

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zdravotně sociální fakulta



Diplomová práce

**Monitorování radiční zátěže radičních pracovníků
na jaderné elektrárně Temelín**

Vedoucí práce: Ing. Josef Koc, CSc.

Autor: Bc. Klára Cupalová

28. května 2007

Monitoring of the occupational radiation exposure at Temelín nuclear power plant

This work deals with occupational professional exposures at Temelín Nuclear Power Plant. The introductory part is devoted to types of ionising radiation participating on radiation load of workers, values and units and to the essential legislation requests associated with individual monitoring. In the following part characteristics of methods used to measure individual doses of external exposures like film dosimetry, thermoluminescent dosimetry, radio-photoluminescent dosimetry and electronic dosimetry are described. For assessment of the committed effective dose from the internal exposures in vivo monitoring or indirect measuring were used. The possibilities of the occupational dose optimisation were discussed

Results of individual monitoring in 2005 and 2006 and layout of monitoring program are presented in this work. The new monitoring program is based on the active personal dosimeters (EPDs) rather than on the passive ones and covers the period of transformation between them. With respect to the passive dosimeters, EPDs offer some advantages which on one hand contribute to a better exposure control and on the other hand foster the development of a sound culture in radiation protection due to direct feedback of dose information.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne 28. května 2007

.....
podpis studenta

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala svému vedoucímu práce Ing. Josefu Kocovi, CSc, a Ing. Monice Fárníkové za poskytnuté materiály, odborné rady, trpělivost, energii a čas, který mi poskytli. Dále děkuji své rodině za podporu v průběhu celého studia.

OBSAH

ÚVOD	- 8 -
1 SOUČASNÝ STAV	- 9 -
1.1 FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY RADIAČNÍ OCHRANY	- 9 -
1.1.1 <i>Druhy ionizujícího záření podílející se na radiační zátěži radiačních pracovníků</i>	- 9 -
1.1.1.1 Záření α	- 9 -
1.1.1.2 Záření β	- 10 -
1.1.1.3 Záření γ	- 11 -
1.1.1.4 Neutrony	- 11 -
1.1.2 <i>Specifické podmínky prostředí ionizujícího záření na JE Temelín</i>	- 13 -
1.1.2.1 Jaderný reaktor jako zdroj IZ	- 13 -
1.1.3 <i>Veličiny a jednotky</i>	- 16 -
1.1.4 <i>Popis legislativních požadavků na zajištění osobního monitorování</i>	- 21 -
1.1.4.1 Základní pojmy	- 21 -
1.1.4.2 Kategorizace radiačních pracovníků	- 22 -
1.1.4.3 Limity pro radiační pracovníky	- 22 -
1.1.4.4 Náležitosti programu monitorování	- 23 -
1.1.4.5 Referenční úrovně	- 24 -
1.1.4.6 Osobní monitorování	- 25 -
1.2 METODY MĚŘENÍ OSOBNÍCH DÁVEK APLIKOVATELNÉ NA JE TEMELÍN	- 26 -
1.2.1 <i>Zevní ozáření</i>	- 26 -
1.2.1.1 Filmová dozimetrie	- 26 -
1.2.1.2 Termoluminiscenční dozimetrie	- 28 -
1.2.1.3 Radiofotoluminiscenční dozimetrie	- 31 -
1.2.1.4 Elektronická dozimetrie	- 32 -
1.2.2 <i>Vnitřní kontaminace</i>	- 35 -
1.2.2.1 Přímé metody	- 36 -
1.2.2.2 Nepřímé metody	- 39 -

1.2.3	<i>Sledování osobních radiačních dávek na JE Temelín</i>	- 40 -
1.3	MOŽNOSTI OPTIMALIZACE RADIAČNÍ ZÁTĚŽE RADIAČNÍCH PRACOVNÍKŮ	- 40 -
1.3.1	<i>Praktické příklady implementace principu ALARA</i>	- 42 -
2	CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY	- 43 -
3	METODIKA	- 44 -
4	VÝSLEDKY	- 45 -
4.1	SLEDOVÁNÍ PROFESIONÁLNÍCH EXPOZIC RADIAČNÍCH PRACOVNÍKŮ NA JE V OBDOBÍ 2005 AŽ 2006	- 45 -
4.2	NÁVRH PROGRAMU MONITOROVÁNÍ OSOBNÍCH DÁVEK NA JE TEMELÍN	- 49 -
4.2.1	<i>Osobní dávkový ekvivalent Hp(10) – DMC 2000XB</i>	- 49 -
4.2.2	<i>Osobní dávkový ekvivalent Hp(10) – FD</i>	- 51 -
4.2.3	<i>Osobní dávkový ekvivalent Hp(0,07) – DMC 2000XB</i>	- 53 -
4.2.4	<i>Osobní dávkový ekvivalent Hp(0,07) – FD</i>	- 54 -
4.2.5	<i>Ekvivalentní dávka pro končetiny - TLD</i>	- 56 -
4.2.6	<i>Osobní dávkový ekvivalent Hp(10) – DMC 2000GN</i>	- 58 -
4.2.7	<i>Osobní dávkový ekvivalent Hp(10) – TLD neutrony</i>	- 59 -
4.2.8	<i>Osobní dávkový ekvivalent Hp(10) u ostatních osob vstupujících do KP – DMC 2000XB</i>	- 62 -
4.2.9	<i>Osobní dávkový ekvivalent Hp (10) při výjimečném ozáření – DMC 2000GN</i>	- 63 -
4.2.10	<i>Osobní dávkový ekvivalent Hp(10) u osob zasahujících při radiační nehodě nebo radiační havárii – DMC 2000 S, DMC 2000 XB</i>	- 64 -
4.2.11	<i>Orientační stanovení vnitřní kontaminace – Fastscan</i>	- 66 -
4.2.12	<i>Stanovení vnitřní kontaminace – CTP</i>	- 67 -
4.2.13	<i>Stanovení aktivity ¹³¹I ve šž</i>	- 70 -
4.2.14	<i>Objemová aktivita zářičů γ v exkretech</i>	- 72 -
4.2.15	<i>Stanovení objemové aktivity ³H v moči – TriCarb</i>	- 73 -
5	DISKUSE	- 76 -

5.1	VÝSLEDKY MONITOROVÁN PROFESIONÁLNÍCH EXPOZIC NA JE TEMELÍN ZA ROKY 2005 A 2006	- 76 -
5.2	POSOUZENÍ VÝHODNOSTI A NEDOSTATKŮ FILMOVÉ DOZIMETRIE A ELEKTRONICKÉ DOZIMETRIE	- 77 -
5.3	SROVNÁNÍ STÁVAJÍCÍHO A NAVRHOVANÉHO PROGRAMU MONITOROVÁNÍ	- 78 -
6	ZÁVĚR.....	- 80 -
7	LITERATURA	- 81 -
8	KLÍČOVÁ SLOVA.....	- 85 -
9	PŘÍLOHY	

Úvod

Při výběru tématu této diplomové práce jsem se inspirovala svou bakalářskou prací na téma: „Radiální zátěž personálu při angiografii a intervenčních výkonech“ a téma sledování radiální zátěže jsem aplikovala na celou skupinu radiálních pracovníků vykonávajících pracovní činnosti v kontrolovaných pásmech jaderné elektrárny Temelín. Smyslem mé práce bylo posoudit v jakém rozsahu a jakým způsobem jsou naplňovány ze strany provozovatele jaderné elektrárny stávající legislativní požadavky v oblasti zabezpečení monitorování osobních dávek. Na základě tohoto srovnání jsem měla záměr zpracovat vlastní návrh formy a obsahu programu monitorování osobních dávek s cílem orientovat se do budoucna více na možnosti prostředků osobní elektronické dozimetrie využívané v současnosti v omezeném rozsahu a to zejména jako prostředek operativní dozimetrie a prostředek umožňující plánované řízení radiálních prací a tudíž optimalizaci radiálních dávek.

1 Současný stav

Monitorování zevního a vnitřního ozáření je jedním z hlavních prostředků pro zajištění radiační ochrany. Je to cílené měření veličin charakterizujících záření za účelem zajištění optimální úrovně ochrany osob a pracovního či životního prostředí před škodlivými účinky ionizujícího záření. Monitorování se provádí na pracovištích s ionizujícím zářením a v okolí zdrojů ionizujícího záření. Velmi důležitý je převod měřených veličin na veličiny charakterizující zdravotní riziko a jejich hodnocení vzhledem k uplatňování opatření, která ozáření odstraňují, omezují či regulují.

1.1 Fyzikální základy radiační ochrany

1.1.1 Druhy ionizujícího záření podílející se na radiační zátěži radiačních pracovníků

Jaderné zařízení s reaktorem je komplexním zdrojem ionizujícího záření. Radionuklidy vznikají ze stabilních, případně dlouhodobě žijících (^{235}U) nuklidů v jaderné elektrárně různými způsoby, ale pouze za provozu v aktivní zóně jaderného reaktoru. Radionuklidy v primárním okruhu jsou zdrojem externího a potenciálně i vnitřního ozáření pracovníků a prostřednictvím výпустí jsou zdrojem ozáření obyvatelstva.

1.1.1.1 Záření α

Záření alfa tvoří proud heliových jader ${}^4_2\text{He}^{2+}$, která jsou emitována α -labilními nuklidy. V jaderných elektrárnách se tímto procesem rozpadají například nuklidy uranu a všechny transurany z nich vzniklé aktivací. Charakteristickou vlastností α částice je malý dosah.

U přirozených radionuklidů nepřesahuje obvykle energie alfa částic 5,5 MeV, jejich dosahy ve vzduchu jsou řádu 10^{-2}m a v hliníku 10^{-4}m .⁽¹⁴⁾

Při rozpadu odnáší částice α většinu energie, menší část převezme odražené dceřiné jádro, proto má částice α emitovaná daným radionuklidem přesně určenou energii. Pokud nedochází pouze k přechodům mezi základními stavy mateřského a dceřiného jádra, ale i k přechodům mezi excitovanými stavy, je emitováno více energetických linií, ale energetické spektrum je vždy složeno z diskrétních čar. Přeměna α může být do-

provázena emisí záření γ . Doprovodné záření γ může být významné v přírodních přeměnových řadách, kde se radionuklidy nacházejí ve směsi se svými dceřinými produkty, mezi kterými jsou i β -aktivní nuklidy.

Díky svému malému doletu nezpůsobují částice α z hlediska vnějšího ozáření významné riziko (částice α z radionuklidových zdrojů jsou zcela pohlceny ve vrchní odumřelé vrstvě pokožky). Nutností je ovšem provést opatření k zabránění vnitřní kontaminace, při které se částice α dostává přímo do tkáně. Na poškození tkáně má vliv velký lineární přenos energie částic α , ze kterého plyne značná biologická účinnost a vysoká hodnota jakostního faktoru pro stanovení dávkového ekvivalentu.

1.1.1.2 Záření β

Zářením beta rozumíme elektrony (negatrony, β^-), nebo pozitrony (β^+) emitované nuklidy v radioaktivních přeměnách beta. Maximální energie částic beta se pohybují v širokém rozmezí 15 keV až cca 15MeV. Ve srovnání s částicemi alfa má záření beta podstatně větší dosah. Například při energii částic 0,5 MeV činí maximální dosah ve vzduchu pro částice alfa cca 1 mm, pro částice beta 1600mm.⁽¹⁴⁾

Produktem beta přeměny není pouze dceřiné jádro a částice beta (elektron nebo pozitron), ale také neutrino nebo antineutrino. Téměř veškerá energie je rozdělena mezi elektron a neutrino (nebo pozitron a antineutrino). Rozdělení energie může být libovolné, proto je energetické spektrum záření β spojité. Spektrum každého zářiče beta je charakterizováno maximální energií beta částic E_{\max} a nejčastěji zastoupenou hodnotou energie. Stejně jako při rozpadu α může i zde dceřiné jádro vzniknout buď v základním stavu, nebo v jednom či více vzbuzených stavech. Excitační energie je dceřiným jádrem vyzářena ve formě kvanta γ . Pokud se excitační energie jádra nevyzáří ve formě záření γ , ale je předána obalovému elektronu, dojde k emisi konverzního elektronu. Energie těchto elektronů odpovídá energii příslušného přechodu γ zmenšené o jejich vazebnou energii. Excitační energie jádra je předávána s největší pravděpodobností elektronům na orbitách blízkých jádru. Uvolněná místa ve vnitřních slupkách jsou obsazována vnějšími elektrony, vnitřní konverze je tedy doprovázena emisí charakteristického záření X.

Odstínění záření β není závažným problémem, používají se materiály s vyšší hustotou, například hliník. Ve většině situací poskytují dostatečnou ochranu proti externímu beta záření ochranné brýle a ochranný oděv. Záření β tedy představuje riziko poškození živé tkáně zejména při vnitřní kontaminaci.

1.1.1.3 Záření γ

Záření gama je elektromagnetické záření emitované při deexcitaci vzbuzených atomových jader. Emise záření γ doprovází většinu spontánních radioaktivních přeměn, ale i další jaderné reakce pokud dceřiné jádro vzniká ve vzbuzeném stavu. Energetické spektrum záření γ je čárové, protože energetické stavy jader jsou kvantovány a charakteristické pro nuklid, který jadernou přeměnou vznikl.

Fotony záření γ nemají elektrický náboj, takže nemohou přímými elektrickými silami ionizovat atomy. Interakce záření γ s látkou probíhá prostřednictvím fotoelektrického jevu, Comptonova rozptylu a tvorbou elektron-pozitronových párů.

Pole záření γ také představují na většině pracovišť nejdůležitější případy, které je z hlediska radiační ochrany třeba řešit.⁽⁸⁾ Ke stínění fotonového záření jsou nejvhodnější materiály s vysokým protonovým číslem (olovo, wolfram, ochuzený uran). U velkých staveb se z ekonomických důvodů používá především beton a voda. Záření γ se největší měrou podílí na radiační zátěži personálu, jednak zevním ale i vnitřním ozářením. Hlavní zdroje záření γ v jaderném reaktoru jsou uvedeny v tabulce 1. 2.

1.1.1.4 Neutrony

Neutron je elektricky neutrální částice. Volný neutron je nestabilní a rozpadá se na proton, elektron a antineutrino s poločasem cca 11 minut.

Jelikož neutrony nemají elektrický náboj, nemohou přímo ionizovat a vstupují téměř výlučně do interakcí s atomovými jádry. Následkem interakce je uvolnění částic přímo ionizujících (protony, těžší kladně nabitě ionty). Interakce neutronů a atomových jader je často doprovázena emisí kvant gama, které dále vstupuje do interakce s atomy absorpčního prostředí.

Schopnost interakce neutronů s jádry atomů prostředí je závislá především na jejich energii, viz tabulka 1. 1.

Tabulka 1.1 Rozdělení neutronů podle energií⁽¹⁴⁾

Neutrony	Energie
pomalé	<1 keV
chladné	<0,002 eV
tepelné	0,002 eV až 0,5 eV
rezonanční	0,5 eV až 10 ³ eV
o střední energii	1 keV až 500 keV
rychlé	0,5 MeV až 10 MeV
o vysoké energii	10 MeV až 50 MeV
o velmi vysoké energii	>50 MeV

Hlavní zdroje neutronů v jaderném reaktoru jsou uvedeny v tabulce 1. 2.

Tabulka 1.2 Hlavní zdroje neutronů a záření γ v jaderném reaktoru ⁽¹⁵⁾

Záření	Místo vzniku	Energie na 1 štěpení	Časový průběh
Okamžité γ	jaderné palivo	7,8 MeV	úměrný okamžité hustotě výkonu v palivu v době t
Okamžité n	jaderné palivo	5,0 MeV	úměrný okamžité hustotě výkonu v palivu v době t
γ z radiačního záchytu neutronů	komponenty reaktoru, které jsou v toku tepelných neutronů	2 – 8 MeV	úměrný výkonu reaktoru v době t
γ z nepružného rozptylu neutronů	komponenty reaktoru v toku neutronů s větší energií než první vzbuzené stavy jader atomů, z nichž jsou složeny	2 – 8 MeV	úměrný výkonu reaktoru v době t
Zpožděné n	jaderné palivo	zanedbatelná proti energii okamžitých neutronů	závisí na časovém průběhu hustoty výkonu v palivu v intervalu několik minut před dobou t
γ ze štěpných produktů	jaderné palivo	několik MeV	závisí na průběhu hustoty výkonu v palivu po celou dobu, po kterou je palivo v reaktoru
γ z radionuklidů vzniklých aktivací	komponenty reaktoru, které jsou v toku neutronů	závisí na vzniklých radionuklidech	závisí na průběhu příkonu fluence neutronů po dobu rovnou několikanásobku střední doby života daného radionuklidu
Fotoneutrony	komponenty reaktoru obsahující ^2H nebo Be (moderátor, reflektor, chladivo)		závisí na průběhu hustoty toku záření γ

1.1.2 Specifické podmínky prostředí ionizujícího záření na JE Temelín

1.1.2.1 *Jaderný reaktor jako zdroj IZ*

V jaderném reaktoru dochází k interakci neutronů s těžkými jádry v oblasti uranů a transuranů, tj. k štěpení atomových jader ^{235}U . Vstoupí-li do tohoto jádra pomalý neutron, rozštěpí se jádro uranu na dva středně těžké fragmenty (F1 a F2), přičemž se emitují 2 až 3 neutrony: $^{235}\text{U} + \text{n}^0 \rightarrow \text{F1} + \text{F2} + (2-3)\text{n}^0 + \text{Q}$ (energie, zahrnuje i γ). Tyto

fragmenty se rozletí odpudivými Coulombovskými silami a převezmou cca 90% uvolněné energie. Každý z těchto fragmentů velmi rychle vyše neutron, někdy 2 neutrony (tzv. *okamžité neutrony*), a pak při deexcitaci svých vzbuzených hladin i záření γ . Záření γ vznikající během pochodu štěpení se označuje jako *okamžité*, na rozdíl od *následného záření γ* vznikajícího až při radioaktivních přeměnách štěpných produktů. Toto záření může být velmi různě "zpožděno", od mikrosekund až po miliony let, v závislosti na poločasech rozpadu radioaktivních štěpných produktů. Další fotony doprovázejí přeměnu β štěpných produktů. *Okamžitých neutronů* uvolňovaných ihned při štěpení je asi 99% a jejich energie se pohybuje v širokém rozmezí od 0,025eV do zhruba 10MeV. Štěpné fragmenty dávají vznik přeměnovým řadám, složeným z několika radionuklidů β^- , protože i po emisi okamžitých neutronů mají stále přebytek neutronů. Přeměna β^- může v některých případech vést do tak vysokého vzbuzeného stavu dceřiného jádra, že excitační energie postačuje k odtržení neutronu. Tyto *zpožděné* neutrony v množství asi 1% (o energiích v rozmezí cca 0,2-0,6 MeV) jsou emitovány se zpožděním až několika vteřin.

Při interakci neutronů a dalších částic s konstrukčními materiály a technologickými médii v reaktoru dochází k jejich aktivaci a vzniku aktivačních produktů. Tato aktivace je nejvýznamnějším zdrojem sekundárního ionizujícího záření, nazývaného též indukované záření. Sem patří například záření γ z radiačního záchytu neutronů. Tyto fotony jsou z hlediska radiační ochrany nepříjemnou komplikací, protože mají průměrně vyšší energii (než okamžité štěpné fotony nebo fotony z přeměny štěpných produktů), tím i vyšší pronikavost. Dalším nepříznivým faktem je, že vznikají přímo v materiálu stínění. Při odstavení reaktoru dochází k zastavení produkce štěpných fragmentů, okamžitého záření γ a neutronů. Štěpné produkty a produkty aktivace se ale uplatňují i po odstavení reaktoru.

Štěpné produkty difúzí a případnými netěsnostmi v obalech unikají do chladiva, kde se mohou technologickými médii šířit do dalších systémů jaderného zařízení vně jaderného reaktoru. Radiační zátěž personálu je způsobena především radionuklidy vznikajícími v primárním okruhu reaktoru, z čehož plyne, že je nutné jejich obsah a

tvorbu v primárním okruhu minimalizovat. Radionuklidy jsou průběžně anebo periodicky odstraňovány pomocí speciální čistící stanice vod.

Nabitě částice (štěpné fragmenty, částice α , elektrony) mají krátké dosahy a pohltí se v konstrukčních materiálech. Značná pole záření v okolí primárního okruhu, úložišť vyhořelých palivových článků a dalších systémů jaderného zařízení jsou vytvářena zářením γ . Na vytvoření pole záření v blízkosti reaktoru se podílí záření γ společně s neutrony.

Tabulka 1.3 uvádí nejdůležitější izotopy konstrukčních materiálů a čisté vody, které jsou zdrojem indukovaného záření. Druhý sloupec tabulky obsahuje neutronovou jadernou reakci vedoucí ke vzniku izotopu. Ve třetím sloupci je procentuálně uveden výskyt mateřského izotopu v přírodním materiálu, ve čtvrtém sloupci poločas rozpadu vzniklého radioizotopu a v posledním údaje o emitovaném záření.

Tabulka 1.3 Nejdůležitější izotopy vznikající aktivací v aktivní zóně reaktoru ⁽¹⁵⁾

	reakce	%	T1/2	záření
ocel	$^{58}\text{Fe}(n,\gamma)^{59}\text{Fe}$	0,31	45,1 dne	β,γ
	$^{54}\text{Fe}(n,p)^{54}\text{Mn}$	5,84	291 dne	γ
	$^{59}\text{Co}(n,\gamma)^{60}\text{Co}$	100	5,24 roku	β,γ
	$^{50}\text{Cr}(n,\gamma)^{51}\text{Cr}$	4,31	27,8 dne	β,γ
	$^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$	67,76	71,3 dne	β,γ
povlaky	$^{94}\text{Zr}(n,\gamma)^{95}\text{Zr}$	17,4	65 dní	β,γ
	$^{180}\text{Hf}(n,\gamma)^{181}\text{Hf}$	35,22	44,6 dne	β,γ
čistá voda	$^2\text{H}(n,\gamma)^3\text{H}$	0,02	12,26 roku	β
	$^{16}\text{O}(n,p)^{16}\text{N}$	99,76	7,14 s	β,γ

K hlavním zdrojům radioaktivity na vnitřních površích primárního okruhu patří radionuklidy korozních produktů konstrukčních materiálů, které v průběhu odstávek bloků tvoří 80–90 % radiační zátěže personálu jaderné elektrárny. Korozní produkty jsou speciální skupinou aktivačních produktů. Nejvýznamnější radionuklidy korozních

produktů v reaktoru typu VVER jsou ^{58}Co , ^{60}Co , méně významnými jsou ^{54}Mn , ^{59}Fe , ^{51}Cr , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{122}Sb a další.

Materiálové složení konstrukčních materiálů má významný vliv na množství aktivních korozních produktů. Z tabulky 1.3 vyplývá, že kobalt je významným zdrojem indukované radioaktivity, proto je důležitá jeho redukce v materiálech primárního okruhu.

1.1.3 Veličiny a jednotky

Základní veličinou charakterizující interakci záření s látkou je **energie sdělená látce** ε , definovaná podle následujícího vztahu:

$$\varepsilon = Q_1 - Q_2 - \Delta mc^2$$

Q_1 je součet energií všech přímo a nepřímo ionizujících částic (mimo energií klidových), které vstoupily do sledovaného objemu látkového prostředí. Q_2 je součet energií všech částic (mimo energií klidových), které tento prostor opustily. Δm je změna klidové hmotnosti sledovaného objemu, k níž došlo v důsledku reakcí jader nebo elementárních částic uvnitř tohoto objemu a c je rychlost světla. Jednotkou je J .

Střední sdělená energie $\bar{\varepsilon}$ je definována jako nejpravděpodobnější hodnota ε .

Účinek ionizujícího záření na látku určuje **absorbovaná dávka** D , často se užívá pouze termín dávka. Tuto veličinu nelze stanovit samostatně, protože popisuje fyzikální jev v dané látce, a proto musí být uvedena spolu s ní, např. dávka v kůži. Dávka je definována jako podíl střední sdělené energie ionizujícího záření ($d\bar{\varepsilon}$) a hmotnosti objemového elementu (dm) v daném místě ozařované látky. Její jednotkou je gray Gy .

$$D = \frac{d\bar{\varepsilon}}{dm}$$

Dávkový příkon \dot{D} je dávka absorbovaná v daném místě ozařované látky za jednotku času, jako jednotka se používá $Gy s^{-1}$.

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}$$

Veličina **Kerma** K popisuje pole nepřímo ionizujícího záření (fotony, neutrony). Název je odvozen z anglického „ Kinetic Energy Relased in MATter „ – kinetická energie uvolněná v látce. Kerma lze definovat jako v daném bodě určený podíl součtu počátečních kinetických energií dE_K všech nabitých částic uvolněných nenabitými ionizujícími částicemi v elementu látky o hmotnosti dm a této hmotnosti. Kerma se obdobně jako dávka vztahuje k dané látce, např. kerma ve vzduchu. Jednotkou je také gray $Gy = J.kg^{-1}$.

$$K = \frac{dE_K}{dm}$$

Biologický účinek záření závisí na lokální hustotě ionizace. Proto byl zaveden **dávkový ekvivalent** H jako součin absorbované dávky D v uvažovaném bodě tkáně a **jakostního činitele** Q , vyjadřujícího rozdílnou biologickou účinnost různých druhů záření.

$$H = DQ$$

Hodnoty jakostního činitele jsou vyjádřeny ve vztahu k lineárnímu přenosu energie v tabulce 1.4.

Tabulka 1.4 Hodnoty jakostního činitele ⁽⁸⁾

Lineární přenos energie L [keV/m]	jakostní činitel $Q(L)$
méně než 10	1
10 – 100	0,32 L – 2,2
více než 100	300.L ^{-0,5}

V případech, kdy není dostatečně známé energetické spektrum, je možné nahradit hodnotu Q konvenčním **jakostním středním činitelem** Q' . Jeho hodnoty pro různé druhy záření jsou uvedeny v tabulce 1.5. Jakostní činitel (i jakostní střední činitel) je bezrozměrný, proto je jednotkou dávkového ekvivalentu $J.kg^{-1}$, pro odlišení od dávky se používá název sievert Sv.

Tabulka 1.5 Hodnoty středního jakostního činitele⁽⁸⁾

Druh záření	Q'
fotony s energiemi většími než 30 keV	1
záření β tritia	2
Neutrony	25
Protony a těžší ionty	25
částice α	25

Pro praktické monitorování osob se používá operační veličina **osobní dávkový ekvivalent $H_P(d)$** , což je dávkový ekvivalent v daném bodě pod povrchem těla v hloubce tkáně d . Hodnota této referenční hodnoty se musí udávat současně s osobním dávkovým ekvivalentem. Praktické měření $H_P(d)$ se provádí dozimetrem s ekvivalentním filtrem měkké tkáně, který se nosí na povrchu těla. Jednotkou je sievert Sv.

Ekvivalentní dávka H_T je definována vztahem:

$$H_T = \sum_R W_R D_{T,R}$$

W_R je radiační váhový faktor, $D_{T,R}$ střední absorbovaná dávka ve tkáni či orgánu, způsobená zářením druhu R . *Radiační váhový faktor* vyjadřuje rozdílné biologické účinky různých druhů záření, stejně jako jakostní činitel Q , ale bere navíc další okolnosti ozáření (např. orientaci těla vůči směru záření). Z tohoto důvodu nejsou hodnoty Q a W_R zcela totožné. Hodnoty radiačního váhového faktoru jsou uvedeny v tabulce 1.6. Jednotkou ekvivalentní dávky je sievert Sv.

Tabulka 1.6 hodnoty radiačního váhového faktoru ⁽⁸⁾

Druh záření a energetický rozsah	W_R
fotony všech energií	1
elektrony a miony všech energií	1
neutrony o energiích do 10 keV	5
neutrony o energiích od 10 keV až 100 keV	10
neutrony o energiích od 100 keV až 2 MeV	20
neutrony o energiích od 2 MeV až 20 MeV	10
neutrony o energiích nad 20 MeV	5
protony s energií 2 MeV	5
částice α , štěpné fragmenty, těžká jádra	20

Jelikož různé tkáně a orgány v těle jsou různě citlivé k záření a jejich poškození vede k různě závažným následkům pro celý organismus, zavádí se pro účely radiační ochrany veličina **efektivní dávka** E . Ta vyjadřuje součet ekvivalentních dávek H_T v jednotlivých tkáních či orgánech lidského těla, vážených tkáňovým váhovým faktorem W_T vyjadřujícím míru závažnosti ozáření toho kterého orgánu v celkovém ozáření.

$$E = \sum_T W_T H_T$$

Hodnoty W_T jsou shrnuty v tabulce 1.7. Jednotkou efektivní dávky je opět sievert Sv . Výhodou efektivní dávky je možnost vyjádření radiační zátěže jediným číslem i při nerovnoměrném ozáření, či ozáření jen určitých orgánů. To umožňuje porovnávat radiační zátěže osob z nejrůznějších zdrojů.

Tabulka 1.7 Hodnoty tkáňových váhových faktorů ⁽⁸⁾

Tkáň nebo orgán	W_T
Gonády	0,20
Červená kostní dřeň, tlusté střevo, plíce, žaludek	0,12
Močový měchýř, mléčná žláza, játra, jícen, štítná žláza	0,05
kůže, povrchy kostí	0,01
ostatní orgány a tkáň	0,05

Kolektivní ekvivalentní dávka S_T , nebo **kolektivní efektivní dávka S** se stanoví jednoduše sečtením ekvivalentních nebo efektivních dávek všech jednotlivců v dané skupině. Tyto veličiny se používají například při hodnocení radiačních havárií.

Kromě ozáření ze zdrojů umístěných vně lidského těla připadá v úvahu i vnitřní ozáření, tj. ozáření radionuklidů, které se dostanou dovnitř organismu. Při stanovování limitů ozáření je pak třeba brát v úvahu jak efektivní či ekvivalentní dávku z vnějšího ozáření, tak i úvazek efektivní, resp. ekvivalentní dávky z vnitřních zářičů. V praxi jsou ovšem vzhledem ke snazší měřitelnosti užívány hodnoty příjmu radionuklidů, jejich konverzní faktory na úvazek efektivní dávky jsou tabelovány (vyhláška č. 307/2002 Sb. v platném znění).

Pro účely limitování vnitřního ozáření byl zaveden **úvazek efektivní dávky $E(\tau)$** , jako suma součinů úvazků ekvivalentních dávek a tkáňových váhových faktorů.

$$E(\tau) = \sum_T W_T H_T(\tau)$$

Je tedy nutné definovat **úvazek ekvivalentní dávky $H_T(\tau)$** , což je časový integrál přes čas τ z příkonu ekvivalentní dávky ve tkáni či orgánu T , který jedinec obdrží po příjmu radioaktivní látky.

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \dot{H}_T(t) dt$$

Tato doba τ činí 50 roků pro příjem radionuklidů u dospělých a období do 70 let věku pro příjem radionuklidů u dětí.

1.1.4 Popis legislativních požadavků na zajištění osobního monitorování

Podle zákona č. 18/1997 Sb., O mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření, v platném znění a související vyhlášky SUJB č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně v platném znění je každý, kdo užívá zdrojů ionizujícího záření, povinen v mezích své působnosti učinit všechna potřebná opatření k ochraně zdraví svého, svých spolupracovníků i ostatních osob. Výše uvedené legislativní dokumenty stanovují základní pravidla pro práci se zdroji ionizujícího záření, zejména jsou důležité cíle radiační ochrany – vyloučení deterministických účinků a omezení stochastických účinků na minimum, dále principy práce se zdroji ionizujícího záření – zdůvodnění činností (riziko versus profit), optimalizace (ozáření lidí versus náklady na jeho zmenšení) a limitování (nepřekročitelnost limitů stanovených legislativou).

1.1.4.1 *Základní pojmy*

Ionizující záření je přenos energie v podobě částic nebo elektromagnetických vln vlnové délky nižší nebo rovnající se 100 nanometrů, anebo s frekvencí vyšší nebo rovnající se $3 \cdot 10^{15}$ Hz, který je schopen přímo nebo i nepřímo vytvářet ionty.

Radiačním pracovníkem je každá fyzická osoba vystavená profesnímu ozáření; není přítom podstatné, zda se jedná o zaměstnance či o fyzické osoby vykonávající činnost v jiném právním vztahu.

Monitorování je cílené měření veličin charakterizujících ozáření, pole záření nebo radionuklidy a hodnocení výsledků těchto měření pro účely usměrňování ozáření.

Osobní dávky jsou souhrnné označení pro veličiny charakterizující míru zevního i vnitřního ozáření jednotlivé osoby, zejména efektivní dávku, úvazek efektivní dávky a ekvivalentní dávky v jednotlivých orgánech nebo tkáních; osobní dávky se měří osobními dozimetry.

Zevní ozáření je ozáření osoby ionizujícím zářením ze zdrojů ionizujícího záření, které se nacházejí mimo ni.

Vnitřní ozáření je ozáření osoby ionizujícím zářením z radionuklidů vyskytujících se v těle této osoby, zpravidla jako důsledek příjmu radionuklidů požitím nebo vdechnutím.

1.1.4.2 Kategorizace radiačních pracovníků

Pro účely monitorování a lékařského dohledu se radiační pracovníci podle ohrožení zdraví ionizujícím zářením zařazují do kategorie A a B na základě očekávaného ozáření za běžného provozu a při předvídatelných poruchách a odchylkách od běžného provozu, s výjimkou ozáření v důsledku radiační nehody nebo havárie.

Pracovníci kategorie A mohou obdržet efektivní dávku vyšší než 6 mSv ročně nebo ekvivalentní dávku vyšší než tři desetiny limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetiny. V kontrolovaných pásmech JE Temelín pracují pouze radiační pracovníci kategorie A.

1.1.4.3 Limity pro radiační pracovníky

Funkce dávkových limitů nyní spočívá ve vztahu k deterministickým účinkům v zábraně překročení jejich dávkového prahu a u účinků stochastických zabránit přílišným nerovnostem v jejich pravděpodobnosti vzniku. Vyhláška č. 307/2002 Sb. v platném znění, rozlišuje několik druhů základních limitů jako závazných kvantitativních ukazatelů, jejichž překročení není podle atomového zákona přípustné, a dále odvozené limity, omezující stejné případy ozáření jako základní limity pro pracovníky, ale vyjádřené ve snáze měřitelných veličinách. Stanovené limity se vztahují na součet dávek ze zevního i vnitřního ozáření a na všechny pracovní činnosti vykonávané u jednoho nebo více držitelů povolení. Hodnoty platných limitů pro radiační pracovníky jsou uvedeny v tabulce 1.8.

Tabulka 1.8 Hodnoty základních limitů

veličina	základní limity pro radiační pracovníky	
	mSv za 5 po sobě jdoucích let	mSv / rok
$\Sigma E + \Sigma E_{50}$ ¹⁾	100	50
$H_{\text{oční čočka}}$ ²⁾	-	150
$H_{\text{kůže}}$ ³⁾	-	500
$H_{\text{končetiny}}$ ⁴⁾	-	500

- 1) součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření
- 2) ekvivalentní dávka v oční čočce
- 3) průměrná ekvivalentní dávka v 1 cm² kůže
- 4) ekvivalentní dávka od prstů ruky až k předloktí a od chodidel až ke kotníkům

Pro profesní ozáření se nepřekročení limitů ozáření považuje za dostatečně prokázané, nejsou-li překročeny odvozené limity, které jsou vyjádřené v měřitelných veličinách. Odvozené limity pro zevní a vnitřní ozáření jsou uvedeny v tabulce 1.9.

Tabulka 1.9 Odvozené limity

ozáření	limitovaná veličina	odvozený limit (mSv/rok)
zevní	$H_p(0,07)$ ¹⁾	500
	$H_p(10)$ ¹⁾	20
vnitřní	příjem radionuklidů požitím	podíl 20 mSv a konverzního faktoru h_{ing} pro příjem daného radionuklidu požitím
	příjem radionuklidů vdechnutím	podíl 20 mSv a konverzního faktoru h_{inh} pro příjem daného radionuklidu vdechnutím

1) osobní dávkový ekvivalent v hloubce 0,07mm a 10 mm

Při současném zevním i vnitřním ozáření se považují limity pro radiační pracovníky za nepřekročené, platí-li: $H_p(0,07) \leq 500$ mSv a současně $H_p(10) + \sum h_{j,inh} I_{j,inh} + \sum h_{j,ing} I_{j,ing} \leq 20$ mSv. $H_p(0,07)$, popř. $H_p(10)$ je roční osobní dávkový ekvivalent v hloubce 0,07 mm, popř. 10 mm. $I_{j,inh}$ ($I_{j,ing}$) je roční příjem jednotlivého radionuklidu vdechnutím (požitím) a $h_{j,inh}$ ($h_{j,ing}$) je konverzní faktor pro příjem jednotlivého radionuklidu vdechnutím (požitím) radiačním pracovníkem.

1.1.4.4 Náležitosti programu monitorování

Program monitorování (PM) se zpravidla rozděluje na čtyři části, monitorování pracoviště, osobní monitorování, monitorování výpustí a monitorování okolí.

Program monitorování obsahuje vymezení veličin, které budou monitorovány, způsob, rozsah a frekvence měření, návody na vyhodnocování výsledků měření, hodnoty referenčních úrovní a přehled příslušných opatření při jejich překročení, specifikaci metod měření, specifikaci používaných typů měřicích přístrojů a pomůcek a jejich parametrů. Program monitorování musí zahrnovat jednak monitorování pro běžný provoz, tak i pro předvídatelné odchylky od běžného provozu, ale i pro případy radiačních nehod a radiačních havárií.

Navržený program musí být zpracován takovým způsobem a v takovém rozsahu, aby za provozu pracoviště bylo umožněno ověření požadavků limitování ozáření, prokazování, že radiační ochrana je optimalizována, a zajištění dalších požadavků na bezpečný provoz pracovišť, zejména včasné zjištění odchylek od běžného provozu. Monitorování může být zavedeno jako rutinní, periodické nebo operativní pro určité činnosti. Dojde-li ke změnám, které se týkají programu monitorování, musí se program aktualizovat.

1.1.4.5 Referenční úrovně

Referenční úrovně jsou hodnoty nebo kritéria rozhodné pro určité předem stanovené postupy nebo opatření a jsou uvedeny v programu monitorování. Rozeznáváme tři stupně referenčních úrovní: záznamové, vyšetřovací a zásahové úrovně. Tyto úrovně jsou zpravidla odvozeny od stanovených limitů pro radiační pracovníky.

Při překročení záznamových úrovní se údaj zaznamenává a eviduje. Tyto úrovně oddělují hodnoty zasluhující pozornost a bezvýznamné hodnoty. Záznamové úrovně se zpravidla stanovují tak, aby odpovídaly jedné desetinné limitů, a aby byly větší než nejmenší detekovatelná hodnota měřené veličiny.

Překročení vyšetřovacích úrovní je podnětem k následnému šetření o příčinách a možných důsledcích. Stanovení vyšetřovacích úrovní je zpravidla odpovídající třem desetinnám limitů ozáření nebo jako horní mez obvykle se vyskytujících hodnot.

Při překročení zásahových úrovní je potřeba zahájit nebo zavést opatření ke změně. Pro danou veličinu nebo parametr může být stanoveno i několik na sebe navazujících zásahových úrovní, které odpovídají postupně navazujícím zásahům podle růstu

významu výkyvu této veličiny. Zásahové úrovně vymezené v programu monitorování mají přesně uvedený zásah, a jakým postupem se o něm rozhoduje.

1.1.4.6 Osobní monitorování

Osobní monitorování slouží k určení osobních dávek sledováním, měřením a hodnocením individuálního zevního i vnitřního ozáření jednotlivých osob.

Osobní monitorování je zajišťováno pro všechny pracovníky kategorie A a pro osoby, které podle vnitřního havarijního plánu zasahují při radiačních nehodách nebo živelních pohromách, pokud podmínky k povolení nebo program monitorování nestanovuje jinak. Osobní dozimetr pracovníků kategorie A je vyhodnocován každý měsíc. Vyhodnocování je prováděno pomocí oprávněné dozimetrické služby.

Pokud program monitorování nestanovuje jinak, je osobní dozimetr nošen na přední levé straně hrudníku (referenční místo). Jestliže z takto umístěného dozimetru nelze odhadnout efektivní a ekvivalentní dávky, pro které jsou stanoveny limity, vybavuje se pracovník dalším dozimetrem, který odhad obdržené dávky umožní.

V případě, že dozimetr neměří všechny druhy záření, podílející se na zevním ozáření pracovníka, je nutno jej vybavit dalším dozimetrem, který tento nedostatek odstraní.

Vybavení pracovníků operativními dozimetry umožňujícími signalizaci nastavené úrovně se provádí na pracovištích, kde nelze vyloučit radiační nehodu v důsledku jednorázového zevního ozáření. Může-li jednorázové ozáření překročit pětinasobek limitů pro radiační pracovníky, pak musí monitorování umožnit stanovení dávek a jejich distribuci v těle pracovníků včetně rekonstrukce nehody. Jestliže příkon dávkového ekvivalentu může překročit 1 mSv/h, musí být radiační pracovníci vybaveni rovněž operativními (signálními, přímoodečítacími) osobními dozimetry.

U pracovníků, kteří mohou být na pracovišti vnitřně ozáření, se příjmy radionuklidů (RN), popřípadě úvazky efektivní dávky od vnitřního ozáření zjišťují měřením aktivity radionuklidů v těle pracovníka nebo v jeho exkrettech. A pomocí modelů dýchacího traktu, zažívacího traktu a kinetiky příslušných prvků se převádí na příjem. Pro přepočet

aktivit přijatých RN na úvazek efektivní dávky se používají konverzní faktory, které jsou uvedeny v tabulkách přílohy č. 3 vyhlášky 307/2002 Sb., v platném znění.

Okamžité vyhodnocení osobních dozimetrů a dozimetrické hodnocení se provádí v případě podezření, že došlo k neplánovanému jednorázovému ozáření pracovníka.

Zaměstnavatel musí radiačním pracovníkům zajistit přístup k výsledkům jejich osobního monitorování včetně výsledků měření a k odhadům dávek.

1.2 Metody měření osobních dávek aplikovatelné na JE Temelín

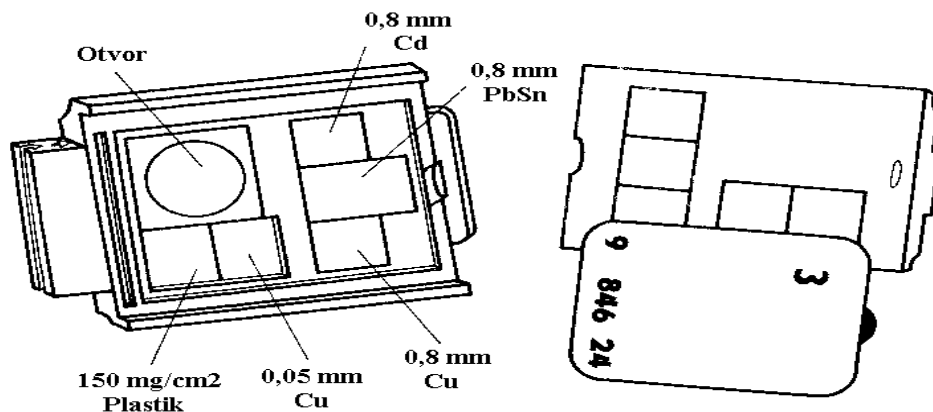
Na jaderném zařízení musí být pokryto stanovení dávek ze zevního i vnitřního ozáření. Před zamýšlenou činností se v daném místě provádí vyhodnocení radiační situace, podle které jsou pracovníci vybaveni ochrannými pomůckami a dozimetrickými prostředky. Po ukončení každé činnosti jsou dávky vyhodnocovány a sledovány.

1.2.1 Zevní ozáření

Měření zevního ozáření se provádí pomocí osobních dozimetrů, které radiační pracovníci nosí během všech prací s ionizujícím zářením a pobytu v kontrolovaném pásmu. Osobní dozimetry jsou nošeny na referenčním místě těla, tj. na levé straně hrudníku na povrchu oděvu resp. ochranných pomůcek. Nastávají-li v praxi situace, kdy mohou být výrazně více ozářeny jiné části těla, je pracovník vybaven přídatným dozimetrem. Prstové termoluminiscenční dozimetry se užívají při pracích, při nichž dochází k vyšší radiační zátěži rukou. Nosí se na zevní straně prsteníku více exponované ruky. Pokud lze předpokládat výrazně rozdílnou expozici obou rukou, doporučuje se vybavit takové pracovníky dvěma prstovými dozimetry.

1.2.1.1 Filmová dozimetrie

Filmový dozimetr (FD) (viz obr. 1.1) poskytuje informace o osobním dávkovém ekvivalentu od fotonového záření, elektronů a tepelných neutronů, druhu a energii záření, směru a o případné kontaminaci.



Obrázek 1.1 Filmový dozimetr⁽¹³⁾

Princip metody spočívá ve skutečnosti, že působením ionizujícího záření vzniká latentní obraz, který lze vyvolávacím procesem zviditelnit a vzniklé zčernání (optická hustota je mírou ozáření filmu).⁽¹⁶⁾

Fotografická emulze, tvořená halogenidy stříbra, dokáže působením vyvolávacího procesu zesílit původní záznam až 10^9 krát, což je mimořádná účinnost ve srovnání s elektronickými přístroji, které jsou vesměs podstatně náročnější.⁽¹⁶⁾

Filmový dozimetr (FD), obrázek 1.1 sestává z dozimetrické kazety, která obsahuje na přední i zadní části (vnitřní straně) filtry. Filtry kazet dozimetrických filmů používaných na ETE jsou následující: 0,8 mm Cu 0,05 mm Cu jeden plastický filtr a prázdné okénko (pro záření beta a X); 0,8 mm PbSn (pro energie fotonů větší než 100 keV); 0,8 mm Cd (pro tepelné neutrony). Tepelné neutrony při absorpci v Cd produkují gama záření, které zvyšuje zčernání filmu pod tímto filtrem. Rozdíl optických hustot pod filtry Cd a PbSn je pak úměrný dávce od tepelných neutronů. Dozimetr obsahuje dvojici filmů FOMA personal monitoring film se speciální emulzí citlivou na IZ. Rozměry filmů jsou 30 x 40 mm. Filmy jsou baleny do neprůsvitných PE obalů. Každá takto zabalená dvojice obsahuje vysoce citlivý (R-10) a málo citlivý (tzv. havarijní) film (R-2). Dozimetrické filmy jsou uchovávány při teplotě cca 10° C.

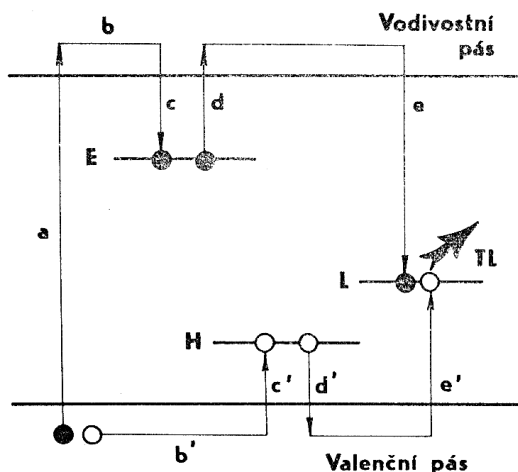
Technické parametry: Rozsah měření je 0,1 – 40 mSv citlivý film (R10)

40 – 1600 mSv pro havarijní film (R2)

Energetický rozsah je $50 - 7 \cdot 10^3$ keV pro záření gama,
 $10^{-6} - 3 \cdot 10^{-4}$ pro neutrony

1.2.1.2 Termoluminiscenční dozimetrie

Termoluminiscenční dozimetrie je úspěšnou a rozšířenou metodou, používanou i v rámci JE Temelín.

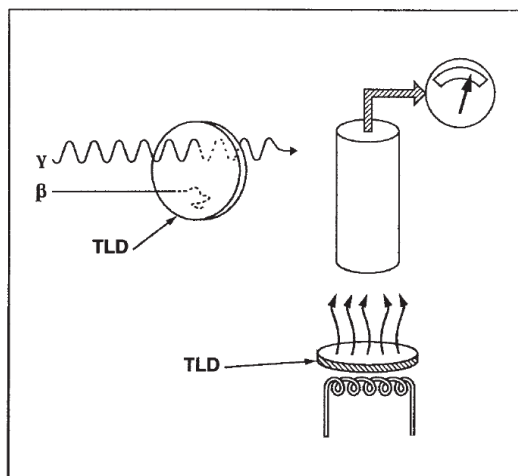


Obrázek 1.2 Model přechodů při termoluminiscenci⁽¹⁶⁾

Legenda k obrázku: E, H – záchytná centra; L – luminiscenční centrum

Procesy probíhající v TL (termoluminiscenčním) materiálu při působení IZ lze popsat pomocí modelu na obrázku 1.2. Absorpce energie IZ v materiálu vede k uvolnění elektronů z valenčního do vodivostního pásu (a). Volné elektrony se v krystalu mohou pohybovat (b), ale také mohou být zachyceny v záchytných centrech (c). Uvolněním elektronu z valenčního pásu dochází ke vzniku díry, ta se obdobně jako elektron může pohybovat (b') a být zachycena v záchytných centrech (c'). Zachycený elektron zůstává v pasti, dokud nezíská dostatečnou energii. Energie potřebná k uvolnění je závislá na hloubce pasti. Při zahřívání získává elektron energii potřebnou pro uvolnění (d). Obdobná situace je u zachycených děr (d'). V luminiscenčních centrech mohou uvolněné elektrony a díry rekombinovat při současně emisi UV nebo viditelného světla jako přebytečné energie. Energie vyzařovaného světla, je úměrná energii ionizujícího záření po-

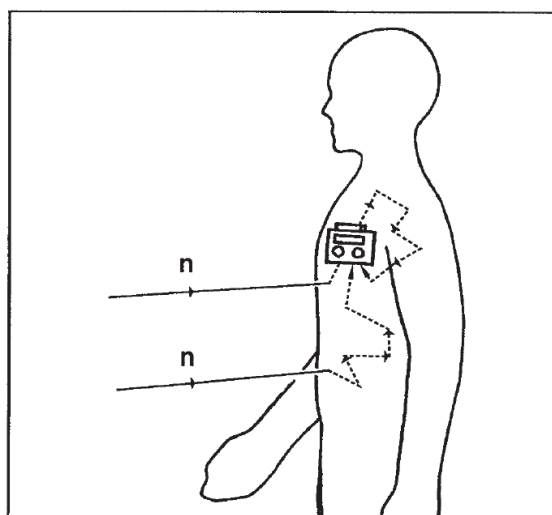
hlčeného v látce. Detekce vyzářené energie je zpravidla prováděna fotonásobičem (viz obrázek 1.3). Dále jsou popsány TLD používané na JE Temelín.



Obrázek 1.3 princip TLD ⁽¹⁸⁾

Termoluminiscenční dozimetrie – měření termálních a intermediálních neutronů

TL albedo-dozimetry, jsou založeny na detekci neutronů rozptýlených a zpětně odražených v lidském těle, které vstupující ze zadního poloprostoru do detektoru umístěného na těle. Tělo pracovníka slouží jako moderátor pro snížení energií středních a rychlých neutronů na energii tepelných neutronů. (viz obrázek 1.4)



Obrázek 1.4 Detekce neutronů albedo dozimetrem ⁽¹⁸⁾

Legenda k obrázku: n-neutron

Dozimetr je tvořený dvojicí ${}^6\text{LiF}$ a ${}^7\text{LiF}$ detektorů. Detektory mají různou citlivost k neutronům – účinný průřez reakce (n, α) na Li-6 je o několik řádů vyšší než na Li-7, avšak prakticky stejnou citlivost k záření gama. Odezva albedo-dozimetru je silně energeticky závislá. Výhodou albedo – dozimetru na bázi dvojice ${}^6\text{LiF}$ a ${}^7\text{LiF}$ je skutečnost, že vedle odhadu dávky od neutronů lze získat i rozumný odhad dávky od záření gama právě využitím již zmíněné rozdílné citlivosti k neutronům.

TLD (termoluminiscenční dozimetr) pro měření dávkového ekvivalentu neutronů se skládá z 4-prvkové karty, kazet a upínacího pásku nebo špendlíku. Termoluminiscenční karta je nerozebíratelná sestava 4 termoluminiscenčních prvků uchycených v duralovém plíšku. Kazeta slouží k filtraci a změně energetického spektra záření dopadajícího na TL materiál, k uložení termoluminiscenční karty a k připevnění dozimetru na oděv. Neutronové dozimetry musí používat pracovníci, kteří vykonávají pracovní činnosti v ochranné obálce (kontejnmentu) za provozu bloku.

Technické parametry: Typ detektoru: TLD 600 LiF a TLD 700 LiF

Rozsah měření: 0,3 mSv – $5 \cdot 10^3$ mSv

Energetický rozsah: 0,025 – $1 \cdot 10^3$ keV

Termoluminiscenční dozimetr – náramek

TLD pro měření dávkového ekvivalentu gama končetin se skládá z 1-prvkového dozimetru (chipstrate), plastového pouzdra a upínacího pásku. Vlastní dozimetr (chipstrate) je složen z plastového pásku s čárovým kódem, na němž je nalepen TL prvek. Chipstrate se vkládá se do pouzdra tak, aby v průhledné části byl čitelný čárový kód. Plastové pouzdro slouží k ochraně dozimetru před poškozením a znečištěním. Upínací pásek slouží k připevnění dozimetru na tělo (na zápěstí, kotník).

Technické parametry: Typ detektoru: TLD 100, LiF

Rozsah měření: 0,05 mSv – 1000mSv

Energetický rozsah: 50 – $2 \cdot 10^3$ keV

Termoluminiscenční dozimetr s AIP detektorem

TL dozimetry se používají také v prstových dozimetrech. Prstový termoluminiscenční dozimetr se skládá ze skleněného termoluminiscenčního detektoru a pouzdra z plastické hmoty ve tvaru prstenu a kompenzačního filtru.

TLD lze používat jako operativní doplňkový prostředek pro sledování externího ozáření. Termoluminiscenční dozimetr pro měření dávkového ekvivalentu gama se skládá z 1-prvkového dozimetru, diskové AIP (aluminofosfátové) sklo, kazety a upínacího špendlíku. Kazeta zajišťuje filtraci záření – olověným filtrem s výřezem ve formě křížku a k ochraně dozimetru před poškozením, znečištěním a k připevnění dozimetru na oděv.

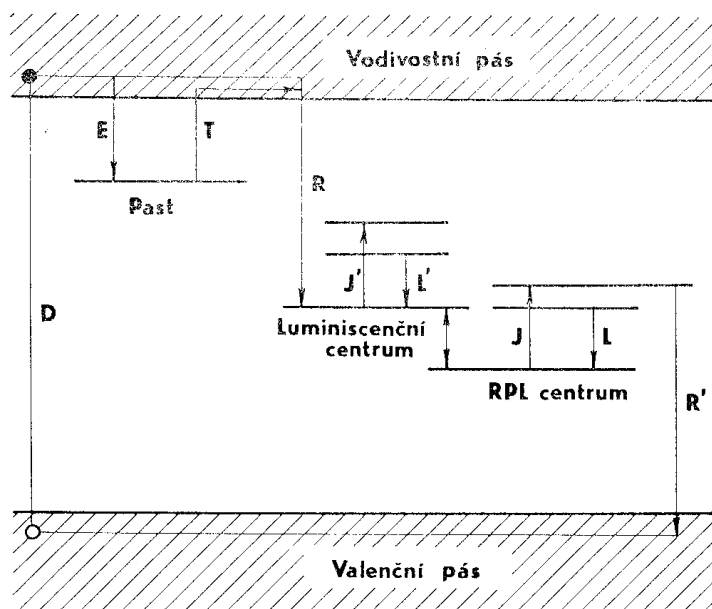
Technické parametry: Typ detektoru: TLD – aluminofosfátové sklo

Rozsah měření: 0,2 mSv – 10 Sv

Rozsah záření: 30 keV – 15 MeV pro fotonové záření

1.2.1.3 Radiofotoluminiscenční dozimetrie

Pro radiofotoluminiscenční dozimetrii jsou používána fosfátová skla s uměle vytvořenými poruchami v krystalové mřížce pomocí iontů stříbra.



Obrázek 1.5 schematický pásový diagram procesů při radiofotoluminiscenci ⁽¹⁶⁾

Elektrony uvolněné ionizujícím zářením jsou přemísťovány do vodivostního pásu (D), viz obrázek 1.5. Zde mohou být částečně zachyceny kationty stříbra nebo složenými centry odpovědnými za luminiscenci látky (R), a částečně mohou být zachyceny pastmi, které jsou z hlediska luminiscence neúčinné (E). Při zachycení elektronu v luminiscenčním centru se toto centrum změní na radiofotoluminiscenční. Z pastí mohou být elektrony tepelnými procesy opět vyprazdňovány (T) a následně zachyceny luminiscenčním centrem (R). V neozářených sklech dochází k excitaci a luminiscenci přechody J' a L' . Přechody J a L v RPL centrech odpovídají excitaci a radiofotoluminiscenci v ozářených sklech. Rekombinace elektronů z excitovaného stavu RPL centra a elektronové vakance v děrových pastech (R') zdůvodňuje fading a vymazání signálu působením UV světla.

Po ozáření skla vzniká optická absorpce v ultrafialové oblasti díky vzniku nových center. Optická excitace těchto RPL center způsobuje oranžovou luminiscenci skla. Intenzita luminiscenčního světla je úměrná dávce působícího záření.

Mezi výhody RPLD patří velmi široký rozsah měření, nízký fading i při zvýšených teplotách, možnost provádět dílčí odečty bez ztráty informace o celkovém ozáření, protože při měření nedochází ke zničení vzniklých center.

Na JE Temelín je RPLD využívána pro osobní monitorování a pro monitorování pracoviště.

Technické parametry: Typ detektoru: AIP skla aktivovaná stříbrem

Rozsah měření: $1 \mu\text{Sv} - 10 \text{ Sv}$

Energetický rozsah: $12 - 8.10^3 \text{ keV}$

1.2.1.4 Elektronická dozimetrie

Elektronický osobní (personální) dozimetr (EPD) umožňuje průběžné sledování obdržené dávky a akustickou a optickou signalizaci při překročení nastavené výstražné úrovně dávky nebo dávkového příkonu. EPD se nosí také na referenčním místě (přední levá strana hrudníku).

Elektronický osobní dozimetr umožňuje nastavit několik signálních úrovní. Do příslušného dozimetru jsou hodnoty signálních úrovní naprogramovány při přihlašování

v terminálu na základě zadaných kódů a činností. Nespornou výhodou těchto dozimetrů při operativním monitorování je, že síťové propojení přihlašovacích terminálů a administrativních stanic v Systému elektronické osobní dozimetrie (SEOD) zajišťuje okamžité informace o denních dávkách jednotlivců a o kolektivní dávce.

DMC 2000 XB

Osobní elektronický dozimetr DMC 2000 XB viz obrázek 1.6, pracuje na principu polovodičových Si-detektorů. Je schopný detekovat záření gama, X a beta. Měří, zobrazuje a ukládá jak hloubkový, tak povrchový dávkový ekvivalent. LCD displej v horní části dozimetru zřetelně zobrazuje dávku nebo dávkový příkon. EPD má dvě signální úrovně, výstrahu a alarm, pro veličiny Hp(10), Hp(0,07). Signalizace je akustická a rovněž vizuální na displeji. Rozměrově malý a lehký osobní dozimetr může být nošen uživatelem kdekoliv, kde je potřeba a po celou dobu průběžně a spolehlivě registrovat akumulovanou dávku. Technické parametry DMC 2000 XB jsou následující:

Rozsah měření: dávka $1\mu\text{Sv}$ -10 Sv,

dávkový příkon $10\ \mu\text{Sv/h}$ – 10 Sv/h

Energetický rozsah: Gama a X-záření 20 keV – 6 MeV

Beta Estř $> 60\text{keV}$



Obrázek 1.6 DMC 2000 XB ⁽³⁾

DMC 2000 GN

Výhodou elektronického osobního dozimetru DMC 2000GN viz obrázek 1.7, je detekce záření gama a neutronů. Technologie detekce neutronů je založena na samostatné diodě. Detektor je citlivý od tepelných neutronů, přes střední energie až po vysoce energetické neutrony bez ovlivnění zářením gama. Také tento EPD umožňuje nastavení signálních úrovní. Technické parametry DMC 2000GN jsou následující.

Neutrony: zobrazená dávka: 1 μSv - 10 Sv

rozsah měření: 10 μSv - 10 Sv

zobrazený dávkový příkon: 10 $\mu\text{Sv/h}$ - 10 Sv/h

energetická rozsah: 0.025 eV - 15 MeV

Gama: zobrazená dávka: 1 μSv - 10 Sv

zobrazený dávkový příkon: 0,1 $\mu\text{Sv/h}$ - 10 Sv/h

energetický rozsah: 50 keV - 6 MeV



Obrázek 1.7 DMC 2000 GN ⁽¹⁾

DMC 2000 S

Osobní elektronický dozimetr DMC 2000 S viz obrázek 1.8, měří, ukládá a zobrazuje hloubkový dávkový ekvivalent Hp(10). Dozimetr je vybaven LCD displejem v horní části dozimetru a umožňuje nastavení signálních úrovní.

Rozsah měření: dávka 1 μSv - 10 Sv

dávkový příkon 10 $\mu\text{Sv/h}$ - 10 Sv/h

energetický rozsah: 50 keV - 6 MeV



Obrázek 1.8 DMC 2000 S ⁽²⁾

1.2.2 Vnitřní kontaminace

Monitorování vnitřní kontaminace není technicky stejně snadno proveditelné jako u zevního ozáření. Je možno zjišťovat aktivitu přímo v organismu, využít nepřímého stanovení prostřednictvím vylučovaných RN v exkretech, nebo měření aktivity ovzduší v pracovním prostředí. Získané výsledky jsou potom podkladem pro odhad množství přijatých radionuklidů. Ke správnému odhadu je nezbytné znát biologické vlastnosti a chování jednotlivých radionuklidů v organismu a použít správné modely pro vyhodnocování.

Výběr metod monitorování závisí na vlastnostech RN (či směsi radionuklidů), které mohou být zdrojem vnitřní kontaminace a požadované citlivosti. Monitorování

vnitřní kontaminace se vyžaduje u oprav a údržby spojených s mechanickými pracemi v primárním okruhu a v reaktoru, kde lze očekávat vnitřní kontaminaci zejména aktivacemi a případně i štěpnými produkty. Na rozdíl od zevního ozáření je u vnitřní kontaminace nejnebezpečnější záření alfa a beta, protože má o několik řádů větší ionizační schopnost než fotony a neutrony a také v orgánech není odstíněno např. oděvem, kůží apod.

Monitorování vnitřní kontaminace pracovníků v kontrolovaném pásmu JE Temelín je rozděleno na periodické a operativní monitorování.

Do skupiny periodického monitorování, patří pracovníci pravidelně vstupující do prostor nebo vykonávající činnosti se zvýšeným rizikem vnitřní kontaminace, měření probíhá jednou za měsíc nebo jednou ročně.

Operativní monitorování vnitřní kontaminace se provádí u prací s předpokládaným rizikem vnitřní kontaminace, při vážném podezření na vnitřní kontaminaci (úraz s otevřeným poraněním v kontrolovaném pásmu, významná povrchová kontaminace rukou, obličeje). Pracovníky na operativní monitorování vnitřní kontaminace odesílá vedoucí směny centrální dozorní radiační kontroly případně zasahující lékaři. Do operativního monitorování jsou zařazeni také návštěvy, pracovníci kontrolních orgánů a mezinárodních organizací vstupující do kontrolovaného pásma většinou jednorázově.

1.2.2.1 Přímé metody

Stanovení aktivity radionuklidů, které jsou zdroji záření γ , se provádí přímými metodami (rychlý monitor VK Fastscan, CTP a ^{131}I ve ŠŽ).

Fastscan

Fastscan model 2250 je monitor s NaI(Tl) scintilačními detektory určený pro rychlé orientační stanovení vnitřní kontaminace.

Energetický rozsah: 200 keV- $2 \cdot 10^3$ keV

Rozsah měření: od 120 Bq (^{60}Co)

Měření na Fastscanu se provádí pokud možno bez povrchové kontaminace. Pracovník bez svrchního oděvu je proměřován v měřicí komoře Fastscanu obličejem smě-

rem ke kontrolkám. Po dobu měření je nutné zachovat stanovenou geometrii měření, tzn. setrvat v uvolněném postoji u zadní stěny komory. Standardní doba měření je 1 minuta. Ukončení měření je indikováno zelenou kontrolkou. Po skončení měření je automaticky vytištěn protokol o měření. Ve vyhodnocovacím softwaru Fastscanu jsou zařazeny RN charakteristické pro provoz jaderných elektráren: ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{124}Sb , ^{131}I , ^{134}Cs a ^{137}Cs . V případě pozitivního výsledku je pracovník podroben přesnějším, ale časově náročnějšímu měření na CTP, případně na měření ^{131}I ve ŠŽ.

CTP (celotělový počítač)

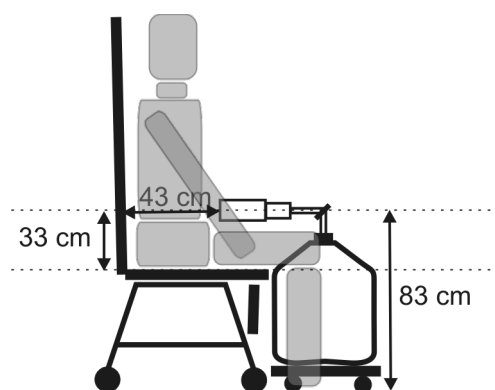
Pro pracoviště, kde lze očekávat jako zdroj vnitřní kontaminace složitou směs RN, jsou jednoznačně výhodnější polovodičové detektory z vysoce čistého germania (HP-Ge), protože jejich energetické rozlišení je asi 50 krát lepší než NaI(Tl) detektorů. ⁽²¹⁾

Rozsah měření: $60 - 4,6 \cdot 10^8$ Bq

Energetický rozsah: $50 - 2 \cdot 10^3$ keV

CTP se skládá ze stínící kobky s labyrintovým vstupem, která je vyrobená z nízkoaktivní oceli s HPGe (polovodičového detektoru z čistého germania), součástí sestavy je i dewarova nádoba na kapalný dusík, lineární elektronika, analogově – digitální převodník, mnohakanálový analyzátor a vyhodnocovací jednotka, obvykle ve formě osobního počítače.

Před vstupem do kobky se pracovník převlékne do čistého pláště a koupelnové obuvi, nechá si pouze spodní prádlo, případně se předtím v hygienické smyčce osprchuje a otře. U nových pracovníků se dále zjišťuje jejich váha a výška. Při měření sedí pracovník pohodlně na křesle a dlaně má položené na kolenou. Obsluha přisune detektor umístěný na podvozku do pracovní polohy, tak že Dewarovu nádobu detektoru má měřený mezi kolena a dotýká se židle, viz obrázek 1.9.



Obrázek 1.9 Geometrie měření na CTP⁽¹²⁾

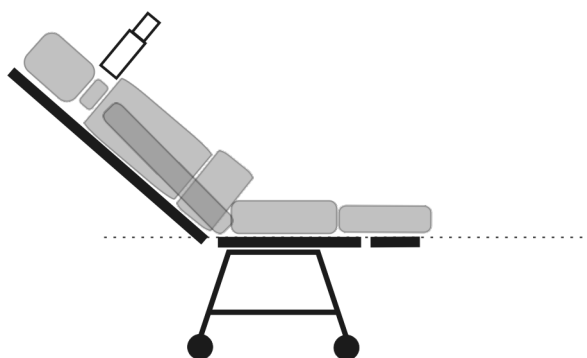
Měření ¹³¹I ve ŠŽ

Při kontaminaci jedním či několika málo předem známými RN (např. ¹³¹I), je výhodnější použití scintilačního detektoru, protože scintilační detektory NaI(Tl) lze vyrobit v mnohem větších rozměrech než polovodičové detektory a snáze tedy dosáhneme vyšší geometrické účinnosti a vysoké citlivosti.

Rozsah měření: 20 – 7.10⁶ Bq

Energetický rozsah: 50 - 1.10³ keV

Aktivita ¹³¹I ve štítné žláze se měří scintilační sondou, (složenou z detektoru NaI(Tl) a předzesilovače), uchycenou na polohovatelném rameni. Příprava pracovníka na měření je stejná jako před měřením na CTP. Při měření sedí pracovník v záklonu na lůžku, kolimátor scintilačního detektoru je v kontaktu s tělem v oblasti umístění štítné žlázy, tj. na přechodu krku a hrudníku (viz obrázek 1.10).



Obrázek č.1.10 Geometrie měření ¹³¹I ve ŠŽ⁽¹²⁾

1.2.2.2 *Nepřímé metody*

Nepřímé metody jsou metody, které vedou k odhadu úvazku efektivní (ekvivalentní) dávky obvykle prostřednictvím měření exkret nebo jen z měření pracovního prostředí. Tyto metody se používají jednak v případě radionuklidů, které nelze měřit přímými metodami, dále při monitorování speciálním nebo havarijním, kdy je třeba získat více informací o chování radionuklidu v těle. ⁽²¹⁾

Jako biologické vzorky se používají moč a stolice. V některých případech jsou analyzovány i jiné vzorky, tj. výtěry z nosu, nosní exkret, sliny, vlasy, nehty a tkáň z otevřených ran. Tyto vzorky se obvykle používají k rozhodnutí, zda vůbec k vnitřní kontaminaci došlo nebo ke stanovení složení kontaminantu.

Spektrometrie gama v exkretech

Pro měření aktivity zářičů gama exkret a dalších vzorků je určena stínící kobka (síla stěny min. 0,2 m) zhotovená z plátů nízko aktivní oceli. Je rozdělena na dvě stejné části a umožňuje tak současné umístění dvou polovodičových HPGe detektorů. Základní geometrie měření užívaná pro vzorky exkret je Marinelliho nádoba o objemu 500 ml nasazená na detektor. Dále mohou být realizovány geometrie masťovka 300 ml v kontaktu s čelem detektoru a pro menší objemy vzorku „bodová“ geometrie, kdy je vzorek v PE nádobce umístěn v ose nad čelem detektoru.

Rozsah měření: 0,1 – 1.10⁶ Bq / kg

Energetický rozsah: 18 - 2.10³ keV

Při stanovení aktivit zářičů gama je možné vzorky měřit v nativním stavu, nebo pro zvýšení citlivosti je možné použít jednoduché koncentrace (odpařování, sušení). Připravený měřený vzorek se umístí na detektor v kobce podle zvolené geometrie a kobka se uzavře. Provede se kontrola nastavených parametrů a spustí se měření. Po ukončení měření je automaticky vytisknut protokol o měření.

Měření aktivity ^3H v moči

Pro měření objemové aktivity tritia v moči se používá kapalinový scintilační spektrometr TriCarb, který obsahuje chladicí jednotku, řídicí PC se systémovým softwarem a tiskárnou.

Vzorky pro měření s kapalnými scintilátory jsou připravovány rozptýlením nebo rozpuštěním sloučeniny obsahující RN ve scintilační směsi. Připravené vzorky v kyvetách jsou pomocí kazety umístěny do zásobníku vzorků. Aktivity vzorků jsou automaticky změřeny a vytištěny v protokolu o měření. Pro rutinní měření je nastavena měřící doba 1 h.

Rozsah měření: $1 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^{10}$ Bq / l

Energetický rozsah: 0,5 - $2 \cdot 10^3$ keV

1.2.3 Sledování osobních radiačních dávek na JE Temelín

Pro sledování, hodnocení a zaznamenávání radiační zátěže osob jsou využívány dva systémy, ISOD (informační systém osobní dozimetrie) a SEOD (systém elektronické osobní dozimetrie), založené na databázi Oracle. Systém ISOD je určen pro sledování, zaznamenávání a archivaci dat o ozáření pracovníků ze všech dozimetrických metod používaných v rámci programu monitorování osob, s tímto systémem pracují hlavně pracovníci osobní dozimetrie. Pomocí systému SEOD jsou operativně sledovány, vyhodnocovány a zaznamenávány osobní dávky z elektronických osobních dozimetrů na výstupu z kontrolovaného pásma. V tomto systému se dále zaznamenává doba pobytu pracovníků v kontrolovaném pásmu, druh a místo vykonávané činnosti a údaje obsažené v tzv. R-příkazech, což jsou bezpečnostní dokumenty, které definují bezpečnostní podmínky pro vykonávání prací v prostředí se zvýšeným radiačním rizikem.

1.3 Možnosti optimalizace radiační zátěže radiačních pracovníků

Cílem optimalizace je zajištění, aby velikost individuálních dávek i počet ozářených osob, byly tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout při respektování hospodářských a sociálních hledisek. Tento princip optimalizace se nazývá ALARA (as low as reasonably achievable).

Cílem optimalizace je nalézt stupeň ochrany, který lze charakterizovat pomocí kolektivní dávky, při němž další vynakládání prostředků již nebude kompenzováno rovnocennou úsporou újmy. Testování rozumné dosažitelnosti se provádí porovnáním nákladů na snížení ozáření a přínosů z tohoto ozáření. Přínos zavedených opatření je hodnocen podle tzv. finančního ekvivalentu jednotky kolektivní dávky, který je odstupňován podle vztahu průměrné efektivní dávky jednotlivce a zlomku základního limitu. Pokud k dosažení zamýšleného cíle existuje více alternativ, tak se vhodnost každé alternativy testuje kolektivní efektivní dávkou spojenou s konkrétním postupem. Například dilema, zda se konkrétní součást primárního nebo sekundárního okruhu má opravovat až po předešlé dekontaminaci nebo bez ní. Provedená dekontaminace sice sníží ozáření spojené s opravou, ale na druhé straně představuje určitou efektivní kolektivní dávku spojenou s dekontaminačními pracemi. V takových případech nelze rozhodnout obecně, ale až po detailním rozboru jednotlivých operací z hlediska ozáření pracovníků, kteří tuto činnost vykonávají. Optimalizovat ochranu lze i použitím vhodných ochranných pomůcek, které snižují riziko vnější i vnitřní kontaminace. Ovšem používání ochranných pomůcek nikdy nesmí vést k vyššímu ozáření, např. prodloužením pracovní činnosti v důsledku snížení pohyblivosti pracovníka.

Rozumně dosažitelná úroveň radiační ochrany pro jaderně energetické zařízení se považuje za dostatečně prokázanou, pokud roční efektivní dávka u žádného z radiačních pracovníků nepřekročí 1 mSv a roční efektivní dávka u žádné jiné osoby nepřekročí 50 μ Sv a kolektivní efektivní dávka radiačních pracovníků nepřekročí 1 Sv.

Optimalizační mezí pro provoz jaderně energetických zařízení je kolektivní efektivní dávka 4 Sv za kalendářní rok na každý instalovaný GW výkonu vztahená na ozáření všech radiačních pracovníků, pro které je podle programu monitorování prováděno osobní monitorování.⁽²⁴⁾ Optimalizační mez pro provoz JE Temelín je 7,848 Sv (4 Sv x 0,981 GW x 2 bloky).

1.3.1 Praktické příklady implementace principu ALARA

Standardními metodami ochrany před ionizujícím zářením jsou postupy, které zmenšují velikost ozáření.

Ochrana časem vyplývá z prostého faktu, že snížením doby ozáření se sníží i dávka. Prakticky lze tento princip uplatnit nácvikem prací a prováděním přípravných prací mimo zdroj ionizujícího záření, omezit dobu styku a pobytu v blízkosti zdrojů ionizujícího záření.

Ochrana vzdáleností je založena na snížení dávkového příkonu s rostoucí vzdáleností. V praxi se tato ochrana uplatňuje ve formě použití manipulátorů pro zvětšení vzdálenosti od zdroje, prováděním přípravných prací mimo zdroj ionizujícího záření.

Ochrana stíněním znamená vložení vrstvy, která pohltí část ionizujícího záření mezi zdroj a oblast, kde se vyskytují pracovníci. Podle druhu záření se určuje typ stínícího materiálu (olovo, beton, voda).

Další metodou jsou ochranná opatření proti šíření kontaminace. Například odstranění radioaktivních látek z pracoviště, používání osobních ochranných pracovních pomůcek, dekontaminace zařízení a podlah, výstup z kontrolovaného pásma přes hygienickou smyčku.

2 Cíle práce a hypotézy

Cílem této diplomové práce je zpracování návrhu programu monitorování osobních dávek na JE Temelín, s ohledem na stávající technické a organizační zabezpečení.

Navrhovaný program monitorování osobních dávek na JE Temelín, který zohledňuje stávající technické vybavení, organizační zabezpečení a místní specifika zpracovaný v této diplomové práci je akceptovatelný ze strany Státního úřadu pro jadernou bezpečnost.

Radiační zátěž radiačních pracovníků JE Temelín monitorovaná pomocí stávajících platných metodik a projektového přístrojového vybavení splňuje předepsané limity.

3 Metodika

Základem mé diplomové práce je rešerše dostupných materiálů v oblasti problematiky monitorování, hodnocení profesionálních expozičních a rekapitulace základních veličin a jednotek, které se v této odborné oblasti používají.

Ve své diplomové práci dále používám výsledky monitorování osobních dávek radiačních pracovníků poskytnuté JE Temelín. Konkrétně byly posuzovány výsledky monitorování osobních dávek na této jaderné elektrárně za jednotlivé měsíce roku 2005 a 2006.

4 Výsledky

4.1 Sledování profesionálních expozičních pracovníků na JE v období 2005 až 2006

Tato kapitola dokladuje formou tabulek a grafů, že JE Temelín plní legislativní požadavky v oblasti monitorování profesionálních expozičních pracovníků.

Uvedené údaje vychází z výsledků filmové dozimetrie (vyšších než záznamová úroveň 0,1mSv) a neutronové dozimetrie (vyšších než záznamová úroveň 0,3mSv). Počet pracovníků sledovaných FD je uveden v grafech 4.1 a 4.4. Zde je patrný nárůst hodnocených pracovníků v období generálních odstávek (9.4.-18.7.2005; 30.7. – 9.10.2005; 2.6. – 16.8.2006; 25.8. – 20.11.2006). Kolektivní efektivní dávky a průměrná individuální E v grafech 4.2, 4.3, 4.5, 4.6 také vykazují nárůst v době generálních odstávek. Konkrétní hodnoty jsou uvedeny v tabulkách přílohy 2, 3 a 4. Část pracovníků byla (dle charakteru a místa činnosti) vybavena neutronovým dozimetrem, grafy 4.1 a 4.4 uvádí počty takto hodnocených pracovníků.

V letech 2005 a 2006 nebylo v žádném případě zjištěno překročení záznamové úrovně pro vnitřní ozáření. V roce 2005 nebyla překročena záznamová úroveň $H_t = 0,4$ mSv pro končetiny. V roce 2006 bylo dvakrát zaznamenáno překročení záznamové úrovně $H_t = 0,4$ mSv pro končetiny, v říjnu 4,085mSv a v listopadu 5,563mSv. Zpracování těchto údajů do grafů by nebylo přínosné, proto zde není uvedeno.

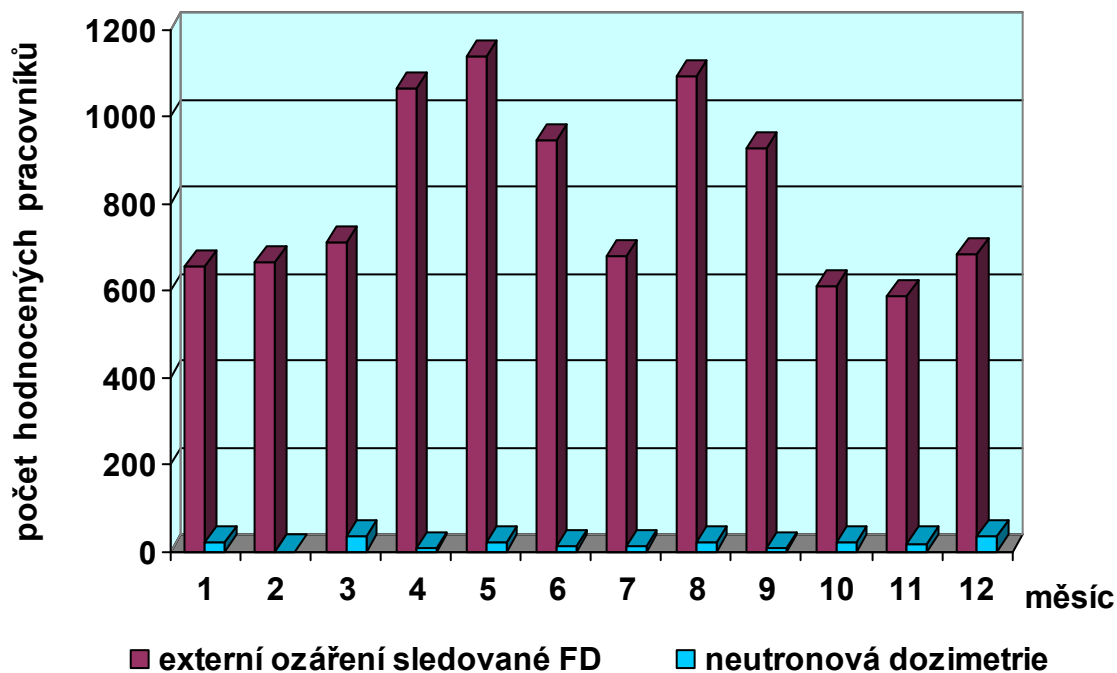
Hodnoty kolektivní efektivní dávky a maximální individuální efektivní dávky pro roky 2005 a 2006 jsou uvedeny v tabulce 4.1. Dále je zde uvedena kolektivní efektivní dávka vztažená k optimalizační mezi viz kapitola 1.3.

Tabulka 4.1 Kolektivní efektivní dávky a maximální individuální efektivní dávky

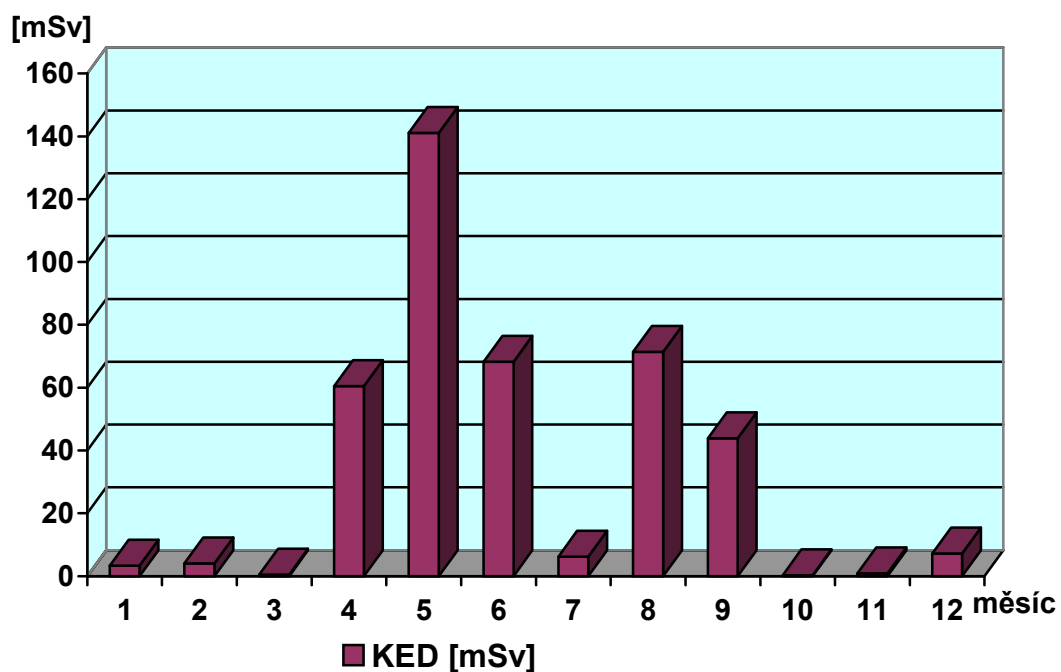
	KED [mSv]	KED vztažená k optimalizační mezi [%]	IED _{max} [mSv]
2005	415,72	5,3	9,51
2006	241,49	3,08	7,96

KED a IED_{max} zahrnuje efektivní dávku z filmové dozimetrie (s MDD od 0,1 mSv), neutronové dozimetrie a úvazku efektivní dávky.

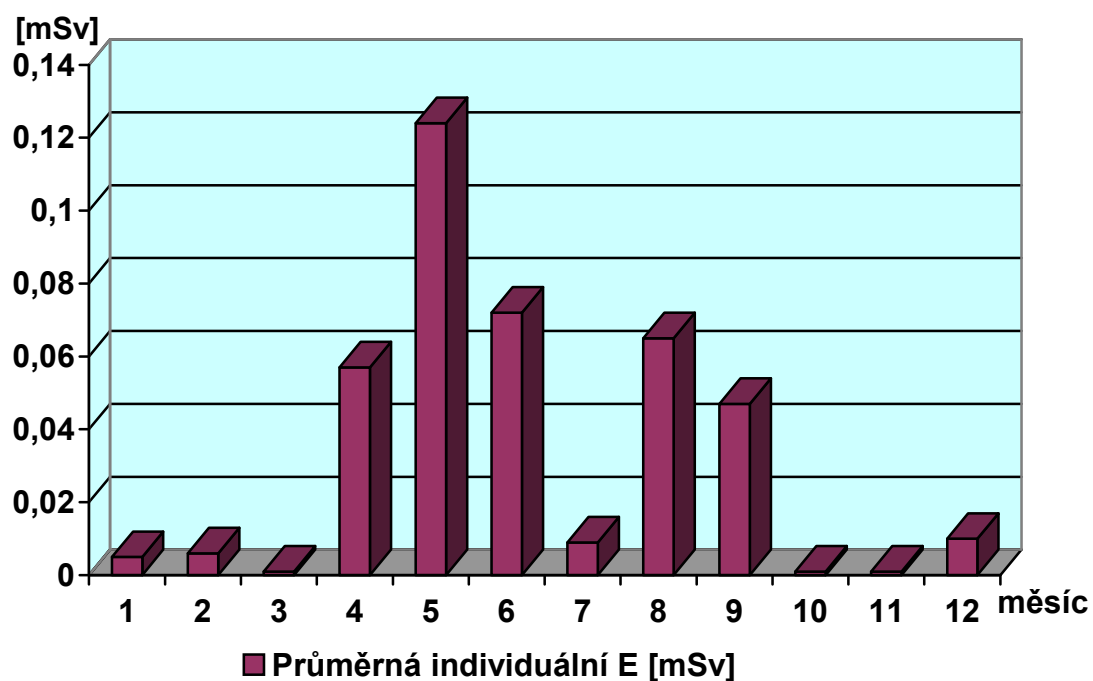
Graf 4.1 Počet hodnocených pracovníků v roce 2005



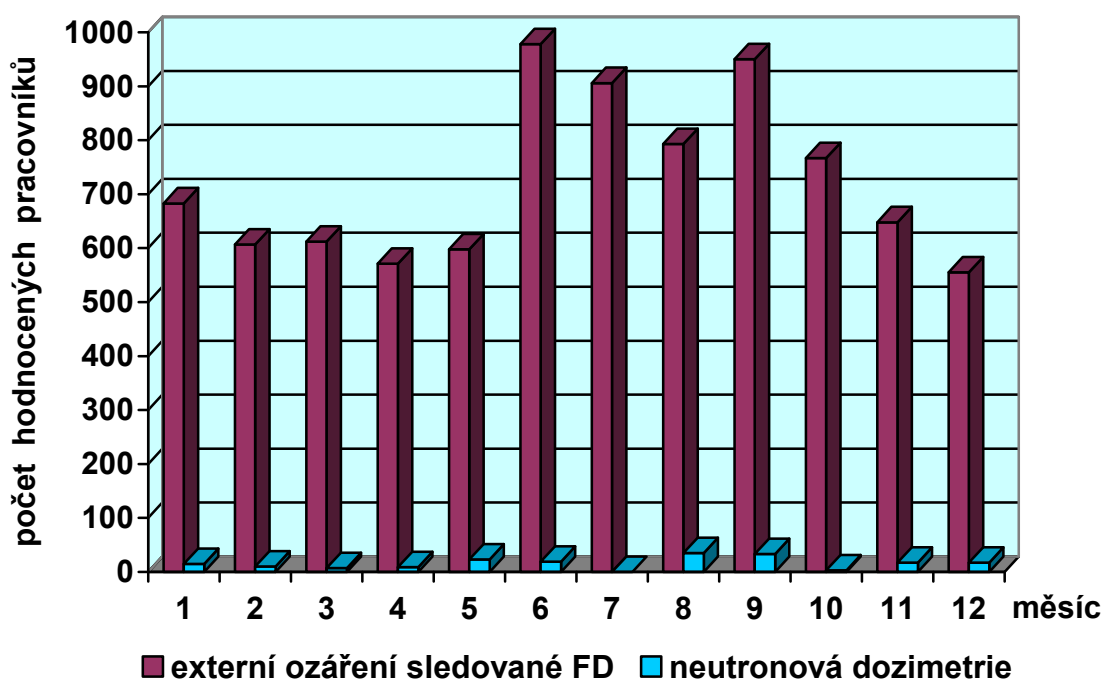
Graf 4.2 Kolektivní efektivní dávka z externího ozáření (sledovaného FD) v roce 2005



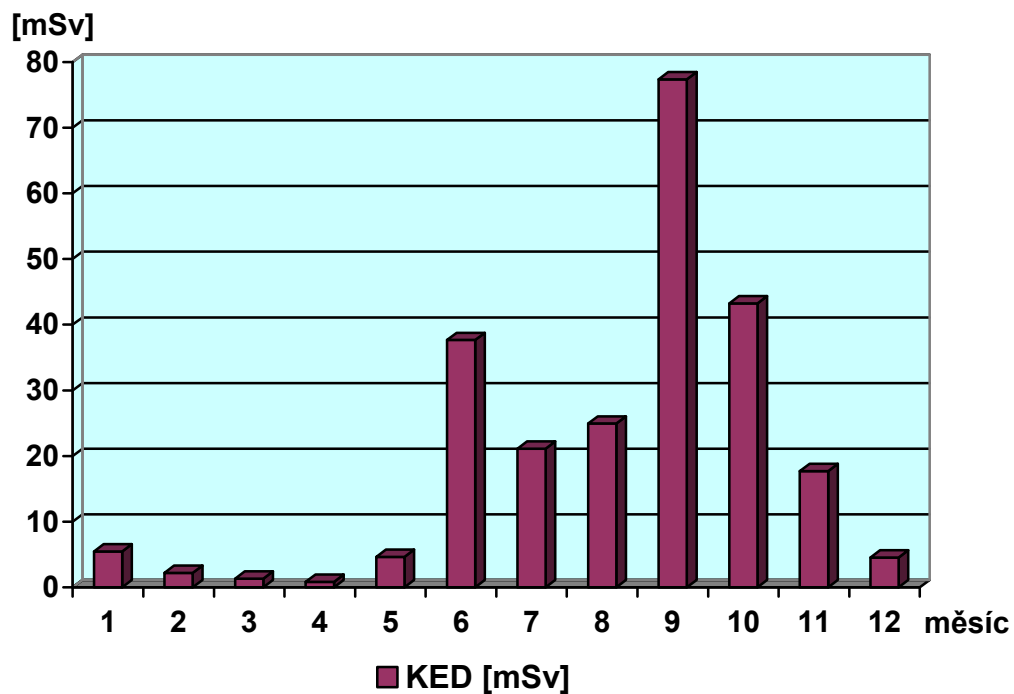
Graf 4.3 Průměrná individuální E z externího ozáření (sledovaného FD) v roce 2005



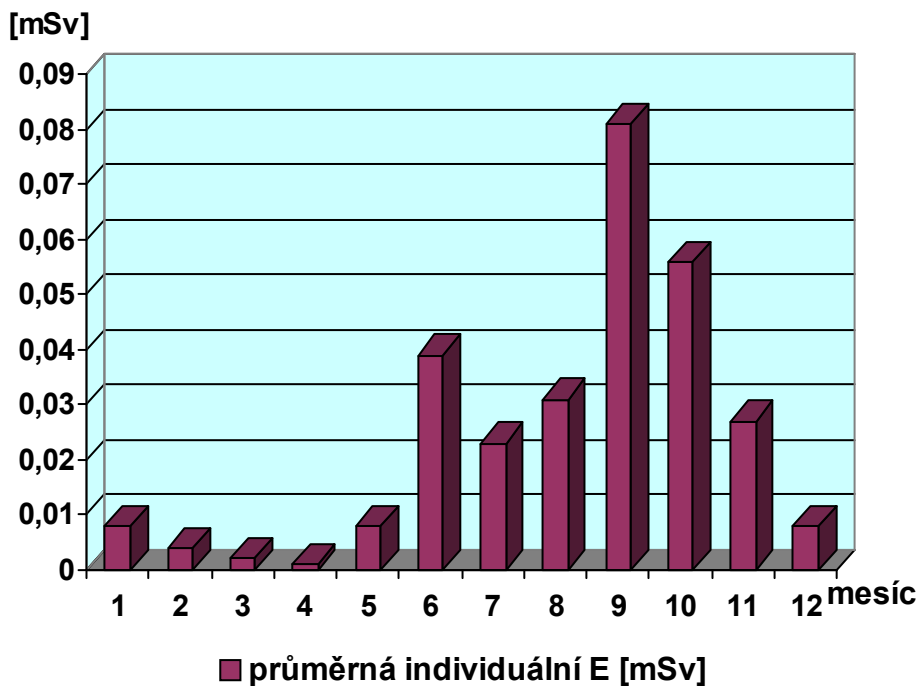
Graf 4.4 Počet hodnocených pracovníků v roce 2006



Graf 4.5 Kolektivní efektivní dávka z externího ozáření (sledovaného FD) v roce 2006



Graf 4.6 Průměrná individuální E z externího ozáření (sledovaného FD) v roce 2006



4.2 *Návrh programu monitorování osobních dávek na JE Temelín*

Další částí této práce je zpracování návrhu programu monitorování osobních dávek. Vzhledem k postupujícímu trendu legalizace elektronické dozimetrie ve světě jsem přesvědčena, že v budoucnu bude elektronická dozimetrie legálním prostředkem i u nás. Proto jsem se rozhodla navrhnout program monitorování osobních dávek pro potenciální přechodné období, kdy by funkci legálních dozimetrů přezvala elektronická dozimetrie a filmová dozimetrie by sloužila k verifikaci. Při vytváření návrhu jsem vycházela z legislativy, stávajícího technického vybavení, organizačního zabezpečení a místních specifik.

Náležitosti programu monitorování osobních dávek jsou dány vyhláškou 307/2002 Sb. v platném znění.

Hodnoty VÚ (vyšetřovacích úrovní) a ZÚ (zásahových úrovní) vyjádřené jako Hp(10) jsou určeny pro součet Hp(10) od záření gama a Hp(10) od neutronů. Při kombinovaném ozáření jsou tyto hodnoty určeny pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření.

4.2.1 Osobní dávkový ekvivalent Hp(10) – DMC 2000XB

I. VYMEZENÍ MONITOROVANÉ VELIČINY

Monitorování osobního dávkového ekvivalentu Hp(10) způsobeného vnějším ozářením gama bude probíhat pomocí elektronických osobních dozimetrů DMC 2000 XB. Monitorování podléhají všichni radiační pracovníci kategorie A, kteří vstupují do kontrolovaného pásma BAPP (budovy aktivních pomocných provozů), HVB (hlavního výrobního bloku) 1 a 2. Měření bude probíhat operativně, dozimetr bude vyhodnocen po výstupu z kontrolovaného pásma.

- rozsah měření – do 10 Sv
- energetický rozsah – gama 50 - $7 \cdot 10^3$ keV

II. NÁVODY NA VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Vyhodnocení bude probíhat na terminálech SEOD.

III. HODNOTY REFERENČNÍCH ÚROVNÍ

➤ Záznamová úroveň je stanovena na minimální detekovatelnou dávku (MDD) $1\mu\text{Sv}$. Záznam se provede do databáze programu SEOD.

➤ Vyšetřovací úrovně jsou stanoveny na:

- $1\text{ mSv}/24\text{ hodin}$ (směrná hodnota individuální efektivní dávky stanovená vnitřní dokumentací JE Temelín).
- Individuální efektivní dávka povolená v R-příkazu (stanovená na základě radiační situace, druhu činnosti, místě práce a délce činnosti.)
- 6 mSv , platí pro součet $\text{Hp}(10)$ v daném roce. Limit je stanoven na úrovni $3/10$ limitu 20 mSv , podle § 22 odst. 1, písm. b) vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění.

Při překročení VÚ je provedeno šetření, při kterém se zjišťuje, proč došlo k překročení, kde k němu došlo, při jaké činnosti, jaká byla radiační situace v místě činnosti, zda nebyly zanedbány bezpečnostní předpisy (používání ochranných pomůcek, dodržování pracovních postupů, aj.). Podle výsledku šetření jsou provedeny další opatření. Při překročení VÚ 3) se provede srovnání součtu denních hodnot $\text{Hp}(10)$ z EPD s hodnotami $\text{Hp}(10)$ z FD.

➤ Zásahové úrovně jsou stanoveny na:

- $50\text{ mSv}/\text{rok}$, platí pro součet $\text{Hp}(10)$ v daném kalendářním roce. Limit je stanoven podle § 20 vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění.
- 100 mSv za 5 po sobě jdoucích kalendářních roků, platí pro součet $\text{Hp}(10)$. Limit je stanoven podle § 20 vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění.

Je provedeno zabránění v dalším překračování limitu, proto je pracovníkovi dočasně (po dobu překračování limitu) zamezen vstup do kontrolovaného pásma.

IV. SPECIFIKACE METOD MĚŘENÍ

Viz kapitola 1.2.1.4.

V. SPECIFIKACE MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ, POMŮCEK A JEJICH PARAMETRŮ

Pro měření bude používán osobní elektronický dozimetr DMC 2000XB, viz kapitola 1.2.1.4.

VI. NÁHRADNÍ ZPŮSOB MĚŘENÍ

Filmový dozimetr

4.2.2 Osobní dávkový ekvivalent Hp(10) – FD

I. VYMEZENÍ MONITOROVANÉ VELIČINY

Monitorování osobního dávkového ekvivalentu Hp(10) způsobeného vnějším ozářením gama a tepelnými neutrony pomocí filmových dozimetrů bude probíhat u všech radiačních pracovníků kategorie A, kteří vstupují do KP. Měření bude probíhat periodicky:

- jednou za tři měsíce pro pracovníky vstupující do KP BAPP, HVB 1 a 2
- jednou měsíčně pro pracovníky vstupující do KP ODK a LRKO

- rozsah měření - do 50 mSv

- energetický rozsah - gama 50 - $7 \cdot 10^3$ keV, neutrony $1 \cdot 10^{-6}$ - $3 \cdot 10^{-4}$ keV

II. NÁVODY NA VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Postup vyhodnocení osobních dávkových ekvivalentů z filmových dozimetrů:

~ Použité dozimetrické filmy se připraví pro chemické zpracování, přičemž do souboru současně zpracovávaných filmů se zahrnou jednak filmy neozářené (6 ks) pro stanovení pozadí (závoje) a filmy ozářené kermou ve vzduchu (K_A) dávkami v rozpětí 0,2 – 20 mSv. ⁽²³⁾

~ Chemické zpracování se provede rtg vývojkou, doba vyvolávání se řídí strmostí závislosti optická hustota – dávka, přičemž se zpracuje pouze film R-10. Film R-2 je uschován pro případné měření vyšších hodnot Hp (10) >20mSv.

~ Měření optických hustot se provede na denzitometru, počet měřených polí je závislý na přítomnosti záření beta. Výpočet hodnot Hp (10), respektive Hp (0,07) je provedeno

počítačem na základě změřených optických hustot cejchovních filmů (za filtrem Pb+Sn) a provozních filmů. Změřené hodnoty jsou uchovány v ISODu.

~ Při zjištění hodnoty Hp (10) nad 20 mSv je zpracován také havarijní film R-2, zpracování probíhá shodným způsobem společně s etalony a pozad'ovými filmy.

III. HODNOTY REFERENČNÍCH ÚROVNÍ

➤ Záznamová úroveň je stanovena na minimální detekovatelnou dávku 0,1 mSv. Záznam se provede do databáze programu ISOD.

➤ Vyšetřovací úrovně jsou stanoveny na:

- 1,6 mSv / měsíc ($20 \text{ mSv} * 1/12$).
- 6 mSv, platí pro součet Hp(10) v daném roce. Limit je stanoven na úrovni 3/10 limitu 20 mSv, podle § 22 odst. 1, písm. b vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění.

Při překročení VÚ je provedeno šetření, při kterém se zjišťuje, proč došlo k překročení, kde k němu došlo, při jaké činnosti, zda nebyly zanedbány bezpečnostní předpisy (používání ochranných pomůcek, dodržování pracovních postupů, aj.). Podle výsledku šetření jsou provedeny další opatření.

➤ Zásahové úrovně jsou stanoveny na:

- 50 mSv/rok, platí pro součet dávek v daném roce. Limit je stanoven podle § 20 vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění.
- 100 mSv za 5 po sobě jdoucích kalendářních roků, platí pro součet Hp(10). Limit je stanoven podle § 20 vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění.

Při překročení zásahové úrovně se zabrání v dalším překračování limitu, proto je pracovníkovi dočasně (po dobu překračování limitu) zamezen vstup do kontrolovaného pásma.

IV. SPECIFIKACE METOD MĚŘENÍ

Viz kapitola 1.2.1.1.

V. SPECIFIKACE MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ, POMŮCEK A JEJICH PARAMETRŮ

Pro měření se použije filmový dozimetr, viz kapitola 1.2.1.1. Vyhodnocení filmových dozimetrů se provádí na oddělení dozimetrické kontroly.

VI. NÁHRADNÍ ZPŮSOB MĚŘENÍ

RPLD

4.2.3 Osobní dávkový ekvivalent Hp(0,07) – DMC 2000XB

I. VYMEZENÍ MONITOROVANÉ VELIČINY

Monitorování osobního dávkového ekvivalentu Hp(0,07) způsobeného vnějším ozářením beta bude probíhat pomocí elektronických osobních dozimetrů DMC 2000 XB. Monitorování podléhají všichni radiační pracovníci kategorie A, kteří vstupují do kontrolovaného pásma BAPP, HVB 1 a 2. Měření bude probíhat operativně, s vyhodnocením osobního dozimetru po výstupu z kontrolovaného pásma.

- rozsah měření - do 500 mSv
- energetický rozsah - 50 - $7 \cdot 10^3$ keV

II. NÁVODY NA VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Vyhodnocení bude probíhat na terminálech SEOD.

III. HODNOTY REFERENČNÍCH ÚROVNÍ

- Záznamová úroveň je stanovena na minimální detekovatelnou dávku 1 μ Sv. Záznam se provede do databáze programu SEOD.
- Vyšetřovací úroveň je stanovena na 150 mSv/rok ($500\text{mSv} \cdot 3/10$), platí pro součet Hp(0,07) v daném roce. Limit je stanoven na úrovni tří desetín limitu, podle § 22 vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění. Při překročení VÚ se provede srovnání součtu denních hodnot Hp(0,07) z EPD s hodnotami Hp(0,07) z FD. Překročení ekvivalentní dávky 150 mSv je podle § 84 vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění držitel povolení

povinen oznámit státnímu úřadu pro jadernou bezpečnost spolu s přešetřením příčin a přijatými závěry.

➤ Zásahová úroveň je stanovena na 500 mSv/rok, platí pro součet Hp(0,07) v daném roce. Limit je stanoven podle § 20 vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění. Jako opatření je provedeno zabránění v dalším překračování limitu, proto je pracovníkovi dočasně (po dobu překračování limitu) zamezen vstup do kontrolovaného pásma.

IV. SPECIFIKACE METOD MĚŘENÍ

Viz kapitola 1.2.1.4.

V. SPECIFIKACE MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ, POMŮCEK A JEJICH PARAMETRŮ

Pro měření bude používán osobní elektronický dozimetr DMC 2000XB, viz kapitola 1.2.1.4. Vyhodnocení bude probíhat na terminálech SEOD.

VI. NÁHRADNÍ ZPŮSOB MĚŘENÍ

Filmový dozimetr

4.2.4 Osobní dávkový ekvivalent Hp(0,07) – FD

I. VYMEZENÍ MONITOROVANÉ VELIČINY

Monitorování osobního dávkového ekvivalentu Hp(0,07) způsobeného vnějším ozářením beta a nízkoenergetickým zářením gama pomocí filmových dozimetrů bude probíhat u všech radiačních pracovníků kategorie A, kteří vstupují do kontrolovaného pásma. Měření bude probíhat periodicky:

- jednou za tři měsíce pro pracovníky vstupující do KP BAPP, HVB 1 a 2
- jednou měsíčně pro pracovníky vstupující do KP ODK a LRKO

- rozsah měření - do 500 mSv
- energetický rozsah - 50 - $7 \cdot 10^3$ keV

II. NÁVODY NA VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Viz kapitola 4.2.2 – Postup vyhodnocení osobních dávkových ekvivalentů z filmových dozimetrů.

III. HODNOTY REFERENČNÍCH ÚROVNÍ

- Záznamová úroveň je stanovena na minimální detekovatelnou dávku 0,1 mSv. Záznam se provede do databáze programu ISOD.
- Vyšetřovací úroveň je stanovena na 150 mSv/rok ($500\text{mSv} * 3/10$), platí pro součet $H_p(0,07)$ v daném roce. Limit je stanoven na úrovni tří desetín limitu, podle vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění. Při překročení se srovnají hodnoty z filmového dozimetru se součtem hodnot z elektronického osobního dozimetru. Při překročení VÚ je provedeno šetření, při kterém se zjišťuje, proč došlo k překročení, kde k němu došlo, při jaké činnosti, zda nebyly zanedbány bezpečnostní předpisy (používání ochranných pomůcek, dodržování pracovních postupů, aj.). Podle výsledku šetření jsou provedeny další opatření. Překročení ekvivalentní dávky 150 mSv je podle § 84 vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění držitel povolení povinen oznámit státnímu úřadu pro jadernou bezpečnost spolu s přešetřením příčin a přijatými závěry.
- Zásahová úroveň je stanovena na 500 mSv/rok, platí pro součet $H_p(0,07)$ v daném roce. Limit je stanoven podle § 20 vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění. Jako opatření je provedeno zabránění v dalším překračování limitu, proto je pracovníkovi dočasně (po dobu překračování limitu) zamezen vstup do kontrolovaného pásma.

IV. SPECIFIKACE METOD MĚŘENÍ

Viz kapitola 1.2.1.1.

V. SPECIFIKACE MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ, POMŮCEK A JEJICH PARAMETRŮ

Pro měření se použije filmový dozimetr, viz kapitola 1.2.1.1. Vyhodnocení filmových dozimetrů se provádí na oddělení dozimetrické kontroly.

VI. NÁHRADNÍ ZPŮSOB MĚŘENÍ

Není stanoven.

4.2.5 Ekvivalentní dávka pro končetiny - TLD

Pro sledování ekvivalentní dávky na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky.

I. VYMEZENÍ MONITOROVANÉ VELIČINY

Monitorování ekvivalentní dávky na ruce a nohy. Ekvivalentní dávka se stanoví měřením veličiny $H_p(10)$ způsobeného zevním ozářením gama pomocí termoluminiscenčního dozimetru ve formě náramku. Monitorování ekvivalentní dávky pro končetiny bude probíhat u vybraných pracovníků podle druhu vykonávané činnosti a podle aktuální radiační situace v místě vykonávané činnosti. Použití těchto dozimetrů je předepsáno v předpisu pro vstup personálu do kontejnmentu za provozu bloku a v R-příkazu. Dozimetr se vyhodnocuje po ukončení činnosti, respektive po výstupu z kontrolovaného pásma.

- rozsah měření - do 500 mSv
- energetický rozsah - 50 - $7 \cdot 10^3$ keV

II. NÁVODY NA VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Vyhodnocení dozimetrů probíhá pomocí TLD-readeru a počítače s vyhodnocovacím softwarem. Dozimetry se postupně vyjmou z pouzder a zasunou do rámečku, který se vloží do nosiče readeru. Po provedení měření provede počítač výpočet dávkového ekvivalentu gama na končetiny pomocí kalibračního faktoru readeru a korekčního faktoru dozimetru, poté jsou výsledky automaticky ukládány do databáze. U výsledků vyšších než záznamová úroveň je nutné provést korekci na pozadí. Korekce je prováděna podle následujícího vztahu:

$$H(\text{neto}) = (H - H_{\text{poz}}) * K$$

$H(\text{neto})$ - korigovaná hodnota dávkového ekvivalentu

H - změřená hodnota dávkového ekvivalentu

H_{poz} - pozad'ová hodnota příkonu dávkového ekvivalentu (stanovená pomocí pozad'ových dozimetřů nebo změřená jiným způsobem)

K – konverzní faktor; $K=1,205$.⁽¹²⁾

III. HODNOTY REFERENČNÍCH ÚROVNÍ

➤ Záznamová úroveň je stanovena na 4 mSv/měsíc ($500\text{mSv} * 1/10 * 1/12$). Limit je stanoven jako jedna desetina limitu pro dané období, podle vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění. Záznam se provede do databáze programu ISOD.

➤ Vyšetřovací úroveň je stanovena na 150 mSv/rok ($500\text{mSv} * 3/10$), platí pro součet $H_p(10)$ v daném roce. Limit je stanoven na úrovni tří desetin limitu, podle vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění. Při překročení VÚ je provedeno šetření, při kterém se zjišťuje, proč došlo k překročení, kde k němu došlo, při jaké činnosti, zda nebyly zanedbány bezpečnostní předpisy (používání ochranných pomůcek, dodržování pracovních postupů, aj.). Podle výsledku šetření jsou provedeny další opatření. Překročení ekvivalentní dávky 150 mSv je podle § 84 vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění držitel povolení povinen oznámit státnímu úřadu pro jadernou bezpečnost spolu s přešetřením příčin a přijatými závěry.

➤ Zásahová úroveň je stanovena na 500 mSv/rok, platí pro součet $H_p(10)$ v daném roce. Limit je stanoven podle § 20 vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění. Jako opatření je provedeno zabránění v dalším překračování limitu, proto je pracovníkovi dočasně (po dobu překračování limitu) zamezen vstup do kontrolovaného pásma.

IV. SPECIFIKACE METOD MĚŘENÍ

Viz kapitola 1.2.1.2 termoluminiscenční dozimetrie gama – končetiny.

V. SPECIFIKACE MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ, POMŮCEK A JEJICH PARAMETRŮ

Pro měření bude používán TLD dosimetr ve formě náramku, viz kapitola 1.2.1.2 termoluminiscenční dozimetrie gama – končetiny. Vyhodnocení dozimetřů se provádí na oddělení dozimetrické kontroly.

VI. NÁHRADNÍ ZPŮSOB MĚŘENÍ

Prstové TLD.

4.2.6 Osobní dávkový ekvivalent Hp(10) – DMC 2000GN

I. VYMEZENÍ MONITOROVANÉ VELIČINY

Monitorování osobního dávkového ekvivalentu Hp(10) způsobeného vnějším ozářením neutrony pomocí DMC 2000GN bude probíhat u všech pracovníků vstupujících do kontejnmentu za provozu bloku. Použití těchto dozimetrů je uvedeno v R-příkazu. Měření bude probíhat operativně, dozimetr bude vyhodnocen po výstupu z kontrolovaného pásma.

- rozsah měření - do 10 Sv
- energetický rozsah - neutrony $1 \cdot 10^{-6}$ - $3 \cdot 10^{-4}$ keV

II. NÁVODY NA VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Vyhodnocení bude probíhat na terminálech SEOD.

III. HODNOTY REFERENČNÍCH ÚROVNÍ

- Záznamová úroveň je stanovena na minimální detekovatelnou dávku 1μ Sv. Záznam se provede do databáze programu SEOD.
- Vyšetřovací úrovně jsou stanoveny na:
 - Individuální efektivní dávka uvedená v R-příkazu (Stanovená na základě radiační situace, druhu činnosti, místě práce a délce činnosti.)
 - 6 mSv, platí pro součet Hp(10) v daném roce. Limit je stanoven na úrovni $3/10$ limitu 20 mSv, podle § 22 odst. 1, písm. b vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění.

Při překročení VÚ 1) se provede vyhodnocení albedo TLD a srovnání hodnot Hp(10) z EPD s hodnotami Hp(10) z albedo TLD. Při překročení VÚ 2) se provede srovnání součtu hodnot Hp(10) z EPD se součtem hodnot Hp(10)

z albedo TLD. Při překročení VÚ je provedeno šetření, při kterém se zjišťuje, proč došlo k překročení, kde k němu došlo, při jaké činnosti, jaká byla radiační situace v místě činnosti, zda nebyly zanedbány bezpečnostní předpisy (používání ochranných pomůcek, dodržování pracovních postupů, aj.). Podle výsledku šetření jsou provedeny další opatření.

➤ Zásahové úrovně jsou stanoveny na:

- 50 mSv/rok, platí pro součet Hp(10) v daném roce. Limit je stanoven podle § 20 vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění.
- 100 mSv za 5 po sobě jdoucích kalendářních roků, platí pro součet Hp(10). Limit je stanoven podle § 20 vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění.

Při překročení zásahové úrovně se zabrání v dalším překračování limitu, proto je pracovníkovi dočasně (po dobu překračování limitu) zamezen vstup do kontrolovaného pásma.

IV. SPECIFIKACE METOD MĚŘENÍ

Viz kapitola 1.2.1.4.

V. SPECIFIKACE MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ, POMŮCEK A JEJICH PARAMETRŮ

Pro měření bude používán osobní elektronický dozimetr DMC 2000GN, viz kapitola 1.2.1.4. Vyhodnocení bude probíhat na terminálech SEOD.

VI. NÁHRADNÍ ZPŮSOB MĚŘENÍ

Albedo TLD

4.2.7 Osobní dávkový ekvivalent Hp(10) – TLD neutrony

I. VYMEZENÍ MONITOROVANÉ VELIČINY

Monitorování osobního dávkového ekvivalentu Hp(10) způsobeného vnějším ozáření neutrony pomocí albedo TLD typu LiF (Li-6 a Li-7) dozimetrů bude probíhat u všech pracovníků vstupujících do kontejnmentu za provozu bloku. Použití těchto dozi-

metrů je uvedeno v R-příkazu. Měření bude probíhat operativně, dozimetr bude vyhodnocen po výstupu z kontrolovaného pásma.

- rozsah měření – do 500 mSv

- energetický rozsah – neutrony 1.10^{-6} - 3.10^{-4} keV

II. NÁVODY NA VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Vyhodnocení dozimetrů probíhá pomocí TLD-readeru a počítače s vyhodnocovacím softwarem. Dozimetry se postupně vyjmou z kazet a vloží do nosiče readeru. Provede se měření odezvy jednotlivých TL elementů.

Na základě rozdílné citlivosti detektorů k neutronům (${}^6\text{LiF}$ registruje neutrony i fotony, ${}^7\text{LiF}$ pouze fotony) lze stanovit odezvu ${}^6\text{LiF}$ detektoru k neutronům pomocí následujícího vztahu:

$$R_n ({}^6\text{LiF}) = R_{n+\gamma} ({}^6\text{LiF}) - \frac{R_{n+\gamma} ({}^7\text{LiF})}{k_\gamma}$$

R_n – [nC] odezva dozimetru k neutronům

$R_{n+\gamma}$ – [nC] odezva dozimetru na záření γ a neutrony

Kde k_γ je poměr: $k_\gamma = \frac{R_\gamma ({}^7\text{LiF})}{R_\gamma ({}^6\text{LiF})}$ R_γ – [nC] odezva dozimetru na záření γ

Výpočet $H_p(10)$ [mSv] od neutronů provede počítač pomocí kalibrační konstanty a odezvy dozimetru podle následujícího vztahu:

$$H_p(10) = F_n \cdot R_n$$

F_n – [mSv/nC] kalibrační konstanta dozimetru

Výsledky měření jsou systémem automaticky ukládány do databáze ISOD.

III. HODNOTY REFERENČNÍCH ÚROVNÍ

➤ Záznamová úroveň je stanovena na 0,3 mSv (MDD). Záznam se provede do databáze programu ISOD.

➤ Vyšetřovací úrovně jsou stanoveny na:

- 1 mSv/24 hodin (směrná hodnota individuální efektivní dávky stanovená útvarem řízení radiační ochrany).
- 6 mSv, platí pro součet Hp(10) v daném roce. Limit je stanoven na úrovni 3/10 limitu 20 mSv, podle § 22 odst. 1, písm. b vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění.

Při překročení VÚ je provedeno šetření, při kterém se zjišťuje, proč došlo k překročení, kde k němu došlo, při jaké činnosti, jaká byla radiační situace v místě činnosti, zda nebyly zanedbány bezpečnostní předpisy (používání ochranných pomůcek, dodržování pracovních postupů, aj.). Podle výsledku šetření jsou provedeny další opatření.

➤ Zásahové úrovně jsou stanoveny na:

- 50 mSv/rok, platí pro součet Hp(10) v daném roce. Limit je stanoven podle § 20 vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění.
- 100 mSv za 5 po sobě jdoucích kalendářních roků, platí pro součet Hp(10). Limit je stanoven podle § 20 vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění.

Při překročení zásahové úrovně se zabrání v dalším překračování limitu, proto je pracovníkovi dočasně (po dobu překračování limitu) zamezen vstup do kontrolovaného pásma.

IV. SPECIFIKACE METOD MĚŘENÍ

Viz kapitola 1.2.1.2 – Termoluminiscenční dozimetrie - měření termálních a intermediálních neutronů.

V. SPECIFIKACE MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ, POMŮCEK A JEJICH PARAMETRŮ

Měření bude probíhat pomocí albedo dozimetru, viz kapitola 1.2.1.2 – Termoluminiscenční dozimetrie – měření termálních a intermediálních neutronů. Dozimetr je vyhodnocen na oddělení dozimetrické kontroly.

VI. NÁHRADNÍ ZPŮSOB MĚŘENÍ

Není stanoven.

4.2.8 Osobní dávkový ekvivalent Hp(10) u ostatních osob vstupujících do KP – DMC 2000XB

Pro sledování nepřekročení obecných limitů u ostatních osob vstupujících do kontrolovaného pásma.

I. VYMEZENÍ MONITOROVANÉ VELIČINY

Monitorování osobního dávkového ekvivalentu Hp(10) způsobeného vnějším ozářením gama bude probíhat pomocí elektronických osobních dozimetrů DMC 2000 XB. Monitorování podléhají všechny osoby vstupující do KP mimo radiační pracovníky kategorie A (např. návštěvy, exkurze). Měření bude probíhat operativně, dozimetr bude vyhodnocen po výstupu z kontrolovaného pásma.

- rozsah měření – do 10 Sv
- energetický rozsah – gama 50 - $7 \cdot 10^3$ keV

II. NÁVODY NA VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Výsledky jsou vyhodnocovány prostřednictvím SEODu.

III. HODNOTY REFERENČNÍCH ÚROVNÍ

- Záznamová úroveň je stanovena na minimální detekovatelnou dávku 1 μ Sv. Záznam se provede do databáze programu SEOD.
- Vyšetřovací úroveň je stanovena na 0,2 mSv. Limit je stanoven na úrovni 3/10 obecného limitu 1 mSv (§ 19 vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění) po odečtení optimalizační meze pro výpusti podle §56 vyhlášky 307/2002 Sb., v platném znění. Při překročení vyšetřovací úrovně je nutné, aby dotyčný opustil KP, bylo zjištěno dodržování bezpečnostních předpisů a byla analyzována radiační situace v navštívených prostorách.

➤ Zásahová úroveň je stanovena na 0,75 mSv/rok, platí pro součet Hp(10) v daném kalendářním roce. Limit je stanoven podle § 19 vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění po odečtení optimalizační meze pro výpusti podle §56 vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění. Je provedeno zabránění v dalším překračování limitu dočasným (po dobu překračování limitu) zamezením vstupu do kontrolovaného pásma.

IV. SPECIFIKACE METOD MĚŘENÍ

Viz kapitola 1.2.1.4.

V. SPECIFIKACE MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ, POMŮCEK A JEJICH PARAMETRŮ

Pro měření bude používán osobní elektronický dozimetr DMC 2000XB, viz kapitola 1.2.1.4. Vyhodnocení bude probíhat na terminálech SEOD.

VI. NÁHRADNÍ ZPŮSOB MĚŘENÍ

Filmový dozimetr

4.2.9 Osobní dávkový ekvivalent Hp (10) při výjimečném ozáření – DMC 2000GN

I. VYMEZENÍ MONITOROVANÉ VELIČINY

Sledování osobního dávkového ekvivalentu vnějším ozářením gama a neutrony pomocí DMC 2000GN. Sledování bude probíhat u vybraných pracovníků při výjimečném ozáření. Vyhodnocení dozimetrů bude provedeno po ukončení činnosti.

- rozsah měření – do 10 Sv

- energetický rozsah – gama 50 - $7 \cdot 10^3$ keV, neutrony $1 \cdot 10^{-6}$ - $3 \cdot 10^{-4}$ keV

II. NÁVODY NA VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Vyhodnocení výsledků měření bude probíhat prostřednictvím SEODu.

III. HODNOTY REFERENČNÍCH ÚROVNÍ

➤ Záznamová úroveň je stanovena na minimální detekovatelnou dávku 1 μ Sv. Záznam se provede do záznamové knihy a do databáze programu SEOD.

➤ Vyšetřovací úroveň je stanovena na hodnotu individuální efektivní dávky povolenou v R-příkazu (Stanovenou na základě radiační situace, druhu činnosti, místě práce a délce činnosti). Při překročení VÚ je provedeno šetření, při kterém se zjišťuje, proč došlo k překročení, kde k němu došlo, při jaké činnosti, jaká byla radiační situace v místě činnosti, zda nebyly zanedbány bezpečnostní předpisy (používání ochranných pomůcek, dodržování pracovních postupů, aj.). Podle výsledku šetření jsou provedeny další opatření.

➤ Zásahová úroveň je stanovena na 500 mSv za 5 za sebou jdoucích kalendářních roků. Limit je stanoven podle § 23 vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění. Při překročení zásahové úrovně se zabrání v dalším překračování limitu, proto je pracovníkovi dočasně (po dobu překračování limitu) zamezeno účastnit se výjimečného ozáření a zásahu v případě radiační nehody.

IV. SPECIFIKACE METOD MĚŘENÍ

Viz kapitola 1.2.1.4.

V. SPECIFIKACE MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ, POMŮCEK A JEJICH PARAMETRŮ

Pro měření bude používán osobní elektronický dozimetr DMC 2000GN, Viz kapitola 1.2.1.4. Vyhodnocení bude probíhat po ukončení činnosti na centrální dozorně radiační kontroly.

VI. NÁHRADNÍ ZPŮSOB MĚŘENÍ

FD, RPLD

4.2.10 Osobní dávkový ekvivalent Hp(10) u osob zasahujících při radiační nehodě nebo radiační havárii – DMC 2000 S, DMC 2000 XB

I. VYMEZENÍ MONITOROVANÉ VELIČINY

Osobní dávkový ekvivalent způsobený vnějším ozářením gama bude sledován pomocí elektronických dozimetrů DMC 2000 S nebo DMC 2000 XB. Sledování bude

probíhat u všech pracovníků zasahujících při radiační nehodě nebo havárii. Vyhodnocení dozimetřů bude provedeno po ukončení činnosti.

- rozsah měření – do 10 Sv
- energetický rozsah – gama 50 - $7 \cdot 10^3$ keV

II. NÁVODY NA VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Vyhodnocení bude probíhat na terminálech SEOD.

III. HODNOTY REFERENČNÍCH ÚROVNÍ

➤ Záznamová úroveň je stanovena na minimální detekovatelnou dávku 1 μ Sv. Záznam se provede do databáze programu SEOD odděleně od záznamů z běžné činnosti, nebo do záznamové knihy v místě vyhodnocení EPD.

➤ Vyšetřovací úroveň není stanovena

➤ Zásahové úrovně jsou stanoveny na:

- 200 mSv/rok. Limit je stanoven podle § 92 vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění.

Při překročení zásahové úrovně se zabrání v dalším překračování limitu, proto je pracovníkovi dočasně (po dobu překračování limitu) zamezeno účastnit se výjimečného ozáření a zásahu v případě radiační nehody.

IV. SPECIFIKACE METOD MĚŘENÍ

Viz kapitola 1.2.1.4.

V. SPECIFIKACE MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ, POMŮCEK A JEJICH PARAMETRŮ

Pro měření bude používán elektronický osobní dozimetr DMC 2000 S nebo DMC 2000 XB viz kapitola 1.2.1.4., Místo vyhodnocení EPD bude určeno podle konkrétní situace (například ODK, LRKO).

VI. NÁHRADNÍ ZPŮSOB MĚŘENÍ

RPLD, FD

4.2.11 Orientační stanovení vnitřní kontaminace – Fastscan

I. VYMEZENÍ MONITOROVANÉ VELIČINY

Orientační stanovení vnitřní kontaminace se zjišťuje na základě aktivity RN zdrojů záření gama (zvláště ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{124}Sb , ^{134}Cs , ^{137}Cs a ^{131}I).

Orientační stanovení vnitřní kontaminace se zavádí jako:

- periodické - 1x měsíčně pracovníci vykonávající činnosti se zvýšeným rizikem VK
 - 1x ročně všichni RP kategorie A vstupující do KP
 - operativní - pracovníci s podezřením na VK (významná zevní kontaminací v oblasti obličeje, rukou; úraz s otevřeným poraněním v KP)
 - na žádost pracovníka, jeho nadřízeného, lékaře,
 - vybraní pracovníci před vstupem do KP a po ukončení prací v KP (pracovníci s osobním radiačním průkazem mimo zaměstnanců JE Temelín)
- rozsah měření od 150 Bq
- energetický rozsah 200 – $2 \cdot 10^3$ keV

II. NÁVODY NA VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Po ukončení měření je automaticky vytisknut protokol s jedním ze dvou možných výsledků měření. Při negativním výsledku měření nebyl v těle pracovníka zjištěn žádný umělý radionuklid, podezření na vnitřní kontaminaci nebylo potvrzeno. Při pozitivním výsledku měření byla u některého ze sledovaných radionuklidů překročena minimální detekovatelná aktivita, nebo byla zjištěna přítomnost radionuklidu, který není zařazen ve vyhodnocovacím softwaru Fastscanu.

Bližší informace o výsledku měření jsou uvedeny v podrobném protokolu, kde jsou uvedeny naměřené aktivity sledovaných radionuklidů případně energie a plochy píků pro neidentifikované radionuklidy.

III. HODNOTY REFERENČNÍCH ÚROVNÍ

- Záznamová úroveň je stanovena jako minimální detekovatelná aktivita (MDA)
 - $1,1 \cdot 10^2$ Bq pro ^{124}Sb

- $1,2 \cdot 10^2$ Bq pro ^{58}Co , ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$,
- $1,3 \cdot 10^2$ Bq pro ^{54}Mn
- $1,4 \cdot 10^2$ Bq pro ^{137}Cs
- $1,5 \cdot 10^2$ Bq pro ^{134}Cs , ^{131}I

Protokol o měření je automaticky vytištěn, dále se provede záznam do databáze programu ISOD.

- Vyšetřovací úroveň je stanovena jako každá aktivita vyšší než záznamová úroveň, nebo zjištění neznámého RN (RN, který není uveden ve vyhodnocovacím softwaru fastscanu). Při překročení VÚ je pracovník odeslán na měření na CTP. Při překročení VÚ pouze u ^{131}I je pracovník odeslán na měření ^{131}I ve ŠŽ. Při překročení VÚ ^{137}Cs se zjistí, zda se nemůže jednat o ^{137}Cs černobylského původu (konzumace hub, zvěřiny atd.)
- Zásahová úroveň není stanovena

IV. SPECIFIKACE METOD MĚŘENÍ

Viz kapitola 1.2.2.1-Fastscan

V. SPECIFIKACE MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ, POMŮCEK A JEJICH PARAMETRŮ

Pro měření je používán Fastscan model 2250 (Canberra-Packard) monitor s NaI(Tl) scintilačními detektory pro rychlé orientační stanovení vnitřní kontaminace, viz kapitola 1.2.2.1-Fastscan. Měření probíhá na oddělení dozimetrické kontroly.

VI. NÁHRADNÍ ZPŮSOB MĚŘENÍ

CTP

4.2.12 Stanovení vnitřní kontaminace – CTP

I. VYMEZENÍ MONITOROVANÉ VELIČINY

Stanovení vnitřní kontaminace se provádí přímým měřením aktivity RN (především ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{95}Zr , ^{106}Ru , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{124}Sb , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{144}Ce) pomocí CTP. Měření probíhá u vybraných pracovníků operativně:

- pracovníci s pozitivním výsledkem z měření VK na Fastscanu
- pracovníci se zjištěnou VK (sledování poklesu VK)
- pracovníci, u kterých není možné provést měření na Fastscanu
- rozsah měření $60 - 4,6 \cdot 10^8$ Bq
- energetický rozsah $50 - 2 \cdot 10^3$ keV

II. NÁVODY NA VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Při měření na CTP je provedena píkova analýza spektra a výpočet aktivity všech radionuklidů v těle osoby, tyto hodnoty jsou zaznamenány.

Výpočet úvazku efektivní dávky [Sv] se provádí pouze u radionuklidů, jejichž aktivity jsou vyšší než obvykle se vyskytující hodnoty nebo než hodnoty uvedené v tabulce 4.2. Pro výpočet se používají konverzní faktory h_{inh} podle vyhlášky 307/2002 Sb. tabulky č.4, přílohy č.3 v platném znění. Vypočtené úvazky efektivní dávky jsou zaznamenány.

Výpočet úvazku efektivní dávky: $E(50) = I \cdot h_{inh}$ I [Bq] – příjem radionuklidu
 h_{inh} [Sv/Bq] – konverzní faktor

Výpočet příjmu: $I = \frac{A}{m(t)}$ A [Bq] – naměřená aktivita v těle (orgánu nebo exkrettech)
 $m(t)$ – hodnota retenční (nebo exkrece) funkce v čase t

Při výpočtu se předpokládá příjem radionuklidu inhalací. Konverzní faktory h_{inh} [Sv/Bq] pro přepočet příjmu radionuklidů vdechnutím aerosolů na úvazek efektivní dávky u pracovníků se zdroji jsou uvedeny ve vyhlášce 307/2002 Sb. tabulky č.4, přílohy č.3. Pokud je známo chemické složení kontaminantu, použije se při výpočtu konverzní faktor h_{inh} odpovídající typu absorpce v plicích (F, M, S). Pokud složení není známo, použije se konverzní faktor, pro nějž vychází úvazek efektivní dávky nejvyšší.

Tabulka 4.2 Hodnoty naměřených aktivit, při jejichž překročení se počítá úvazek efektivní dávky.

Radionuklid	Typ	AMAD	Aktivita [Bq]
⁵¹ Cr	S	1 μm	4,44.10 ⁵
⁵⁴ Mn	M	1 μm	1,57.10 ⁴
⁵⁷ Co	S	1 μm	2,28.10 ⁴
⁵⁸ Co	S	1 μm	9,6.10 ³
⁶⁰ Co	S	1 μm	7,66.10 ²
⁵⁹ Fe	M	1 μm	6,51.10 ³
⁹⁵ Zr	S	1 μm	3,35. 10 ³
¹⁰³ Ru	S	1 μm	6,29. 10 ³
¹⁰⁶ Ru	S	1 μm	3,58. 10 ²
^{110m} Ag	S	1 μm	1,88. 10 ³
¹²⁴ Sb	M	1 μm	2,69. 10 ³
¹³⁴ Cs	F	5 μm	8,13. 10 ³
¹³⁷ Cs	F	5 μm	1,18. 10 ⁴
¹⁴¹ Ce	S	1 μm	4,39. 10 ³
¹⁴⁴ Ce	S	1 μm	4,29. 10 ²

Hodnoty jsou stanoveny jako konzervativní (byl vybrán typ absorpce v plicích a AMAD pro něž vyšla hodnota retence, se kterou porovnáváme naměřenou retenci nej-
nižší). Předpokládá se směs 10 radionuklidů.

III. HODNOTY REFERENČNÍCH ÚROVNÍ

➤ Záznamová úroveň je stanovena jako MDA

- 2.10² Bq pro ⁵⁴Mn, ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ^{110m}Ag, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs
- 3.10² Bq pro, ⁵⁷Co, ⁹⁵Zr, ¹²⁴Sb,
- 4.10² Bq pro ⁵⁹Fe,
- 5.10² Bq pro ¹⁴¹Ce
- 2.10³ Bq pro ⁵¹Cr, ¹⁰⁶Ru, ¹⁴⁴Ce,

Protokol o měření je automaticky vytištěn, dále se provede záznam do databáze programu ISOD.

➤ Vyšetřovací úrovně jsou stanoveny jako:

- Úvazek efektivní dávky 0,2 mSv ($20 \text{ mSv} * 1/10 * 1/10$) pro jednotlivý radionuklid (při předpokládané kontaminaci směsí 10 radionuklidů)
- Úvazek efektivní dávky 0,6 mSv ($20 \text{ mSv} * 3/10 * 1/10$) pro jednotlivý radionuklid, (při předpokládané kontaminaci směsí 10 radionuklidů)

Při překročení VÚ se provede šetření, při kterém se zjišťují okolnosti VK. Odeberou se vzorky exkretů (eventuelně je zajištěn sběr dalších vzorků) a zopakuje se měření na CTP. Hodnoty VÚ jsou určeny pro součet E(50) ze všech zjištěných RN.

➤ Zásahová úroveň není stanovena

IV. SPECIFIKACE METOD MĚŘENÍ

Viz kapitola 1.2.2.1-CTP

V. SPECIFIKACE MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ, POMŮCEK A JEJICH PARAMETRŮ

Pro měření je používán celotělový počítač s polovodičovým detektorem z HPGe viz kapitola 1.2.2.1 – CTP. Měření probíhá na oddělení dozimetrické kontroly.

VI. NÁHRADNÍ ZPŮSOB MĚŘENÍ

Spektrometrie gama v exkretech

4.2.13 Stanovení aktivity ^{131}I ve ŠŽ

I. VYMEZENÍ MONITOROVANÉ VELIČINY

Stanovení aktivity ^{131}I ve ŠŽ se provádí přímým měřením scintilační sondou.

Měření se provádí u vybraných pracovníků operativně:

- pracovníci s pozitivním výsledkem na ^{131}I z měření VK na Fastscanu
- pracovníci s pozitivním výsledkem na ^{131}I z měření VK na CTP

- rozsah měření $1 \cdot 10^2 - 6,5 \cdot 10^6$ Bq
- energetický rozsah $50 - 1 \cdot 10^3$ keV

II. NÁVODY NA VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Z naměřené aktivity ^{131}I je vypočítán úvazek efektivní dávky, viz kapitola 4.2.12. Vypočtené úvazky efektivní dávky jsou zaznamenány. Pro výpočet se použijí konverzní faktory uvedené v tabulce 4.3.

Tabulka 4.3 Konverzní faktory pro přepočet příjmu ^{131}I na E(50) u pracovníků se zdroji

Typ příjmu	Konverzní faktor [Sv/Bq]
Ingesce	$2,2 \cdot 10^{-8}$
Inhalace ($d_{\text{ama}}=1\mu\text{m}$)	$7,6 \cdot 10^{-9}$
Inhalace ($d_{\text{ama}}=5\mu\text{m}$)	$1,1 \cdot 10^{-8}$
Inhalace výparů – elementární jód	$2 \cdot 10^{-8}$
Inhalace výparů – metyljodid	$1,5 \cdot 10^{-8}$

III. HODNOTY REFERENČNÍCH ÚROVNÍ

- Záznamová úroveň je stanovena na 100 Bq jako MDA. Protokol o měření je automaticky vytištěn, dále se provede záznam do databáze programu ISOD.
- Vyšetřovací úroveň je stanovena jako:
 - Úvazek efektivní dávky 0,6 mSv.
 - Úvazek efektivní dávky 6 mSv ($20 \text{ mSv} \cdot 3/10$). Překročení limitu je podle § 84, odst.2, písm.e vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění, držitel povolení povinen oznámit státnímu úřadu pro jadernou bezpečnost spolu s přešetřením příčin a přijatými závěry.

Při překročení VÚ se provede šetření, při kterém se zjišťují okolnosti VK. Odeberou se vzorky exkretů (eventuelně je zajištěn sběr dalších vzorků). Kontrola VK u pracovníků ze stejné pracovní skupiny. VÚ jsou určené pro součet E(50) ze všech zjištěných RN.

- Zásahová úroveň není stanovena

IV. SPECIFIKACE METOD MĚŘENÍ

Viz kapitola 1.2.2.1 – Scintilační detektor NaI(Tl)

V. SPECIFIKACE MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ, POMŮCEK A JEJICH PARAMETRŮ

Pro měření je používána scintilační sonda s detektorem NaI(Tl) viz kapitola 1.2.2.1 – Scintilační detektor NaI(Tl). Měření probíhá na oddělení dozimetrické kontroly.

VI. NÁHRADNÍ ZPŮSOB MĚŘENÍ

CTP

4.2.14 Objemová aktivita zářičů γ v exkretech

I. VYMEZENÍ MONITOROVANÉ VELIČINY

Měření měrné aktivity radionuklidů (^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{95}Zr , ^{106}Ru , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{124}Sb , ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{144}Ce) v exkretech pomocí polovodičového detektoru HPGe.

Měření se provádí operativně u vybraných pracovníků:

- pracovníci s pozitivním výsledkem z měření VK na CTP
- jako náhradní způsob měření, pokud nelze měřit na CTP
- rozsah měření: $0,1 - 1 \cdot 10^6$ Bq / kg
- energetický rozsah: $50 - 2 \cdot 10^3$ keV

II. NÁVODY NA VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Z naměřené aktivity je vypočítán úvazek efektivní dávky, viz kapitola 4.2.12. Vypočtené úvazky efektivní dávky jsou zaznamenány. Pro výpočet se používají konverzní faktory podle vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění

III. HODNOTY REFERENČNÍCH ÚROVNÍ

- Záznamová úroveň je stanovena na 0,1 Bq / kg jako MDA. Protokol o měření je automaticky vytištěn, dále se provede záznam do databáze programu ISOD.
- Vyšetřovací úroveň není stanovena
- Zásahová úroveň není stanovena

IV. SPECIFIKACE METOD MĚŘENÍ

Viz kapitola 1.2.2.2 – Spektrometrie gama v exkretech

V. SPECIFIKACE MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ, POMŮCEK A JEJICH PARAMETRŮ

Pro měření je používán polovodičový detektor HPGe viz kapitola 1.2.2.2 – Spektrometrie gama v exkretech. Měření probíhá v laboratoři ODK.

VI. NÁHRADNÍ ZPŮSOB MĚŘENÍ

Není stanoven.

4.2.15 Stanovení objemové aktivity ^3H v moči – TriCarb

I. VYMEZENÍ MONITOROVANÉ VELIČINY

Měření objemové aktivity ^3H v moči pomocí kapalinového scintilačního spektrometru TriCarb. Měření se provádí u vybraných pracovníků:

- periodicky - 1x měsíčně, vybraní pracovníci podle druhu prováděných činností v KP
- operativně - pracovníci s pozitivním výsledkem z měření VK na CTP
 - pracovníci s podezřením na VK (významná zevní kontaminací v oblasti obličeje, rukou; úraz s otevřeným poraněním v KP)
 - na žádost pracovníka, jeho nadřízeného, lékaře

- rozsah měření: 1.102 – 2.10¹⁰ Bq / l

- energetický rozsah: 0,5 – 1,9.10¹ keV

II. NÁVODY NA VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Z naměřené aktivity ^3H je vypočítán úvazek efektivní dávky, viz kapitola 4.2.12. Vypočtené úvazky efektivní dávky jsou zaznamenány.

Pro výpočet se používají konverzní faktory:

$$h_{\text{inh}} = 1,8 \cdot 10^{-11} [\text{Sv/Bq}] \text{ pro tritiovou vodu}$$

$$h_{\text{inh}} = 4,2 \cdot 10^{-11} [\text{Sv/Bq}] \text{ pro organicky vázané tritium}$$

III. HODNOTY REFERENČNÍCH ÚROVNÍ

➤ Záznamová úroveň je stanovena na 100 Bq / l jako MDA. Protokol o měření je automaticky vytištěn, dále se provede záznam do databáze programu ISOD.

➤ Vyšetřovací úrovně jsou stanoveny jako:

- Úvazek efektivní dávky 0,6 mSv ($20 \text{ mSv} * 3/10 * 1/10$) pro jednotlivý radionuklid, (při předpokládané kontaminaci směsí 10 radionuklidů)
- Úvazek efektivní dávky 6 mSv ($20 \text{ mSv} * 3/10$). Překročení limitu je podle § 84, odst.2, písm.e vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění, držitel povolení povinen oznámit státnímu úřadu pro jadernou bezpečnost spolu s přešetřením příčin a přijatými závěry.

Při překročení VÚ se provede šetření, při kterém se zjišťují okolnosti VK. Odeberou se vzorky exkretů (eventuelně je zajištěn sběr dalších vzorků). Kontrola VK u pracovníků ze stejné pracovní skupiny. VÚ jsou určené pro součet E(50) ze všech zjištěných RN.

➤ Zásahová úroveň není stanovena

IV. SPECIFIKACE METOD MĚŘENÍ

Viz kapitola 1.2.2.2 – Měření aktivity ^3H v moči

V. SPECIFIKACE MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ, POMŮCEK A JEJICH PARAMETRŮ

Pro měření je používán kapalinový scintilační spektrometr TriCarb viz kapitola 1.2.2.2-Měření aktivity ^3H v moči. Měření probíhá v laboratoři ODK.

VI. NÁHRADNÍ ZPŮSOB MĚŘENÍ

TriCarb na LRKO.

5 Diskuse

5.1 Výsledky monitorování profesionálních expozičních na JE Temelín za roky 2005 a 2006

Výsledky porovnání množství pracovníků sledovaných pomocí filmové a neutronové dozimetrie v roce 2005 a 2006 je uvedeno v grafech 4.1 a 4.4. Filmovým dozimetrem jako základním prostředkem pro sledování zevního ozáření jsou vybaveni všichni pracovníci vstupující do kontrolovaného pásma, zatímco neutronovým dozimetrem pouze pracovníci vstupující do kontejnmentu za provozu bloku. Z grafu je patrný nárůst sledovaných pracovníků (pomocí FD) v období odstávek.

Odstávky nemají patrný vliv na počet pracovníků vybavených neutronovými dozimetry – neutronové dozimetry používají pracovníci při vstupech do kontejnmentu za provozu bloku. Tyto vstupy se provádějí průběžně na obou blocích a počet vstupů je poměrně nízký, takže odstavený blok výslednou statistiku ovlivní pouze zanedbatelně.

Se zvýšeným počtem pracovníků vstupujících do kontrolovaného pásma za odstávek koreluje i vyšší kolektivní efektivní dávka za příslušné měsíce, viz grafy 4.2, 4.3, 4.5, 4.6.

Nárůst kolektivní efektivní dávky za odstávek je však způsoben především stykem pracovníků s aktivními komponenty primárního okruhu, které jsou za provozu bloku uzavřené v kontejnmentu nebo se nerozebírají.

Z údajů v tabulce 4.1 vyplývá, že JE Temelín s obrovskou rezervou splňuje optimalizační mez 7,848 Sv, což prokazuje vysokou úroveň zajištění radiační ochrany.

Maximální individuální efektivní dávky naměřené v letech 2005 a 2006, uvedené v tabulce 4.1 dokladují, že u žádného pracovníka nedošlo k překročení limitu podle vyhlášky 307/2002 Sb. §20 odstavce (1), písmene (b). v platném znění. Dále lze potvrdit i nepřekročení limitu 100 mSv za 5 za sebou jdoucích kalendářních roků (podle § 20 odstavce (1), písmene (a) vyhlášky 307/2002 Sb. v platném znění), protože na JE Temelín je vnitřním předpisem stanoven limit individuální efektivní dávky 20 mSv/kalendářní rok a ten nebyl za celou dobu provozu překročen u žádného pracovníka.

Limit pro ekvivalentní dávku pro končetiny podle vyhlášky 307/2002 Sb. §20 odstavce (1), písmene (e) nebyl překročen, protože za sledované období došlo pouze dvakrát k překročení záznamové úrovně ekvivalentní dávky pro končetiny.

Velice důležitou skutečností je, že za celou dobu provozu JE Temelín nedošlo u žádného pracovníka k překročení záznamové úrovně při monitorování vnitřní kontaminace.

Na základě výše uvedených údajů lze potvrdit, že profesionální expozice radiačních pracovníků JE Temelín monitorovaná pomocí stávajících platných metodik a projektového přístrojového vybavení splňuje předepsané limity.

5.2 Posouzení výhodnosti a nedostatků filmové dozimetrie a elektronické dozimetrie

V současné době se v JE Temelín k zabezpečení legálního měření osobních efektivních dávek radiačních pracovníků z externího ozáření používají pasivní filmové dozimetrie. Mezi výhody filmového dozimetru patří trvalý záznam údaje s možností opětovné analýzy vyvolaného filmu bez ztráty informace. Výhodou ve srovnání s EPD je nízká cena vlastního dozimetru. Filmová dozimetrie je dostatečně spolehlivá, při použití havarijního filmu i v případě ozáření vyššími dávkami. Díky dlouhodobým zkušenostem je metodika měření propracovaná a ověřená.

Filmová dozimetrie má ovšem také své nevýhody. Film je citlivý na vysokou vlhkost, teplotu a některé chemikálie. Při poškození světlotěsného obalu dojde k znehodnocení filmu a ztrátě informace o dávce. Použití FD pro měření neutronů je omezené na detekci tepelných neutronů. Toto měření je navíc limitováno přítomností záření gama. Nespornou nevýhodou FD je nemožnost okamžitého odečtení dávky. Měření malých dávek (pod cca 0,5 mGy) je zatíženo větší chybou. Rozšíření rozsahu měřitelných dávek nad cca 5 Gy nebo pod 0,1 mGy není možné bez použití dalšího filmu. Nevýhodou je také omezená doba použitelnosti filmů.

Elektronický osobní dozimetr je nyní používán jako dozimetr operativní zejména ve vztahu k prováděným pracovním činnostem a jako dozimetr havarijní. Vývoj těchto dozimetrů bude i nadále pokračovat tak, aby byla postupně odstraněna všechna závažnější omezení pro jejich použití jako primárních prostředků pro sledování profesionální

expozice v praxi. Tento trend je již nyní velmi zřetelný například ve Velké Británii nebo ve Francii.

Elektronická osobní dozimetrie je perspektivní metodou jak z hlediska vysoké citlivosti (externí ozáření lze detekovat již od $1\mu\text{Sv/hod}$), tak z hlediska operativnosti. Hlavními výhodami EPD je možnost okamžité informace o dávce, dávkovém příkonu, dávkovém profilu a výstražné funkce - EPD dovede opticky a akusticky signalizovat překročení alarmových mezí (tyto meze lze navíc operativně nastavovat) a varovat tak pracovníka o skutečnosti, že se pohybuje v prostoru se zvýšenou radiací (tyto funkce žádný jiný typ osobního dozimetru nemá).

5.3 Srovnání stávajícího a navrhovaného programu monitorování

V navrženém programu monitorování je za základní prostředek pro sledování osobních dávek ze zevního ozáření považován elektronický dozimetr DMC 2000XB. Monitorování pracovníků mimo KP HVB a BAPP (tj. v KP laboratořích osobní dozimetrické kontroly a v KP laboratoře radiační kontroly okolí v Č. Budějovicích) je prováděno pouze filmovými dozimetry s periodou vyhodnocení 1 měsíc, protože zavedení systému elektronické dozimetrie v těchto kontrolovaných pásmech by bylo jednak finančně velice náročné a jednak nadstandardní, protože tato kontrolovaná pásma jsou provozována jako pracoviště pouze II. kategorie oproti IV: kategorii na HVB a BAPP.

Problémem zůstává monitorování pracovníků mimo KP HVB a BAPP, zbudování terminálů pro EPD v těchto kontrolovaných pásmech by bylo finančně náročné, proto je zde zachováno monitorování FD s periodou vyhodnocení jeden měsíc.

Pro základní sledování $\text{Hp}(10)$ od neutronů je zvolen dozimetr DMC 2000GN stejného výrobce. Výhodou oproti stávajícímu elektronickému neutronovému dozimetru firmy Siemens je širší rozsah měření a vyšší přesnost. Jako náhradní prostředek pro měření $\text{Hp}(10)$ od neutronů je navržen TL Albedo dozimetr. Vyhodnocené výsledky slouží pro verifikaci údajů z DMC 2000GN.

Ekvivalentní dávka pro končetiny je v navrženém programu monitorování sledována pomocí TLD, ve formě náramku nebo prstenu. Výhodou náramku je možnost zvo-

lit umístění dozimetru na ruku nebo na nohu. Náramkové TLD používané v současné době mají upínací pásek vyrobený z textilie, což se ukázalo jako nepraktické z hlediska dekontaminace. I přes tyto nevýhody je tento dozimetr navržen do programu monitorování, protože s ohledem na stávající technické vybavení se mi nepodařilo najít vhodnější typ.

DMC 2000 XB byl zvolen pro sledování Hp(10) při výjimečném ozáření, oproti stávajícímu FD se zde uplatňují výhody elektronické dozimetrie, především nastavení alarmů.

Pro sledování radiační zátěže u osob zasahujících při radiační nehodě nebo havárii je navržen DMC 2000 S, jehož vlastnosti jsou pro tento účel dostačující. Pokud by počet těchto dozimetrů v dané situaci nedostačoval, byly by využity dozimetry DMC 2000 XB.

Vzhledem k zaměření navrhovaného programu monitorování neobsahují části věnované vnitřní kontaminaci výrazné inovace.

6 Závěr

Monitorovací program navržený v této diplomové práci je koncipován jako reálný, tzn., že jsou do něj zahrnuty skutečně dostupné měřicí dozimetrické prostředky a postupy a že zohledňuje reálné technicko-organizační podmínky zavedené v provozu JE Temelín.

Navrhovaný monitorovací program svou koncepcí a obsahem vyhovuje všem požadavkům legislativy České Republiky.

Referenční úrovně v monitorovacím programu jsou nastaveny jednak s ohledem na limity stanovené legislativou České republiky a jednak s ohledem na specifická omezení stanovená vnitřními předpisy JE Temelín.

V souvislosti s rozvojem elektronické dozimetrie (a výhod z ní vyplývajících) a počítačových informačních systémů je v navrženém programu monitorování pojata elektronická dozimetrie jako primární systém osobního monitorování, filmová dozimetrie jako záložní.

Na základě analýzy výsledků osobního monitorování profesionálních expozic za roky 2005 a 2006 uvedené v kapitole 4.1 je možné říci, že na příspěvku k efektivní dávce se nejvíce podílí zevní ozáření gama, příspěvky způsobené dávkou od neutronů ani z vnitřní kontaminace nejsou významné.

Z analýzy výsledků vyplývá, že stávající program monitorování zaručuje nepřekročení legislativních limitů i vnitřních limitů JE Temelín.

Použití navrhovaného programu monitorování umožňuje provádět efektivnější a průkaznější analýzy ozáření pracovníků a díky tomu efektivnější implementaci principu optimalizace na činnosti vykonávané v kontrolovaném pásmu JE Temelín.

7 Literatura

- 1) *DMC 2000GN Gamma & Neutron Personal Electronic Dosimeter*,
<http://www.gammadata.se/ULNewsFiles/DMC2000GN.pdf>, 15.3.2007, 18:12:54
- 2) *DMC 2000 S Personal Electronic Dosimeter*,
http://www.bilsolutions.co.uk/pdf/datasheets_new/FTCA_128167A_DMC2000S.pdf, 15.3.2007, 19:26:37
- 3) *DMC 2000XB Gamma, Beta & X-Ray Personal Electronic Dosimeter*,
http://www.bilsolutions.co.uk/pdf/datasheets_new/FTCA_128144A_DMC2000XB.pdf, 15.3.2007, 18:56:59
- 4) FIALA, L. KULICH, V. *Programy monitorování radiační situace v JE Dukovany*,
Bezpečnost jaderné energie 2004, č.7/8, s 216-220, ISSN 1210- 7085
- 5) *Harshaw TLD Materials data sheet*,
http://www.thermo.com/eThermo/CMA/PDFs/Product/productPDF_25878.pdf,
30.4.2007, 21:12:54
- 6) HRAZDIRA, I. MORNSTEIN, V. *Lékařská biofyzika a přístrojová technika*,
1.vyd. Brno: Neptun 2001, 381 s. ISBN 80–902896-1–4
- 7) JUROCHOVÁ, B. ZELENKA, Z. *Zkušenosti z provozu elektronické osobní dozimetrie v kontrolovaném pásmu Jaderné elektrárny Dukovany*,
Bezpečnost jaderné energie 2004, č.7/8, s 234–236, ISSN 1210–7085
- 8) KLENER, V. et al. *Principy a praxe radiační ochrany*. 1.vyd. Praha: Azin CZ pro Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2000. 619 s. ISBN 80–238-3703–6

- 9) Klik, F. DALIBA, J. *Jaderná energetika*, 1.vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT 1995, ISBN 80-01-01280-8
- 10) KOC, J. KULICH, V. JUROCHOVÁ, B. FÁRNÍKOVÁ, M. *Zavedení systému legální elektronické osobní dozimetrie na JE v České republice*, Prezentace Power Point, Setkání dozimetristů České a Slovenské republiky, Mozolov 19-21.dubna 2006
- 11) KOLÁČEK, P. *Radiační bezpečnost a radiační kontrola pro JE VVER 1000*, Verze 1.0. Brno: Učební texty pro přípravu personálu JEZ odbor příprava a rozvoj personálu v Brně, 1998, 93 s.
- 12) *Měření vnitřní kontaminace osob*. ČEZ, a.s., 2006, Metodika 562rev01, interní dokument ČEZ, a. s.
- 13) *Měření zevního ozáření osob*. ČEZ, a.s., 2006, Metodika 561rev01, interní dokument ČEZ, a. s.
- 14) MOTL, A. *Úvod do radiační chemie*, 1.vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1990, 219 s., ISBN 80-01-00273-X
- 15) MUSÍLEK, L. *Základy dozimetrie II (Ochrana před zářením)*, 1.vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1986,
- 16) MUSÍLEK, L. ŠEDA, J. TROUSIL, J. *Dozimetrie ionizujícího záření*, Praha: České vysoké učení technické, 1992, 282 s., ISBN 80-01-00812-6
- 17) *Personal monitoring film*,
<http://www.foma.cz/Upload/foma/prilohy/PMF.pdf>, 22. 3.2007, 11:48:29

- 18) *Practical radiation technical manual*, Individual monitoring, Vienna: International Atomic Energy Agency, 2004,
http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/PRTM-2r1_web.pdf
17.3.2007,18:59:10
- 19) *Program monitorování osob*, ČEZ, a.s., 2005, Metodika 573rev00, interní dokument ČEZ, a. s.
- 20) *Radiační ochrana: Zabezpečení osobního monitorování při činnostech vedoucích k ozáření*, Část I.-zevní ozáření, Praha: SÚJB, 2003, ISBN 80–7073-089–7. Účelová publikace bez jazykové úpravy
- 21) *Radiační ochrana: Zabezpečení osobního monitorování při činnostech vedoucích k ozáření*, Část II.-vnitřní ozáření, Praha: SÚJB, 2005, Účelová publikace bez jazykové úpravy
- 22) TOMÁŠEK, M. *Výroční zpráva o monitorování VK za rok 2005*, Temelín 2006
- 23) TROUSIL, J. PLICHTA, J. *Metodika měření pronikavého a povrchového dávkového ekvivalentu fotonového záření a elektronů v ETE dozimetrickými filmy Foma personal monitoring film R 10 a R 2*, CSOD Praha
- 24) *Vyhláška č.307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb.*
- 25) *Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon), ve znění pozdějších předpisů*
- 26) ZELENKA, Z. *První zkušenost s radiofotoluminiscenčním systémem FGD-203 v ČEZ a.s. – Jaderné elektrárně Dukovany*,

- 27) ZMÍTKO, M. PETRECKÝ, I. *Vliv koroze a chemických podmínek na tvorbu radi-
ačních polí v primárním okruhu reaktorů typu VVER*, Dukovany, Bezpečnost ja-
derné energie 2004, č.5/6, s 161–165, ISSN 1210–7085

8 Klíčová slova

Ionizující záření

JE Temelín

Profesionální expozice

Program monitorování osobních dávek

Radiační ochrana

9 Přílohy

Příloha č. 1

Použité zkratky:

BAPP – budova aktivních pomocných provozů
CRRK – centrální dozorna radiační kontroly
CTP – celotělový počítač
EPD – elektronický osobní (personální) dozimetr
FD – filmový dozimetr, filmová dozimetrie
HPGe – vysoce čisté germanium
HVB – hlavní výrobní blok
ISOD – informační systém osobní dozimetrie
IZ – ionizující záření
JE – jaderná elektrárna
KED – kolektivní efektivní dávka
KP – kontrolované pásmo
LRKO – laboratoř radiační kontroly okolí
MDA – minimální detekovatelná aktivita
MDD – minimální detekovatelná dávka
ODK – osobní dozimetrická kontrola
OOPP – osobní ochranné pracovní pomůcky
PM – program monitorování
RN – radionuklid
RPLD – radiofotoluminiscenční dozimetr(ie)
SEOD – systém elektronické osobní dozimetrie
ŠŽ – štítná žláza
TL – termoluminiscenční
TLD – termoluminiscenční dozimetr(ie)
VK – vnitřní kontaminace
VÚ – vyšetřovací úrovně
ZÚ – zásahové úrovně

Příloha č. 2

Externí ozáření sledované pomocí filmové dozimetrie pro rok 2005 (zahrnuje pouze údaje vyšší než záznamová úroveň 0,1 mSv)

Měsíc	Počet hodnocených pracovníků	Kolektivní efektivní dávka [mSv]	Průměrná individuální E [mSv]
1	656	3,29	0,005
2	663	4,05	0,006
3	712	0,45	0,001
4	1066	60,48	0,057
5	1139	141,1	0,124
6	943	68,19	0,072
7	678	6,13	0,009
8	1094	71,37	0,065
9	925	43,83	0,047
10	610	0,28	0,001
11	586	0,85	0,001
12	683	7,17	0,010

Příloha č. 3

Externí ozáření sledované pomocí filmové dozimetrie pro rok 2006 (zahrnuje pouze údaje vyšší než záznamová úroveň 0,1 mSv)

Měsíc	Počet hodnocených pracovníků	Kolektivní efektivní dávka [mSv]	Průměrná individuální E [mSv]
1	683	5,46	0,008
2	607	2,18	0,004
3	612	1,34	0,002
4	571	0,85	0,001
5	598	4,65	0,008
6	978	37,66	0,039
7	906	21,13	0,023
8	793	24,94	0,031
9	950	77,36	0,081
10	767	43,24	0,056
11	648	17,7	0,027
12	555	4,53	0,008

Příloha č.4

Neutronová dozimetrie (zahrnuje pouze údaje vyšší než záznamová úroveň 0,3 mSv)

Měsíc	Počet hodnocených pracovníků (2005)	Počet hodnocených pracovníků (2006)
1	21	15
2	0	10
3	34	7
4	6	9
5	19	23
6	12	19
7	13	0
8	21	35
9	6	33
10	20	3
11	18	17
12	35	17