2 0,5 μ Sv/h - 9,9 mSv/h.

Monitory povrchové kontaminace

Radiometr RP 114 – je určen pro měření povrchové kontaminace beta a dávkového příkonu záření gama. Pro měření povrchové kontaminace je na spodní části skříňky sondy namontována vysouvateľná clona sloužící na odstínění záření beta v režimu měření dávkového příkonu gama. Při měření povrchové kontaminace beta je nutno tuto clonu odsunout stranou. Měřicí rozsah přístroje je 0,3 - 30000 Bq/cm².

Monitor kontaminace FHT 111M – CONTAMAT (pracovní název „Kontamat“) slouží k citlivému měření povrchové kontaminace alfa a beta. Lze ho použít i v místech se zvýšeným dávkovým příkonem gama. S rostoucí hodnotou dávkového příkonu gama se ale zvyšuje hodnota minimálně detekovatelné plošné aktivity. CONTAMAT je přenosný monitor, který je vybaven průtokovým měřicím proporcionálním detektorem o ploše 166 cm². Zpracování naměřených početností impulsů je řízeno zabudovaným mikroprocesorem. Naměřené hodnoty a informace o měření jsou zobrazovány na velkoplošném displeji z kapalných krystalů. Měřicí rozsah přístroje je 0,04 - 360 Bq/cm² a účinná detekční plocha okénka je 166 cm².



Obr. 7 Radiometry typové řady RP [14]

2.2 Nepřenosné přístroje radiační kontroly

Zařízení MERLIN 1.03 - slouží pro měření hmotnostní aktivity a povrchové kontaminace materiálů uvolňovaných z pracovišť se zdroji ionizujícího záření v souladu s výše uvedenou legislativou. Měření pro ČEZ-EDU zajišťuje na základě smluvních vztahů dodavatelství firma WADE a.s. Komplettní zařízení se skládá z měřicí části a řídicí části [12].

Měřicí část - obsahuje uzavíratelný průchozí odstíněný měřicí tunel osazený třemi germaniovými detektory CANBERRA typ Big MAC a dvěma plastickými scintilátory; rozvaděč RV 1 obsahující 3 spektrometrické měřicí trasy včetně napájecích rámců; zálohové napájení; ovládací a napájecí prvky pneu-systému; prvky datové komunikace; pneu-rozvod ovládání měřicího tunelu a vst./výst. dveří; klimatizační jednotku; zásobní tlakovou Dewarovu nádobu na dusík NTD-30.



Obr. 8 Měřicí část zařízení MERLIN [12]

Součástí výbavy měřicího kontejneru jsou také 2 venkovní hydraulické zvedací stoly Y-lift. Nakládací stůl na vstupu obsahuje váhu. Na vnějších stěnách kontejneru u vstupních dveří měřicího tunelu jsou upevněny 2 ovládací a signalizační panely. Externí součástí je rovněž zdroj tlakového vzduchu-kompresor se vzduchojemem a 20 ks měřicích beden. Měřicí část má rozměry cca: délka 3,2m, výška 2,6m, šířka 2,4m a má hmotnost 9200 kg bez externích částí.



Obr. 9 Zařízení MERLIN a venkovní hydraulické zvedací stoly Y-lift [12]

Řídící část - obsahuje místnost obsluhy - vyhodnocovací PC s příslušenstvím; klimatizační jednotku; kuchyňka - lednička s vařičem; sanitární část - umyvadlo, sprcha, průtokový ohřívač + chemické WC. Rozměry řídicí části jsou cca: délka 6m, výška 2,6m, šířka 2,4m a hmotnost je 2500 kg.

Fyzikální princip činnosti

Zařízení je určeno pro rozhodnutí o tom, zda měřený materiál určený k uvolnění do životního prostředí obsahuje radioaktivní látky v množství menším, než jsou hodnoty uvolňovacích úrovní. Měřený materiál je při vlastním měření uložen do měřících beden z plastu. Plast byl použit z toho důvodu, že má zanedbatelnou absorpci záření gama. Měřící bedna je po zvážení umístěna do měřícího tunelu, který je v prostoru měřící komory odstíněn 10 cm vrstvou olova pro dosažení požadovaných hodnot minimálně detekovatelných aktivit. Vstupní a výstupní část měřící komory je odstíněna 5 cm vrstvou olova stejně jako vstupní a výstupní dveře měřícího tunelu. Celý měřící tunel je vyložen nízkopozadovou nerezovou ocelí. Měřící bedna je pomocí pneumatického systému umístěna do měřící polohy nacházející se uprostřed mezi detektory. Detektory jsou umístěny v jedné rovině kolmé na podélnou osu měřícího tunelu tak, že efektivní měřící středy detektorů tvoří pravidelný trojúhelník .

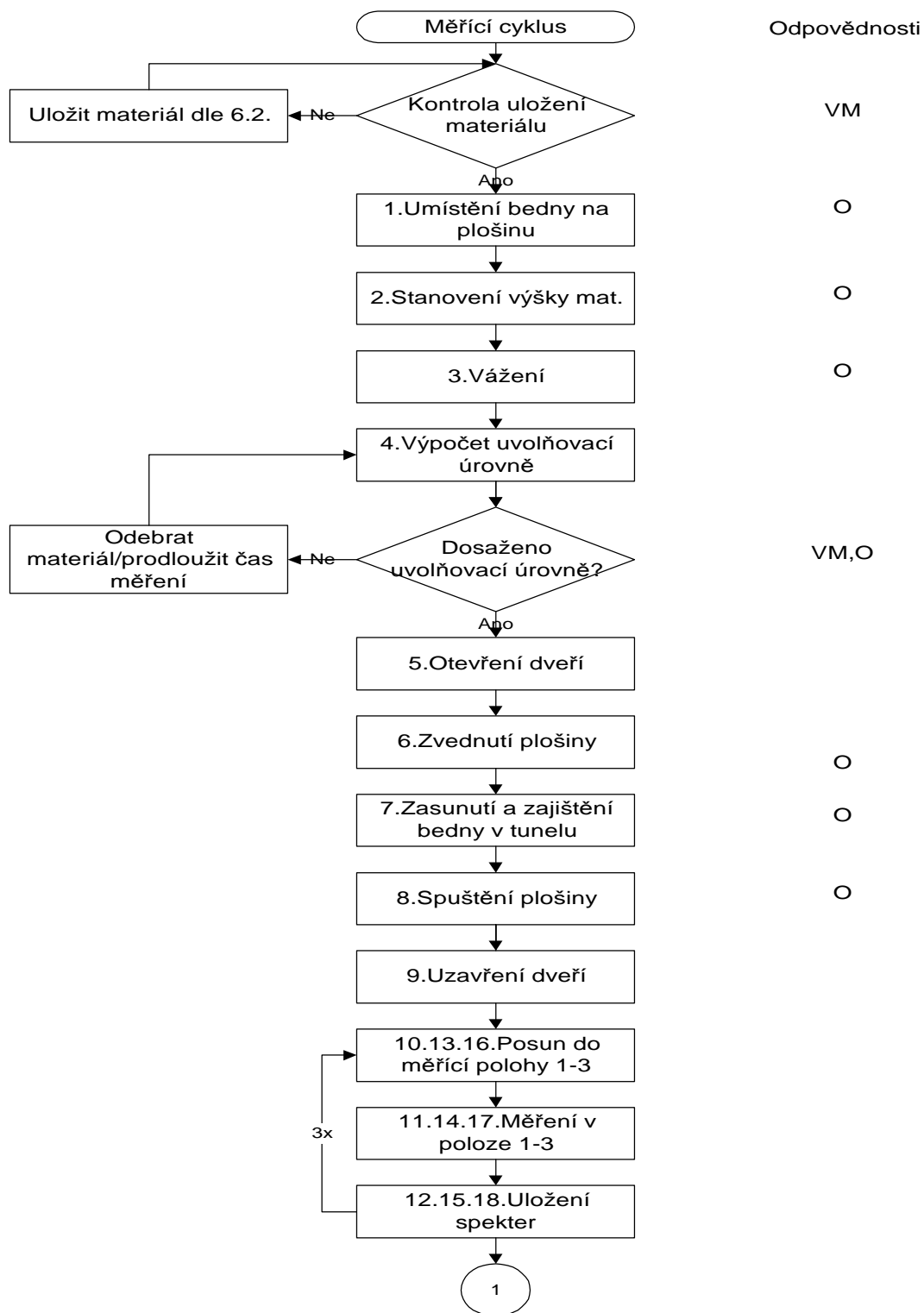
Pro měření obsahu radioaktivních látek v materiálu jsou použity 3 polovodičové detektory typu HPGe firmy CANBERRA verze Big MAC, které umožňují stanovit aktivitu jednotlivých radionuklidů (pokud emitují při své radioaktivní přeměně fotony záření gama). Dva detektory jsou umístěny z boku měřicího tunelu vodorovně a jeden detektor je umístěn zespodu měřicího tunelu vertikálně. Detektory jsou zasunuty dovnitř měřicí komory. Nad měřicí bednou se nachází dva proporcionální detektory pro měření případné kontaminace materiálu čistými beta zářiči (bez emise fotonů gama).

Fotony záření gama emitované z měřeného materiálu jsou registrovány polovodičovými detektory. Dále jsou převedeny na elektrické impulsy, které jsou zpracovány v jednotlivých měřicích trasách. Výsledkem zpracování jsou tzv. spektra záření gama, která jsou následně vyhodnocena pomocí analytického komerčního programového vybavení - systém GENIE 2000 firmy CANBERRA s použitím knihovny vybraných radionuklidů. V knihovně se nacházejí radionuklidy, které přicházejí v úvahu při uvolňování materiálu z daného pracoviště. Na základě výsledků analýzy jsou stanoveny jednotlivé radionuklidy obsažené v měřeném materiálu a stanovena jejich hmotnostní a plošná aktivita. Vyhodnocovací program MERLIN sečte podíly průměrných hmotnostních a plošných aktivit jednotlivých radionuklidů a uvolňovacích úrovní hmotnostní a plošné aktivity těchto radionuklidů a stanoví hodnoty „uvolňovacích koeficientů“ na základě kterých je rozhodnuto o uvolnění, resp. neuvolnění materiálu do životního prostředí. Měřicí bedna je pneumatickým systémem posunuta na výstup měřicího tunelu a měření je ukončeno.

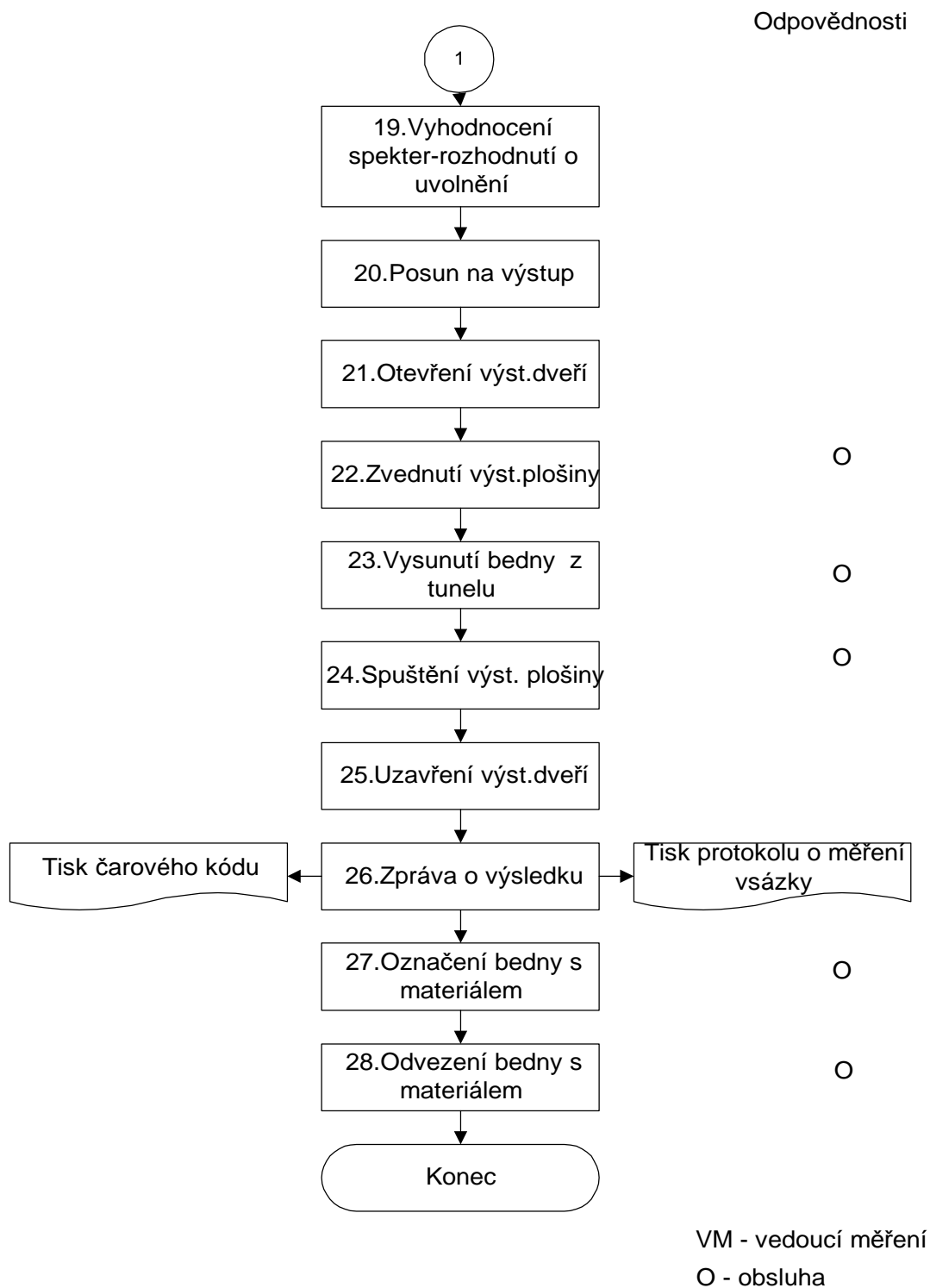
Software MERLIN

Rozhodnutí o uvolnění materiálu do ŽP je provedeno automaticky na základě měření provedené pomocí programového vybavení MERLIN. Při tomto rozhodnutí je v maximální možné míře snížena možnost chyby obsluhy, která by mohla vést k nesprávnému rozhodnutí o uvolnění materiálu.

Vývojový diagram měření:



Obr. 10. Vývojový diagram měření – část 1. [12]



Obr. 11. Vývojový diagram měření - část 2. [12]

III. PRAKTICKÁ ČÁST

3. MĚŘENÍ

3.1 Měření obsahu radionuklidů v odpadech před uvedením do životního prostředí probíhá v tomto algoritmu

Při měření radionuklidů v odpadech je potřeba nejdříve provést kontrolu kalibrace a naměřených pozadí (měření pozadí se provádí každý měřicí den). Zadájí se parametry měření (hmotnost - automaticky, druh materiálu, výška materiálu v bedně, délka a síla stěny předmětu) a proběhne výpočet MDA (minimální detekovatelná aktivita) pro 4 radionuklidy (^{60}Co , ^{137}Cs , ^{54}Mn , ^{110}mAg) a jejich korekce na samoabsorpci. Dále je potřeba provést výpočet doby měření, kdy součet MDA je nižší jak 300 Bq/kg (minimální doba měření je omezena na 40 s, při kratší době měření není dosaženo dostatečně nízké statistické chyby měření). Provedeme měření ve třech bodech a výpočet maximální hodnoty aktivit jednotlivých radionuklidů A_{max} . Následuje test homogenity: Je-li ve třech profilech nebo na jednotlivých detektorech poměr naměřených aktivit $0,8 < A_x / A_y > 1,2$, použije se následně pro stanovení příslušného radionuklidu výsledek měření segmentu s nejvyšší aktivitou a uvažuje se konzervativně, že veškerá aktivita je shromážděna v jediném kg měřeného materiálu vsázky. Pokud měříme aktivitu předmětu, kratšího než 60cm, je měřena pouze v jednom profilu. Je-li naměřená maximální aktivita radionuklidu (^{60}Co , ^{137}Cs , ^{54}Mn , ^{110}mAg) menší než jeho MDA, uvažuje pro další výpočty s MDA daného radionuklidů jako hodnotou naměřenou. Je-li naměřená maximální aktivita radionuklidů větší než jeho MDA, je použita do výpočtu skutečně naměřená hodnota (nepočítá se s MDA). Naměřené aktivity ^{60}Co , ^{137}Cs jsou násobeny koeficienty, zohledňujícími zastoupení přímo neměřitelných radionuklidů. Používá se $K_{^{60}\text{Co}} = 1,6$, resp. $K_{^{137}\text{Cs}} = 1,4$. Následujícím krokem je výpočet hmotnostní aktivity a plošné aktivity. Nakonec se provede výpočet koeficientu uvolnitelnosti K_{u_m} jako součtu podílů hmotnostních, resp. K_{u_s} jako součtu plošných aktivit jednotlivých radionuklidů a uvolňovacích úrovní. U vsázek, které nelze uvolnit do životního prostředí, je na základě posouzení podílu MDA na K_u jako součtu je úřední měřič vyzván k rozhodnutí, zda vsázku změřit znovu s delší doporučenou dobou měření nebo neuvolnit vsázku. Zároveň na základě vypočtené aktivity jednotlivých radionuklidů musí doporučit dobu vymírání.

Následující tabulka ukazuje třídu radiotoxicity a uvolňovací úrovně pro vybrané radionuklidy, které můžeme dělit na přímo a nepřímo měřitelné.

Přímo měřitelné

Tab. 2. *Třída radiotoxicity a uvolňovací úrovně pro přímo měřitelné radionuklidy*

Nuklid	Třída radiotoxicity	Bq/kg	Bq/cm ²
54 Mn	1	300	0,3
59 Fe	1	300	0,3
58 Co	1	300	0,3
60 Co	1	300	0,3
65 Zn	1	300	0,3
95 Nb	1	300	0,3
110m Ag	1	300	0,3
124 Sb	1	300	0,3
134 Cs	1	300	0,3
137 Cs	1	300	0,3

Přímo neměřitelné

Tab. 3. *Třída radiotoxicity a uvolňovací úrovně pro přímo neměřitelné radionuklidy*

Nuklid	Třída radiotoxicity	Bq/kg	Bq/cm ²
14 C	3	30000	30
59 Ni	4	300000	300
63 Ni	4	300000	300
90 Sr	2	3000	3
94 Nb	1	300	0,3
99 Tc	3	30000	30
129 I	2	3000	3
239 Pu	1	300	0,3
241 Am	1	300	0,3

3.2 Vlastní měření

Bylo provedeno měření aktivity jednotlivých radionuklidů v odpadech z jaderné elektrárny Dukovany, který byl dále určen pro uložení na skládce (v případě nekovových), resp. k přepracování (v případě kovových odpadů). Odpad byl rozdělen podle charakteristiky do jednotlivých kontejnerů a zvážen. Aktivita byla sečtena pro každý radionuklid zvlášť a vypočítal se poměr aktivity na 1kg.

Tab. 4. *Aktivity radionuklidů pro jednotlivé kontejnery určené pro uložení na skládce v Petrůvkách*

Označení	Typ odpadu	Hmotnost [kg]	Ag 110m [Bq]	Co 58 [Bq]	Co 60 [Bq]	Cs 134 [Bq]	Cs 137 [Bq]	Fe 59 [Bq]	Mn 54 [Bq]	Nb 95 [Bq]	Zn 65 [Bq]	Sb 124 [Bq]
JV-001-2006	150203-Textil O	205	2,34E+03	3,89E+02	1,94E+04	2,51E+02	7,31E+03	4,85E+02	2,52E+03	7,09E+02	4,35E+02	1,23E+02
JV-072-2005	170201-Dřevo O	860,8	3,87E+03	8,93E+02	5,37E+04	8,64E+02	7,75E+03	9,73E+02	5,84E+03	1,59E+03	5,40E+02	2,96E+02
JV-075-2005	170203-Plasty O	464,6	2,52E+03	6,51E+02	2,74E+04	5,56E+02	6,53E+03	7,13E+02	3,33E+03	1,40E+03		4,61E+02
JV-076-2005	150205-Textil O	179,1	3,80E+03	3,15E+02	1,60E+04	2,92E+02	4,11E+03	8,64E+02	2,27E+03	1,37E+03	3,59E+02	
JV-077-2005	170203-Plasty O	379,9	2,53E+03	1,01E+03	2,55E+04	9,30E+02	6,54E+03	7,24E+02	4,81E+03	1,34E+03		1,72E+02
JV-091-2005	150101-Papír O	519,2	3,31E+03	1,49E+03	3,71E+04	1,08E+03	5,12E+03	4,52E+02	4,40E+03	2,40E+03	6,55E+02	1,10E+03
	Celkem	2608,6	1,84E+04	4,74E+03	1,79E+05	3,97E+03	3,73E+04	4,21E+03	2,32E+04	8,81E+03	1,99E+03	2,15E+03
	Bq/kg	1	7,0	1,8	68,7	1,5	14,3	1,6	8,9	3,4	0,8	0,8

Tab. 5. Aktivita radionuklidů pro jednotlivé kontejnery s kovovým odpadem určeným k přepracování prostřednictvím firmy Paspol, spo. s r.o.

Označení	Typ odpadu	Hmotnost [kg]	Ag 110m [Bq]	Co 58 [Bq]	Co 60 [Bq]	Cs 134 [Bq]	Cs 137 [Bq]	Fe 59 [Bq]	Mn 54 [Bq]	Nb 95 [Bq]	Zn 65 [Bq]	Sb 124 [Bq]
JV-060-2005	170405-Železo O	84,6	2,00E+02	7,26E+01	8,22E+02		3,13E+02		1,60E+02	2,23E+02		
JV-081-2005	170405-Železo O	2189,7	2,93E+03	1,03E+03	1,81E+04	5,75E+02	4,67E+03	3,38E+02	3,05E+03	8,13E+02	1,49E+02	7,69E+02
JV-082-2005	170405-Železo O	2232,6	5,74E+03	1,18E+03	4,05E+04	8,45E+02	9,56E+03	1,55E+03	6,52E+03	3,26E+03	6,90E+02	9,07E+02
JV-083-2005	170403-Olovo O	865,9	2,14E+03	6,53E+02	1,39E+04	3,55E+02	4,60E+03	3,71E+02	2,08E+03	2,46E+03		1,56E+03
JV-088-2005	170402-Hliník O	423,3	2,68E+03	8,42E+02	3,37E+04	5,83E+02	6,59E+03	1,11E+03	4,49E+03	1,47E+03	5,45E+02	1,15E+02
JV-089-2005	160214-Elektroodpad O	339,5	7,99E+02	2,67E+02	1,13E+04	3,76E+02	1,61E+03	2,00E+02	1,29E+03	3,24E+02	3,80E+02	2,38E+02
JV-090-2005	170411C-Kabely měděné	439	1,22E+03	3,51E+02	1,41E+04	2,65E+02	1,76E+03	8,27E+02	1,59E+03	9,18E+02	1,01E+03	
	Celkem	6574,6	1,6E+04	4,4E+03	1,3E+05	3,0E+03	2,9E+04	4,4E+03	1,9E+04	9,5E+03	2,8E+03	3,6E+03
	Bq/kg	1	2,4	0,7	20,2	0,5	4,4	0,7	2,9	1,4	0,4	0,5

Výpočet aktivity Bq/kg u Co58 pro odpad určený k přepracování:

$$A_{\text{Co58}} = A_{\text{celk.}} / m_{\text{celk.}}$$

$$A_{\text{Co58}} = 0,7 \text{ Bq/kg}$$

$$A_{\text{Co58}} = 4,4 \cdot 10^3 / 6574,6$$

Hodnoty konverzních faktorů limitujícího scénáře pro jednotlivé nuklidy obsažené v odpadech a výpočet efektivní dávky pro jedince z populace

Tab. 6. Výpočet efektivní dávky pro jedince z populace v důsledku uvedení odpadu na skládku komunálního odpadu Petrůvky

	Měrná aktivita	Konverzní faktor	Efektivní dávka
	Bq/kg	($\mu\text{Sv/rok}$)/(Bq/kg)	μSv
Mn-54	8,9E+00	2,70E-02	2,40E-01
Fe-59	1,6E+00	3,90E-02	6,30E-02
Co-58	1,8E+00	3,00E-02	5,46E-02
Co-60	6,9E+01	1,00E-01	6,87E+00
Zn-65	7,6E-01	1,90E-02	1,45E-02
Nb-95	3,4E+00	2,40E-02	8,10E-02
Ag-110m	7,0E+00	8,70E-02	6,13E-01
Sb-124	8,2E-01	6,10E-02	5,03E-02
Cs-134	1,5E+00	5,40E-02	8,22E-02
Cs-137	1,4E+01	2,60E-02	3,72E-01
Suma			8,44E+00

Tab. 7. Výpočet efektivní dávky pro jedince z populace v důsledku předání odpadu k dalšímu využití firmě Paspol

	Měrná aktivita	Konverzní faktor	Efektivní dávka
	Bq/kg	(μ Sv/rok)/(Bq/kg)	μ Sv
Mn-54	2,9E+00	2,70E-02	7,88E-02
Fe-59	6,7E-01	3,90E-02	2,60E-02
Co-58	6,7E-01	3,00E-02	2,01E-02
Co-60	2,0E+01	1,00E-01	2,02E+00
Zn-65	4,2E-01	1,90E-02	8,01E+00
Nb-95	1,4E+00	2,40E-02	3,45E-02
Ag-110m	2,4E+00	8,70E-02	2,08E-01
Sb-124	5,5E-01	6,10E-02	3,33E-02
Cs-134	4,6E-01	5,40E-02	2,46E-02
Cs-137	4,4E+00	2,60E-02	1,15E-01
Suma			2,56E+00

Závěr měření:

Efektivní dávky pro jedince z populace, které byly vypočítány na základě konzervativních scénářů pro uvažované nakládání s odpady (byly uvažovány osoby manipulující s těmito odpady), jsou menší než povolená hodnota 10 mikro Sv pro jakoukoli jednotlivou osobu z obyvatelstva.

Vzhledem tomu, že odpady na skládce v Petruvkách budou překryty zeminou a že skládka je přístupná pouze pro omezený počet osob (obsluha skládky), lze očekávat kolektivní efektivní dávku za rok způsobenou tímto odpadem hluboko pod přípustnou hodnotou 1 Sv.

Při zpracování kovových odpadů jako druhotné suroviny pro výrobu kovů dojde k mnohonásobnému snížení měrných aktivit v důsledku ředění (minimálně desetinásobně). Za tohoto konzervativního předpokladu a při použití konzervativních konverzních faktorů nemůže dojít k překročení kolektivní efektivní dávky 1 Sv ani za předpokladu kontaktu 1000 osob s veškerým inventářem radionuklidů uvedeným do životního prostředí.

ZÁVĚR

Provedl jsem měření odpadů z jaderné elektrárny Dukovany, které byly určeny k uložení na skládce, resp. k přepracování. U jednotlivých materiálů byly sledovány aktivity charakteristických radionuklidů, aby nebyly překročeny stanovené limity. Vzhledem k tomu, že při navrhovaném způsobu uvádění látek obsahujících radionuklidy do životního prostředí nebudou překročeny povolené hodnoty efektivních dávek, vzhledem k tomu, že ukládáním těchto látek do úložiště radioaktivních odpadů by docházelo k vyčerpávání omezených kapacit úložiště materiálem, který neohrožuje životní prostředí a vzhledem k tomu, že ukládáním kovových odpadů do úložiště radioaktivních odpadů by docházelo ke ztrátám cenných druhotných surovin, považujeme navrhované uvádění materiálů obsahující radionuklidy do životního prostředí za odůvodněné. Veškerý odpad, který prošel měřením splňuje veškeré podmínky nutné k jeho bezpečnému uložení na skládce v Petruvkách, tj. k přepracování na další využití firmou Paspol.

Tato práce nám jasně dokazuje, že tolik rozšířený strach z odpadů produkovaných v jaderné energetice není opodstatněný. Odpady opouštějící brány jaderné elektrárny rozhodně nejsou nebezpečné pro životní prostředí a už vůbec ne pro jedince.

Před tím, než definitivně přijmeme nebo odmítneme jadernou energetiku, musíme posoudit jiné možnosti výroby energie. Tepelné elektrárny se spalovacím procesem - tímto způsobem se v současnosti ve světě vyrábí asi 65 % elektrické energie. Nejčastěji se spaluje uhlí, méně časté, i když ekologicky šetrnější, je spalování zemního plynu a ropy. Odsíření a filtrace zplodin provoz elektráren velmi prodražuje a žádným procesem nelze snížit emise CO₂. Ropa a zemní plyn jsou navíc mimořádně významné suroviny pro chemický průmysl. Účinnost výroby elektrické energie parními turbínami je jen o málo vyšší než 30%, proto více než 60 % tepelné energie musí být rozptýleno do okolního prostředí. Vodní elektrárny jsou významnou alternativou k tepelným elektrárnám, i když jejich nasazení je omezeno přírodními podmínkami. Mezi všemi zdroji energie jsou unikátní výjimkou velké přečerpávací elektrárny, které umožňují jednoduchou, efektivní a ekologicky čistou akumulaci energie. Bohužel dopad těchto vodních děl na přírodu není zanedbatelný, a proto ve veřejnosti nenašly jednoznačnou podporu. U větrných elektráren je reálná účinnost vrtule za ideálních podmínek rovna 40 %, a tedy například vrtule s průměrem 50 m bude mít při rychlosti větru 5 m.s⁻¹ (průměrná rychlost větru v ČR) výkon asi 60 kW. Abychom takto nahradili jediný blok ja-

derné elektrárny Temelín, potřebovali bychom postavit téměř 17 000 elektráren této velikosti. Konečně u sluneční elektrárny pokud použijeme sluneční kolektory jen pro ohřev vody, je účinnost poměrně vysoká: až 80 %, při výrobě elektrické energie se však prudce snižuje. Budeme-li slunečním zařízením vyrábět páru pro pohon turbogenerátorů, dosáhneme účinnosti asi 30 %, podobně jako v tepelných elektrárnách. Při přímé přeměně záření na elektrickou energii s využitím fotovoltaického jevu (tzv. fotočlánky), bude účinnost jen 15 %. Abychom pomocí slunečních elektráren vyrobili tolik elektrické energie, jako jeden 1 000MW blok jaderné elektrárny, museli bychom parní elektrárnu zásobovat teplem z plochy téměř 30km².

Je patrné, že jaderná energie je považována za jednu z nejčistších, nejekologičtějších a zároveň nejúčinnějších vůbec a její nebezpečí je minimální.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] České energetické závody, Radioaktivní odpad [online] [cit. 2006-8-29]. Dostupný z WWW: <http://www.cez.cz/presentation/>
- [2] ZŠ Kolín, Jaderné záření [online] [cit. 2006-8-29]. Dostupný z WWW: <http://www.2zskolin.cz/jadfyz>
- [3] ČSVTS, Nebojme se úložiště radioaktivních odpadů [online] [cit. 2006-8-29]. Dostupný z WWW: <http://www.csvts.cz/cns/>
- [4] EenergyWeb, Radioaktivní odpady z jaderných elektráren [online] [cit. 2006-8-29]. Dostupný z WWW: <http://www.energyweb.cz/>
- [5] WIKIPEDIE, Jaderná elektrárna [online] [cit. 2006-8-29]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/>
- [6] ČEZ, [online] [cit. 2006-8-29]. Dostupný z WWW: <http://www.cez.cz/presentation/cez>
- [7] SÚRAO, Radioaktivní odpad [online] [cit. 2006-8-29]. Dostupný z WWW: <http://www.vidivici.cz/surao2/>
- [8] MPO ČR, Koncepce nakládání s RAO [online] [cit. 2006-8-29]. Dostupný z WWW: <http://www.calla.ecn.cz/data/energetika/ostatni/>
- [9] Zdeněk Bochníček, Jaderná energetika: rizika a alternativy [online] [cit. 2006-8-29]. Dostupný z WWW: <http://www.pef.zcu.cz>
- [10] Varga, Š., Tölgyessy, J.: Rádiochemia a radiačná chémia, 1. vydání, Brno, ALFA, 1976,528, ISBN63-556-76
- [11] Detekce ionizujícího záření, Měření radioaktivity odpadů [online] [cit. 2006-8-29]. Dostupný z WWW: <http://www.radioaktivita.cz/odpad.htm>
- [12] EDU, Dokument o měření nízkoradioaktivních odpadů, 2005
- [13] SÚRAO, Přehled nejdůl. předpisů pro činnost SÚRAO [online] [cit. 2006-8-29]. Dostupný z WWW: <http://www.vidivici.cz/surao2/>

[14] Vojtěch Ullmann, Jaderná fyzika [online] [cit. 2006-8-29].Dostupný z WWW:
<http://astronuklfyzika.cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A	Aktivita	Bq
JE	Jaderná elektrárna	
H	Dávkový ekvivalent ionizujícího záření	Sv
ÚRAO	Úložiště radioaktivních odpadů	
P	Výkon	W
RAO	Radioaktivní odpad	
KP	Kontrolované pásmo	
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost	
ŽP	Životní prostředí	
MDA	Minimální detekovatelná aktivita	
ČEZ-EDU	České energetické závody – elektrárna Dukovany	
m	Hmotnost	kg
R	Odpor	Ω
C	Kapacita	F
EU	Evropská unie	

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schéma jaderné elektrárny	10
Obr. 2 Shromažďování odpadů vznikajících na pracovištích s radioaktivními látkami	13
Obr. 3 Schématické znázornění Geiger-Müllerova detektoru	18
Obr. 4 Schéma scintilačního detektoru a spektrometru	19
Obr. 5 Dozimetr - zařízení k měření dávek ionizujícího záření.	20
Obr. 6 Osobní filmový dozimetr používaný pro monitorování pracovníků	21
Obr. 7 Radiometry typové řady RP	24
Obr. 8 Měřicí část zařízení MERLIN	25
Obr. 9 Zařízení MERLIN a venkovní hydraulické zvedací stoly Y-lift	26
Obr. 10. Vývojový diagram měření – část 1	28
Obr. 11. Vývojový diagram měření - část 2.....	29

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Srovnání odpadu z roční produkce uhelné a jaderné elektrárny o výkonu 1 000 MW, všechny údaje jsou v tunách	15
Tab. 6. Třída radiotoxicity a uvolňovací úrovně pro přímo měřitelné radionuklidy.....	32
Tab. 7. Třída radiotoxicity a uvolňovací úrovně pro přímo neměřitelné radionuklidy	32
Tab. 8. Aktivity radionuklidů pro jednotlivé kontejnery určené pro uložení na skládce v Petřůvkách	33
Tab. 9. Aktivity radionuklidů pro jednotlivé kontejnery s kovovým odpadem určeným k přepracování prostřednictvím firmy Paspol, spo. s r.o.	34
Tab. 10. Výpočet efektivní dávky pro jedince z populace v důsledku uvedení odpadu na skládku komunálního odpadu Petřůvky.....	35
Tab. 11. Výpočet efektivní dávky pro jedince z populace v důsledku předání odpadu k dalšímu využití firmě Paspol.....	36

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha P I:** Sudy na směsi odpadů
- Příloha P II:** Plech určený k měření
- Příloha P III:** Kabelová drť určená k měření
- Příloha P IV:** Související legislativa k RAO

PŘÍLOHA P I: SUDY NA SMĚSI ODPADŮ



PŘÍLOHA P II: PLECH URČENÝ K MĚŘENÍ



PŘÍLOHA P III: KABELOVÁ DRŤ URČENÁ K MĚŘENÍ



PŘÍLOHA P IV: SOUVISEJÍCÍ LEGISLATIVA K RAO

Základní dokumenty

Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů

Rozhodnutí ministra průmyslu a obchodu č. 107/1997 ze dne 20. května 1997, kterým zřizuje Správu úložišť radioaktivních odpadů včetně jeho doplnění č. 80/2001

Statut Správy úložišť radioaktivních odpadů, schválený usnesením vlády č. 695/1999

Zásady pro výběr a jmenování členů Rady, které tvoří přílohu statutu

Nařízení vlády č. 416/2002 Sb., ze dne 28. srpna 2002, kterým se stanoví výše odvodu a způsob jeho placení původci RAO na jaderný účet a roční výše příspěvků obcím a pravidla jeho poskytování, novelizováno nařízením vlády č. 46/2005 Sb.

Související dokumenty

Zákon č. 219/2000 Sb., o majetku ČR a jeho vystupování v právních vztazích

Zákon č. 218/2000 Sb., o rozpočtových pravidlech

Zákon č. 106/1999 Sb., o svobodném přístupu k informacím

Zákon č. 123/1998 Sb., o právu na informace o životním prostředí

Zákon č. 62/1988 Sb., o geologických pracích a o Českém geologickém úřadu ve znění pozdějších předpisů

Vyhlášky Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 106/1998 Sb., 317/2002 Sb., 144/1997 Sb., 316/2002 Sb., 315/2002 Sb., 179/2002 Sb., 307/2002 Sb., 214/1997 Sb., 215/1997 Sb., 318/2002 Sb.

Zákon č. 199/1994 Sb., o zadávání veřejných zakázek, ve znění pozdějších novel

Zákon č. 71/1967 Sb., o správním řízení (správní řád)

Zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí

Společná úmluva o bezpečnosti při nakládání s vyhořelým palivem a bezpečnosti při nakládání s radioaktivními odpady