

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Zdravotně sociální fakulta

Využití osobní dozimetrie na jaderných elektrárnách v zahraničí

Bakalářská práce

autor: Michal Kauca

vedoucí práce: Mgr. Renata Havránková

2006/2007

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Využití osobní dozimetrie na jaderných elektrárnách v zahraničí vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

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

V Českých Budějovicích, dne 21. května 2007

Michal Kauca

Abstrakt

The use of personal dosimetry on nuclear power plants abroad

There is performed the analyse of the use of personal dosimetry on nuclear power plants abroad compared with the situation in Czech Republic in this work.

There is made the quality compare the usage of particular kinds of personal dosimetry on basis of informations got from choice nuclear operations, and the compare it with the situation in Czech Republic. I chose the way of getting of data by e-mail. On basis of got informations I made the compare as was objective this work.

By compare of situation in radiation protection was found, the used personal dosimeters abroad and in Czech Republic are the same type almost. Some states including Czech Republic go over to legalization of personal electronic dosimeter as primary instrument of radiation protection. The matter of interest is the situation in Slovakia, where is receded from this type of dosimeter as primary and they returned to the previous type of dosimeters. Another speciality are the authorised limits for radiation worker in controled zone also for pregnant women in Japan. It isn't usual in other states.

This work refers to influence of personal dosimetry over the level of radiation protection in nuclear establishment and also over the connection of safety disposal in personal dosimetry with approved legislative in choice states, over the necessity of the controle, the competence of personal and also the progressive research and development in personal dosimetry.

It is necessary to see the radiation protection globally. The personal dosimetry will have been not only national problem but also international matter. The new development in the sphere of passive and electronic dosimeters up to the complete global concepts of control is operationed already today in many states and it is offered in the international market still more often.

Poděkování:

Za odbornou pomoc při zpracování předkládané práce chci na tomto místě poděkovat vedoucí práce paní Mgr. Renatě Havránkové.

Obsah	5
Úvod	7
1 Současný stav dané problematiky	8
1.1 Jaderná zařízení a související opatření	8
1.1.1 Základní a kontrolní orgány	8
1.1.2 Jaderná zařízení	10
1.1.3 Kategorizace radiačních pracovníků	11
1.1.4 Režimová opatření	12
1.1.5 Monitorování osobní	13
1.1.6 Faktory ovlivňující interpretaci a správnost výsledků osobního monitorování	15
1.1.7 Kalibrace	16
1.1.8 Evidence osobních dávek u oprávněných dozimetrických služeb	17
1.2 Charakteristika nejčastěji používaných dozimetrů	18
1.2.1 Osobní filmové dozimetry	18
1.2.2 Osobní termoluminiscenční dozimetr	20
1.2.3 Fotoluminiscenční dozimetry	23
1.2.4 Osobní neutronový dozimetr	23
1.2.5 Elektronické dozimetry	26
2 Cíle práce a hypotézy	28
3 Metodika	29
4 Výsledky	31
4.1 Použití osobní dozimetrie v zahraničí	32
4.1.1 Jaderné elektrárny Jaslovské Bohunice a Mochovce – Slovensko	31
4.1.2 Jaderná elektrárna Ignalia – Litva	31
4.1.3 Jaderná elektrárna Forsmark – Švédsko	32
4.1.4 Jaderná elektrárna Ringhals – Švédsko	33
4.1.5 Jaderná elektrárna Krško – Slovinsko	33
4.1.6 Jaderná elektrárna Higašidori – Japonsko	34

4.1.7 Jaderná elektrárna Kozloduj – Bulharsko	34
4.2 Další evropské země	35
4.2.1 Velká Británie	35
4.2.2 Švýcarsko	35
5 Diskuse	38
6 Závěr	42
7 Seznam použité literatury	43
8 Klíčová slova	45

Úvod

Tato práce pojednává o využití osobní dozimetrie na jaderných elektrárnách v zahraničí, s porovnáním osobní dozimetrie používané na jaderných elektrárnách v České republice. Téma mě zaujalo vzhledem k faktu, že využití jaderné energie jako takové se neustále vyvíjí, zdokonaluje, a stejně tak se zdokonaluje ochrana personálu jaderných elektráren, ke které samozřejmě patří i osobní dozimetrie.

Práce vysvětluje nezbytná opatření k používání osobní dozimetrie, přijatá režimová opatření a kategorizaci radiačních pracovníků. Dále se zabývá používanými druhy osobních dozimetrů, popisuje výhody i nevýhody jednotlivých typů a způsoby měření ionizujícího záření na jaderných elektrárnách a jejich vyhodnocováním.

Cílem bakalářské práce je komplexně rozebrat využití osobní dozimetrie na jaderných elektrárnách jak v České republice, tak hlavně na jaderných elektrárnách v zahraničí vzhledem k použitým typům osobních dozimetrů.

Práce poukazuje na vliv osobní dozimetrie na úroveň radiační ochrany v jaderném zařízení a také na návaznost bezpečnostních opatření v osobní dozimetrii na přijatou legislativu ve vybraných zemích, stejně jako na nezastupitelnost kontroly, kompetenci personálu i pokračující výzkum a vývoj v oblasti osobní dozimetrie.

1 Současný stav dané problematiky

1.1 Jaderná zařízení a související opatření

1.1.1 Základní a kontrolní orgány

Základním kamenem systému radiační ochrany je Evropská síť pro uplatňování principu ALARA. ALARA je zkratka slov „as low as reasonably achievable” a znamená „tak nízké, jak je rozumně dosažitelné” ve vztahu k usměrňování expozice populace (pracovníků se zdroji i obyvatelstvo) nebo-li jedná se o optimalizaci radiační ochrany. Smyslem je, aby při provozování zdrojů záření velikosti individuálních dávek, počet ozářených osob a pravděpodobnost ozáření byly tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout při respektování hospodářských a sociálních hledisek.

Od roku 1980 je princip ALARA obsažen v European Basic Safety Standards. Ve směrnici Euratomu 96-29 byl označen jako základní kámen systému radiační ochrany. Po celá osmdesátá léta a začátek let devadesátých byl integrován do mnoha národních předpisů a programů radiační ochrany, zejména v jaderném průmyslu. V roce 1996 se Evropská komise rozhodla založit webové stránky <http://ean.cepn.asso.fr>, aby tak podpořila výzkumné programy zabývající se optimalizací všech typů profesionálních expozic, a aby usnadnila šíření zkušeností a osvědčených praktik ve všech oblastech průmyslu a výzkumu v Evropě (SÚRO, 2007).

Roku 1957 byla z popudu OSN založena Mezinárodní agentura pro atomovou energii (MAAE) se sídlem ve Vídni, která spojením mezinárodních zkušeností i autoritou kontrolních orgánů neobyčejně přispěla k tomu, že jaderná zařízení snížila rizika jak pro své zaměstnance, tak pro okolí na velmi nízkou míru.

Stav jaderné bezpečnosti podle mezinárodních pravidel a norem prověřuje zvláštní služba MAAE označená OSART (Operational Safety Team). Její osvědčení dává pracovníkům, obyvatelům v okolí jaderných elektráren i každému státu mezinárodní jistotu. Mezinárodní bezpečnosti napomáhá i organizace WANO, sdružující provozovatele jaderných elektráren, dále poradní skupina pro jadernou bezpečnost INSAG a další (Tůma, 1998).

Dalším důležitým orgánem je UNSCEAR - United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Je to komise hodnotící efekty způsobené expozicí ionizujícímu záření. Její výpočty a odhady jsou základem pro ohodnocení radiačního

rizika a vývoj a zlepšování ochranných opatření. UNSCEAR byl založen 3.12.1955 patnácti státy, mezi kterými bylo i bývalé Československo. V průběhu let se stal UNSCEAR uznávanou autoritou na poli úrovni expozice a biologických efektů způsobených ionizujícím zářením, byť bylo využíváno mírově či vojensky, pocházející z přírodních i umělých zdrojů. V současné době vydává tato organizace zprávy týkající se rizika způsobeného radonem, biologických efektů a efektů na úrovni buněk a epidemiologických studií na téma vlivu ionizujícího záření na vznik rakoviny. V neposlední řadě připravuje a referuje své zprávy pro Valné shromáždění Spojených národů (Jaderne.info, 2007).

Ústředním orgánem naší republiky pro oblast jaderné bezpečnosti a ochrany před ionizujícím zářením je Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB), který sídlí v Praze. Tento úřad vykonává prostřednictvím svých inspektorů odborný dozor nad veškerým výzkumem a využíváním vlastností atomového jádra. Spolupracuje při tom s Mezinárodní agenturou pro atomovou energii (MAAE). Součástí SÚJB je Státní ústav radiační ochrany (SÚRO), který se věnuje přímo měření a vyhodnocování radiační situace, například na místech určených inspektory SÚJB. SÚRO také řídí sběr a vyhodnocování dat z Radiační monitorovací sítě České republiky. Plnění tak zodpovědných úkolů musí předcházet nejen pečlivá volba metod měření a přístrojového vybavení, ale i co nejuplněnější znalosti o vlivu záření na přírodu a lidský organismus. Na SÚRO pracuje vedle fyziků i několik biologů a lékařů, kteří sledují nejnovější poznatky v této oblasti a sami k nim přispívají podle výzkumů, které provádějí v naší republice (Mlynář, 1997).

Pořádek a přesnost v oboru měření radioaktivity a dozimetrie zabezpečuje Český metrologický institut – inspektorát pro ionizující záření (ČMI-IIZ). Základem jeho práce je rozvíjení státních etalonů, tedy přístrojů, které definují vzorová měření. Etalony zde vzorově určují aktivitu (jednotka becquerel, Bq), expozici a dávku fotonového záření (jednotka gray, Gy) a dávkový ekvivalent neutronového záření (jednotka sievert, Sv). ČMI-IIZ provádí i zkoušky pro nově dodávané měřicí systémy a pravidelné kontroly a kalibraci u již používaných přístrojů. ČMI-IIZ dodává také přesné radioaktivní etalony (vzory) pro všechny organizace, které potřebují stále ověřovat kvalitu svých měřicích přístrojů, tedy pro průmysl, pro zdravotnictví i pro výzkum (Mlynář, 1997).

V České republice jsou dvě jaderné elektrárny, Temelín a Dukovany. Na obou je také samozřejmě zavedeno osobní monitorování, a to na základě českých zákonů i mezinárodních předpisů a požadavků. Je to hlavně zákon č. 18/1997 Sb. (Atomový zákon), vyhl. č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně, vyhl. č. 419/2002 Sb., o osobních radiačních průkazech a další doporučení. Kritéria pro zavedení osobního monitorování jsou přesně definovaná a provozovatel jaderné elektrárny tak musí splňovat přísné normy pro schválení provozu osobního monitorování, bez něhož by jaderné zařízení nemohlo být spuštěno do provozu.

1.1.2 Jaderná zařízení

Pracoviště s jaderným zařízením je pracovištěm IV. kategorie, na němž se vždy vymezuje kontrolované pásmo a musí být zabezpečeno osobní monitorování v plném rozsahu. Monitorováním musí být pokryto stanovení dávek z zevního i vnitřního ozáření, neutronů a ozáření extremít. Před započítím každé činnosti se provede vyhodnocení radiační situace v daném místě a u daného zařízení a provede se odhad dávek. Pracovníkům se plánují dávky pro určitou činnost v daném čase. Dávky jsou sledovány a vyhodnocovány po ukončení každé činnosti. Tento způsob kontroly dávek je zajištěn zejména prostřednictvím tzv. R-příkazů, na základě kterého je pracovník před započítím určité práce v kontrolovaném pásmu vybaven ochrannými pomůckami a dozimetrickými prostředky. Je zpravidla stanovena zvláštní vyšetřovací úroveň vztažena k jednomu R-příkazu a pohybuje se v rozmezí 1 - 2 mSv.

Pro sledování zevního ozáření na těchto pracovištích se používají zpravidla filmové dozimetry s kadmiovým filtrem umožňujícím odhad dávky od tepelných neutronů. Jako neutronový dozimetr je používán albedo-dozimetr při znalosti spekter neutronů vyskytujících se na daných pracovištích nebo dozimetr stopový. Neutronovým dozimetrem jsou vybavováni pracovníci provádějící kontrolu zařízení a vzduchotechniky na palubě hlavního cirkulačního čerpadla a obsluha boroměrů. Pracovníci vstupující do kontrolovaného pásma musí být vždy vybaveni operativním dozimetrem. Operativním dozimetrem je nejčastěji elektronický, náhradním TLD nebo RPL pro případ výpadku elektronického systému.

1.1.3 Kategorizace radiačních pracovníků

Každá osoba vystavená profesnímu ozáření je radiačním pracovníkem. Pro účely monitorování a lékařského dohledu se radiační pracovníci podle ohrožení zdraví ionizujícím zářením zařazují do kategorie A nebo B na základě očekávaného ozáření za běžného provozu včetně předvídatelných poruch a odchylek od běžného provozu s výjimkou ozáření v důsledku radiační nehody nebo havárie.

Do kategorie A jsou zařazeni radiační pracovníci, kteří by mohli obdržet efektivní dávku vyšší než 6 mSv ročně nebo ekvivalentní dávku vyšší než tři desetiny limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetiny, viz. tabulka 1.

Tab. 1 základní limity stanovené vyhláškou č. 307/2002 Sb. (Klener a kol., 2000).

veličina	ZL pro pracovníky se ZIZ (v mSv)		ZL pro učně a studenty (v mSv)	ZL obecné (v mSv)
	za 5 za sebou jdoucích roků	za rok	za rok	za rok
$\Sigma E + \Sigma E_{50}$	100	50	6	1
H oční čočka	-	150	50	15
H kůže ^{a)}	-	500	150	50
H končetiny ^{b)}	-	500	150	

a) vztahuje se na průměrnou ekvivalentní dávku v 1 cm² kůže,

b) končetiny – ruce od prstů až po předloktí a nohy od chodidel až po kotníky.

Všichni pracovníci kategorie A musí být vybaveni osobními dozimetry. Ostatní radiační pracovníci jsou zařazeni do kategorie B. Pracovníci se zařazují do uvedených kategorií na základě typu prováděných radiačních činností a odhadu možných dávek, které lze při nich obdržet. Nelze tedy v žádném případě argumentovat nízkými

obdrženými dávkami pracovníků na daném pracovišti v určitém období s cílem zdůvodnit zastavení osobního monitorování. Vždy je nutné provést analýzu a odhad možných dávek pro situace, které se mohou na pracovišti vyskytnout, včetně předvídatelných odchylek od běžného provozu, jak je požadováno. U pracovníků kategorie A je v souladu s legislativou nutno zajistit:

- pravidelné výměny a vyhodnocování osobních dozimetřů, a to podle SÚJB schváleného programu monitorování,
- okamžité výměny a vyhodnocení osobních dozimetřů v případě podezření nebo vzniku radiační nehody,
- seznamování pracovníků s výsledky vyhodnocení dávek z jejich osobních dozimetřů.

1.1.4 Režimová opatření

Technologické prostory jaderné elektrárny jsou z hlediska rizika ozáření obvykle rozděleny na prostory s omezeným pobytem (POP) a prostory s neomezeným pobytem (PNP). Hranicí pro rozdělení prostor byla projektem očekávaná možnost dosažení úrovně příkonu dávkového ekvivalentu $10 \mu\text{Sv/h}$.

Nutnost režimových opatření ve výše uvedených prostorách definuje tyto prostory, v souladu s legislativou, jako kontrolovaná pásma a zároveň určuje i ostatní (zbývající) část elektrárny, kde není nutné kontrolovaná pásma vymezovat, pokud tam není nakládáno s jinými zdroji ionizujícího záření (např. defektoskopie, metrologie), které režimová opatření vyžadují. Prostory s omezeným pobytem jsou obvykle prostory zajišťující za provozu elektrárny hermetické oddělení komponent primárního okruhu, jako jsou např. prostory barbotážního systému (v případě JE Dukovany) nebo vnitřní prostor kontejmentu.

Jedno z kritérií (dle původního projektu), které lze použít pro stanovení rozsahu obsluhovaných prostor lze odvodit přímo z ustanovení vyhlášky č. 307/2002 Sb.

Rozumně dosažitelná úroveň ochrany pracovníků kategorie A a B je prokázána, jestliže roční individuální efektivní dávka u těchto pracovníků nepřekročí směrnou hodnotu 1 mSv (§ 7 odst. 2). Za předpokladu ročně odpracovaných 2000 hodin pak vyplývá, že směrná hodnota nebude překročena, pokud trvalý příkon efektivní dávky z vnějšího ozáření nepřekročí $1 \text{ mSv}/2000 \text{ h} = 0,5 \text{ } \mu\text{Sv/h}$ a pokud lze vyloučit ozáření z příjmu radionuklidů. V takových prostorách je neúčelné přijímat další opatření nebo provádět optimalizační analýzy za účelem snížení ozáření.

Klasifikace prostor jaderné elektrárny z hlediska režimových opatření je již zahrnuta v projektu a slouží k odhadu roční kolektivní efektivní dávky i maximálních individuálních efektivních dávek. Tyto odhady jsou jedním z kritérií při posuzování vhodnosti projektu a dostatečnosti úrovně radiační ochrany. Z praktického hlediska je žádoucí celou plochu elektrárny již v projektu rozdělit na zónu čistou (prostory, kde za normálního provozu nejsou pracovníci vystaveni působení zdrojů ionizujícího záření, např. administrativa a některé pomocné provozy) a zónu možného znečištění, ve které budou zahrnuty nejen prostory vyžadující za normálního provozu režimová opatření (tj. prostory s plánovaným kontrolovaným pásmem), ale i prostory, které by mohly být znečištěny, např. v důsledku přepravy kontaminovaných technologických dílů nebo jiných činností při údržbě a opravách (Klener a kol., 2000).

1.1.5 Monitorování osobní

Měření a vyhodnocování individuálního vnějšího i vnitřního ozáření slouží především k regulaci osobních dávek a jejich udržování na rozumně dosažitelné nízké úrovni. Musí poskytnout informaci nejen o celkové efektivní dávce jednotlivce za sledované období (zpravidla jeden měsíc), ale i o rozložení této dávky v závislosti na prováděných činnostech. Velkou pozornost v procesu monitorování a usměrňování osobních dávek je třeba věnovat pracovníkům, kteří dodavatelsky zajišťují údržbu, opravy a jiné činnosti vedoucí k ozáření, a to zejména s ohledem na skutečnost, že tytéž činnosti mohou tito pracovníci vykonávat na více elektrárnách, ať již na území ČR nebo mimo ně. V projektu jaderné elektrárny musí být vyčerpávajícím způsobem specifikovány všechny technické prostředky i metodiky, které budou používány pro měření a vyhodnocování individuálního vnějšího i vnitřního ozáření. Z hlediska činností

připadá významný podíl kolektivní efektivní dávky na údržbu, opravy a generální opravy při odstávkách (Klener a kol., 2000).

Monitorování zevního ozáření

Monitorování zevního ozáření osob se za normálních podmínek uskutečňuje jednak osobními dozimetry, jednak na základě údajů monitorů pracovního prostředí. Nepřekročení limitů pro profesionální ozáření se považuje za dostatečně prokázané, pokud nejsou překročeny stanovené odvozené limity, vyjádřené ve snáze měřitelných veličinách. Tento předpoklad je realistický, když osobní dozimetr kalibrovaný v dané veličině vykazuje "požadovanou" energetickou a úhlovou závislost, a radiační pole je "dostatečně" homogenní, aby údaj dozimetru byl reprezentativní pro ozáření osoby. V principu lze v praxi očekávat tři typy ozáření pracovníka, příp. jejich kombinaci:

- a) dominantně ve směru hrud' – záda; ve většině případů se pracovník při práci nachází čelem ke zdroji záření,
- b) ze zadního poloprostoru; zpravidla při transportu radioaktivních látek (řidič – náklad),
- c) rovinně či sféricky isotropním polem; činnost v poli rozptýleného záření, při změnách orientace pracovníka vůči zdroji.

Volba osobního dozimetru pak závisí nejen na druhu záření v daném radiačním poli, nýbrž i na tom, jaká dozimetrická informace je vyžadována. V radiačních polích, kde je dominující složkou záření gama, je zpravidla postačující měření veličiny $H_p(10)$ pomocí jednoduchého osobního dozimetru (k tomuto účelu se používají dozimetry citlivé a energeticky nezávislé v dané veličině v širokém energetickém rozsahu) termoluminiscenční, fotoluminiscenční, filmové a elektronické. Řada moderních elektronických dozimetrů je rovněž schopna zajistit přímé měření $H_p(10)$ s energetickým prahem 20 až 80 keV. V případě ozáření typu a) a zpravidla i typu c) se osobní dozimetr nosí na referenčním místě, jímž je přední levá strana hrudníku, tj. obvykle nejvíce ozařovaná oblast těla. V případě ozáření typu b) je doporučováno nošení dozimetrů na zádech, či doplnění dozimetru nošeného na referenčním místě o dozimetr na zádech. Je-li radiační pole tvořeno pronikavým zářením (zářením gama a

rentgenovým zářením s vyšší energií) lze i pomocí osobního dozimetru umístěného na straně těla odvrácené od zdroje záření odhadnout dávku, kterou pracovník obdrží, příp. i směr ozáření.

Jestliže radiační pole obsahuje významný podíl slabě pronikavého záření (záření beta, elektrony a fotony s energií nižší než 30 keV), kdy hodnota $H_p(0,07)$ může být vyšší než hodnota $H_p(10)$, je nutné, aby osobní dozimetr byl schopen měřit dávkový ekvivalent též v hloubce 7 mg.cm² (to odpovídá hloubce 0,07 mm v tkániekvivalentním prostředí s hustotou 1 g/cm³). K tomu se využívají filmové dozimetry s vhodně volenou sestavou absorpčních filtrů nebo vícesložkové termoluminiscenční dozimetry umožňující stanovení jak $H_p(10)$ tak i $H_p(0,07)$.

Měření dávkového ekvivalentu v hloubce 3 mg.cm² není zpravidla nutné – dávkový ekvivalent v oční čočce se s dostatečnou přesností dá ocenit pomocí hodnot $H_p(0,07)$ a $H_p(10)$. V silně nehomogenních radiačních polích, kdy hodnoty $H_p(0,07)$ a $H_p(10)$ nejsou dostatečně reprezentativní pro hodnocení ozáření oční čočky a současně toto ozáření může být významné, je třeba umístit dozimetr v blízkosti očí (na čapce, čele apod.).

Zvláštní pozornost z hlediska osobní dozimetrie představují směsná pole záření gama a neutronů. Ve většině v praxi se vyskytujících směsných radiačních polí (radiační pole za masivními stíněními – jaderné reaktory, urychlovače) je podíl složky záření gama tak významný, že na základě údaje dozimetru fotonů lze s dostatečnou přesností odhadnout i celkové ozáření pracovníka. Jsou však radiační situace, například při karotážních pracích, kdy pracovníci se nacházejí v polích prakticky nestíněných neutronových zdrojů. V těchto případech může být podíl neutronové složky dávky natolik významný, že monitorování osobním dozimetrem záření gama musí být doplněno o osobní neutronový dozimetr např. vícesložkový albedo-dozimetr či dozimetr na bázi detektorů stop s různými typy radiátorů (Klener a kol., 2000).

1.1.6 Faktory ovlivňující interpretaci a správnost výsledků osobního monitorování

Interpretace výsledků osobní dozimetrie spočívá v “převedení” veličin přímo měřených na veličiny, v nichž jsou stanoveny základní limity ozáření tj. na ekvivalentní či efektivní dávku. Při takové interpretaci bude velikost chyb záviset na přesnosti a

správnosti s jakou je daný dozimetr schopen stanovit dozimetrickou veličinu, v níž je kalibrován, a jak správný bude postup interpretace měřené veličiny na veličinu, v níž jsou stanoveny limity ozáření. Velké úsilí bylo věnováno v osobní dozimetrii vývoji osobního dozimetru, který by byl schopen stanovit danou dozimetrickou veličinu energeticky nezávisle, tzn. správně a dostatečně přesně odhadnout ozáření osoby bez ohledu na to, v jakém, z hlediska energetické distribuce, radiačním poli byla ozářena. I když se podařilo vyvinout sofistikované systémy, splňující alespoň částečně tento požadavek, setkala se tato cesta brzy s řadou omezení plynoucích zejména z toho, že se měnily veličiny, v nichž odezva dozimetrů má být interpretována.

S rozvojem výpočetní techniky se vhodnějším ukázalo naopak použití detektorů s výraznou energetickou závislostí. Kombinací těchto detektorů a vhodné výpočetní metody lze vytvořit vícesložkový dozimetr, kterým lze ocenit libovolnou dozimetrickou veličinu při zachování technického řešení dozimetru - pouze změnou matematické metody vyhodnocení odezvy jednotlivých komponent dozimetru (poměry odezev, jejich lineární kombinace, metody založené na pravděpodobnostních odhadech, apod.). V závislosti na cíli, k němuž osobní dozimetr má být použit, se volí jedna z dále uvedených alternativ:

- pro „čistá“ fotonová pole, či v případech, kdy jde o potvrzení, že v dominantní složce radiačního pole nedošlo k významné kvantitativní změně, je vhodné použít jednoduché, „energeticky nezávislé“ kompenzované dozimetry (např. na bázi TL-dozimetrů),
- ve složitých, či z hlediska rizika ozáření osob významných radiačních polích se preferují komplexní, vícesložkové dozimetry (Klener a kol., 2000).

1.1.7 Kalibrace

Postupem času se dospělo k požadavkům, které je třeba splnit, má-li osobní dozimetr měřit správně a dostatečně přesně. Předně je třeba mít k dispozici reprezentativní soubor referenčních kalibračních polí a technických prostředků, které

dovolí provést kalibraci dozimetru a otestovat:

- linearitu odezvy dozimetru a rozsah měřitelnosti dozimetrické veličiny,
- závislost odezvy na úhlové distribuci radiačního pole,
- závislost odezvy dozimetru (jeho složek) k různým druhům záření,
- citlivost dozimetru k různým fyzikálním a chemickým vlivům, stabilitu odezvy dozimetru v čase (Klener a kol., 2000).

1.1.8 Evidence osobních dávek u oprávněných dozimetrických služeb

V České republice působí Celostátní služba osobní dozimetrie (CSOD), dnes samostatná organizace specializovaná na měření dávek, které obdrží lidé pracující s ionizujícím zářením. Tato společnost zpracovává ročně asi 200 tisíc dozimetrů od 20 tisíc osob, které jsou v naší republice vystaveny riziku ozáření. Společnost CSOD také eviduje a zasílá všem podnikům, pro které provádí dozimetrii, roční přehledy dávek sledovaných pracovníků. Z hlediska přesnosti měření byla CSOD zařazena Mezinárodní agenturou pro atomovou energii mezi nejlepší (Mlynář, 1997).

Oprávněná dozimetrická služba archivuje údaje o osobních dávkách pracovníků kategorie A nejméně 1 rok následující po roce, kterého se údaje týkají. Oprávněná dozimetrická služba předává výsledky hodnocení ozáření ve formě stanovené v podmínkách povolení nebo dohodnuté s SÚJB příslušnému držiteli povolení a také přímo SÚJB:

- a) neprodleně po vyhodnocení dozimetru z důvodu neplánovaného jednorázového ozáření,
- b) neprodleně po zjištění efektivní dávky ze zevního ozáření převyšující 20 mSv a ekvivalentní dávky ze zevního ozáření převyšující 150 mSv,
- c) neprodleně po zjištění úvazku efektivní dávky z vnitřního ozáření převyšující 6 mSv.

Oprávněná dozimetrická služba oznamuje SÚJB do 1 měsíce uzavření nebo zrušení smlouvy o provádění osobní dozimetrie na daném pracovišti s držitelem povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření. Dávky obdržené radiačními pracovníky kategorie A při výjimečných ozářeních podle a dávky obdržené při

radiačních mimořádných situacích se evidují samostatně a nesčítají se s dávkami obdrženými při běžném provozu (Vyhl. 307/2002 Sb.).

1.2 Charakteristika nejčastěji používaných osobních dozimetrů

1.2.1 Osobní filmové dozimetry

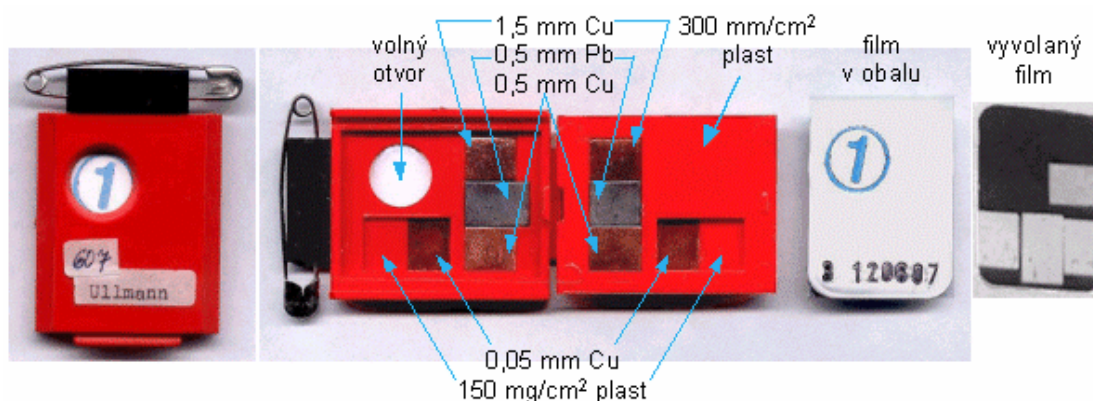
Základním typem osobního dozimetru v polích záření gama a ve směsných polích záření gama a beta stále zůstává filmový dozimetr. Filmové dozimetry jsou založeny na fotochemických účincích ionizujícího záření. Základem filmového dozimetru je políčko fotografického filmu, světlotěsně zabalené do černého papíru (od běžného fotografického filmu se liší tím, že má tlustší emulzi s vyšším obsahem bromidu stříbra). Ionizující záření prochází obalem filmu a ve fotoemulzi vytváří latentní obraz, který se vyvoláním zviditelní. Optická hustota zšednutí či zčernání filmu, kterou lze vyhodnocovat fotometricky, je pak mírou integrálního množství záření, které filmem prošlo během expozice; indikuje tím i dávku záření, která by byla absorbována v tkáni vystavené této expozici.

Vlastní políčko filmu se vkládá do plastového pouzdra, opatřeného několika malými obdélníčky měděných a olověných plíšků o různých tloušťkách, které slouží jako filtry pohlcující záření γ v závislosti na jeho energii. Tyto filtry slouží jednak ke korekci závislosti zčernání na energii záření, jednak porovnáním zčernání pod jednotlivými filtry lze odhadnout druh a zhruba i energii záření (samotný film samozřejmě nemá spektrometrické vlastnosti).

Filmový dozimetr nosí pracovníci na referenčním místě (levá strana hrudníku) a pravidelně (1-krát za měsíc) je vyměňován, vyvoláván a fotometricky vyhodnocován; s použitím vhodného kalibračního faktoru je výslednou měřenou hodnotou efektivní dávka v mSv. Výhodou filmového dozimetru je nízká cena a možnost přibližného stanovení kvality svazku. Naopak nevýhodou je závislost odezvy na vyvolávacím procesu a poměrně velký šum (způsobený zčernáním neozářeného dozimetru vlivem teploty a dalších faktorů).

Filmový dozimetr poskytuje informace o osobním dávkovém ekvivalentu od

fotonového záření a elektronů, druhu a energii záření, směru a časovém rozložení ozáření a o případné kontaminaci.



Obr. 1 Osobní filmový dozimetr

Dozimetr se skládá z dozimetrické kazety s kompenzačními filtry a dozimetrického filmu. Dozimetrický film je oboustranně překryt sadou filtrů tvořených zpravidla Cu, Al, Pb, Sn, apod. Výrazná závislost odezvy filmového dozimetru na energii fotonů a elektronů dovoluje, aby při použití části nestíněného filmu a vhodné sady absorpčních filtrů byl z něj vytvořen vícesložkový dozimetr. Pak na základě vyhodnocení zčernání filmu pod nestíněnou plochou a pod jednotlivými filtry je možno stanovit požadovanou dozimetrickou veličinu; v intervalu v praxi se běžně vyskytujících energií (řádově do několika 10^2 keV) fotonů lze získat i s jistou informací o energetické distribuci této veličiny. V řadě radiačních polí lze odhadnout velikost ozáření přímo pomocí odezvy filmového dozimetru pod Pb filtrem. Naopak v polích záření beta a v nízkoenergetických rtg polích se využívá kombinace odezvy nestíněného filmu odezvy pod nejtenčími (Cu) filtry. Pro vyšší energie fotonů (větší než 100 keV) lze při použití filtru z látky o vysokém Z (zpravidla Pb) a o různé velikosti na jednotlivých stranách filmu ocenit i směr ozáření osoby. Jestliže dojde ke kontaminaci filmového dozimetru, lze tuto skutečnost při vyhodnocení filmu zpravidla poznat, i když někdy za cenu ztráty informace pod některými filtry (Klener, 2000).

Pro dosažení optimálních vlastností je nutné zajistit, aby filmový dozimetr byl nošen na referenčním místě na oděvu (neumísťuje se do kapsy apod.) a to tak, aby

okénko (otvor v kazetě) bylo odvráceno od těla.



Obr. 2 Osobní filmový dozimetr

1.2.2 Osobní termoluminiscenční dozimetr

Termoluminiscenční dozimetry jsou vhodné krystalické látky, v nichž ionizující záření vyvolává excitace a zachycení elektronů v energeticky vyšších stavech. Při zahřátí jsou zachycené elektrony uvolňovány. Látka vyzařuje světlo, jehož celková energie je úměrná energii ionizujícího záření pohlceného v látce. Detekce vyzářené energie je zpravidla prováděna scintilačními detektory. Používají se různé druhy TL-materiálů, mezi nejznámější patří různými stopovými prvky dopované LiF, CaF₂, MgBeO₄, BeO, apod (Klener, 2000).

Dnes existuje mnoho variant tohoto nejrozšířenějšího TL-dozimetru, lišících se od sebe jak volbou příměsí, tak izotopickým zastoupením Li. Různé izotopické složení Li se volí v závislosti na účelu použití. Standardní LiF dozimetr obsahuje přírodní zastoupení nuklidů ⁶Li a ⁷Li, tedy 7,5 % ⁶Li a 92,5 % ⁷Li, tento dozimetr je označován jako TLD-100. Obohacení izotopem ⁶Li na 95,6 % (označení dozimetru je TLD-600) vede k podstatnému zvětšení odezvy na pomalé neutrony. Naopak dozimetr s 99,99 %

${}^7\text{Li}$ (označení dozimetru je TLD-700) je vůči pomalým neutronům téměř necitlivý. Standardní příměsi dozimetru jsou hořčík a titan. Je-li další příměsí sodík, zjednodušuje se podstatně celá procedura annealingu, buď není vůbec třeba, nebo se provádí pouze půl hodiny při 500 °C, naproti tomu má pouze poloviční citlivost. Použijí-li se příměsi hořčíku, mědi a fosforu, získáváme extrémně citlivý dozimetr s detekčním prahem 50 nGy, 30krát citlivější na fotonové záření než standardní LiF(Mg,Ti), annealing je také jednodušší 250 °C po dobu 10 minut. Hlavní fyzikální formy dozimetrů jsou sintrované tabletky a prášek.



Obr. 3 Osobní termoluminiscenční dozimetr

Výhody a nevýhody TLD

I když se z počátku TL-detektory používaly spíše jako operativní dozimetry, nyní jsou běžné hromadné aplikace v celostátních službách osobní dozimetrie, a to proto, že se podařilo vyvinout nejen standardizované detektory (tzn. ve velkých sériích vyráběné prvky o stejných vlastnostech), nýbrž i odpovídající vyhodnocovací systémy (spojené s PC technikou) dovolující automatizované vyhodnocování.

Výhody TL - dozimetrů:

- existence TL - látek s vlastnostmi blízkými lidské tkáni - což znamená, že energie ionizujícího záření je citlivému objemu detektoru sdělována podobnými (kvalitativně i kvantitativně) procesy jako stejnému objemu lidské tkáně,
- vysoká citlivost (přesnost lepší než 2 %) a možnost přesného měření odezvy,
- poměrně široká oblast lineární závislosti dávka - odezva detektoru,
- možnost mnohonásobného použití detektoru (s opakovaným používáním je přesto třeba sledovat změny citlivosti detektoru),
- malý rozměr detektoru.

Nevýhody TL - dozimetrů:

- citlivost na světlo - což vyžaduje (je-li požadována vysoká citlivost) jejich ochranu světlotěsným obalem. Problémy mohou nastat při použití v dozimetrii záření beta, kde je pozornost zaměřena na používání tenkých TL - detektorů (světlotěsné obaly však zvyšují energetický práh detekce),
- dávka je známa až po vyhodnocení,
- nutnost dodržení přesně definovaného režimu ohřevu,
- nutnost anealingu (vymazání) po každém měření (časově náročné).

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 s kompenzačním filtrem. Poskytuje informace o hodnotě ekvivalentní dávky na končetinách pracovníků při manipulacích v polích fotonového záření s energií vyšší než 30 keV, příp. elektronů s energií vyšší než 2 MeV.



Obr. 4 Prstový dozimetr

1.2.3 Fotoluminiscenční dozimetry

Ne tak široce používanou, nicméně významnou skupinu osobních dozimetrů tvoří fotoluminiscenční detektory. Fotoluminiscence je založena na principu tvorby ionizujícím zářením indukovaných luminiscenčních center v určitých látkách (nejčastěji se používá stříbrem dopovaných fosfátových skel). Luminiscence je vybuzena osvětlením ozářeného detektoru UV světlem. Podobně jako u TL - dozimetrů je vyzářené světlo úměrné dávce ionizujícího záření, jež byla absorbována v detektoru. Vlastnosti fotoluminiscenčních detektorů jsou obdobné TL - detektorům, obecně se vyznačují dlouhodobou stabilitou odezvy, konstantní a vysokou citlivostí, nízkou energetickou závislostí. Princip používání a interpretace odezvy fotoluminiscenčních dozimetrů jsou obdobné jako u TL - dozimetrů. V současné době jsou tyto dozimetry používány dozimetrickými službami jaderných elektráren. Celostátní službou osobní dozimetrie nejsou využívány.

1.2.4 Osobní neutronový dozimetr

Zvláštní oblast osobní dozimetrie tvoří dozimetry neutronů. Nejčastěji jsou používány detektory na principu detektorů stop v pevných látkách a albedo dozimetry. V některých zemích a k některým aplikacím jsou stále používány jaderné emulze.

V poslední době se začínají používat bublinkové detektory.

Nejčastěji se používají tři typy detektorů stop v pevných látkách v závislosti na tom, jaký typ radiátorů používají k vytvoření sekundárních nabitých částic, které v nich v detektoru vytvoří měřitelné stopy:

- detektory se štěpnými radiátory,
- detektory odražených protonů,
- detektory založené na (n,α) reakci.

V první skupině se používají pro detekci rychlých neutronů radiátory na bázi ^{237}Np (energetický práh 0.6 MeV), ^{322}Th (1.3 MeV), ^{238}U (1.5 MeV), pro detekci tepelných a intermediálních neutronů se používá uranových radiátorů obohacených o ^{235}U (někdy současně v a bez Cd-obalu ke stanovení podílu tepelných neutronů). Kombinace detektoru s dvěma radiátory, např. U (s vyšším obsahem ^{235}U) a ^{232}Th lze využít (na základě závislosti poměru počtu stop pod oběma radiátory na střední energii spektra neutronů) k odhadu podílu rychlých a intermediálních neutronů.

Jako detektory rychlých neutronů pracující na bázi odražených protonů se používají látky bohaté na vodík polymerní látka (nejčastěji se používá polycarbonátů, nitrátů celulosy, materiálu typu ^{39}Cr). Při použití výpočetní techniky a z měření parametrů stop (používají se tlusté detektory a odleptávají se různě silné vrstvy detektoru - stanoví se distribuce stop podle jejich délky - energie odražených protonů) lze ocenit i energii, případně distribuci LPE neutrony vytvořených částic a pak usuzovat na energetickou distribuci samotných neutronů.

Specifickou skupinu osobních dozimetrů neutronů tvoří albedo-dozimetry. Jsou založeny na detekci neutronů rozptýlených a zpětně odražených v lidském těle a vstupujících ze zadního poloprostoru do detektoru umístěného na těle. Všechny detektory tepelných neutronů mohou sloužit jako albedo-dozimetry, nejčastěji se používá termoluminiscenčních detektorů, jsou známy i albedo-detektory na bázi stopových detektorů se štěpnými materiály. Nejznámější je dozimetr tvořený dvojicí $^6\text{LiF} + ^7\text{LiF}$ detektorů. Oba detektory mají různou citlivost k neutronům - účinný průřez reakce (n, α) na ^6Li je o několik řádů vyšší než na ^7Li , avšak prakticky stejnou citlivost

k záření gama. Odezva albedo-dozimetru je však silně energeticky závislá. Pomocí kalibrace dozimetru v neutronových polích podobných těm, v nichž se osoby v praxi budou nacházet, lze stanovit pro danou třídu spekter kalibrační faktor, pomocí kterého lze dozimetrickou veličinu stanovit s požadovanou přesností. Obecně však platí, že dostatečně přesné odhady dávky od neutronů v neznámých polích neutronů pomocí albedo-dozimetru lze získat pouze tehdy, když je k dispozici alespoň hrubý odhad podílu rychlých neutronů v daném poli - proto se často kombinuje albedo-dozimetr s dozimetrem rychlých neutronů (nejčastěji se stopovým dozimetrem). Výhodou albedo-dozimetru na bázi dvojice ${}^6\text{LiF} + {}^7\text{LiF}$ 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.



Obr. 5 Osobní neutronový dozimetr

Bublinkové dozimetry jsou založeny na následujícím principu - průhledný, elastický polymer je smíšen s kapkami přehřáté kapaliny (používá se např. freon); interakcí neutronů s polymerem vznikají protony. Jestliže proton se srazí s kapkou může

způsobit její vypaření - vytvoření (v místě vzniku setrvávající) viditelné bubliny v polymeru. Počet vytvořených bublin je úměrný dávce od neutronů absorbované v detektoru. V poslední době se komerčně vyrábějí jak přímo odečitatelné, operativní dozimetry, tak bublinové dozimetry s možností automatického počítání bublin řízené počítačem pro hromadné zpracování odezev. Výhodou těchto dozimetrů je vysoká citlivost (od jednotek μSv), praktická necitlivost k záření gama. Lze vyrobit detektory s energetickým prahem od 100 keV do jednotek MeV. Nevýhodou je vysoká citlivost detektoru k vnější teplotě a nevelký dávkový rozsah, což limituje jejich použití, pokud nejsou kombinovány s jiným typem detektoru.

Uvedené typy neutronového dozimetru se nosí na referenčním místě vedle dozimetru filmového. Dozimetr neutronů nelze nosit ani uchovávat bez dozimetrické kazety (plastické pouzdro) ani bez stínící kadmiové krabičky (Klener a kol., 2000).

1.2.5 Elektronické dozimetry

S vývojem miniaturizace elektroniky, výpočetní techniky, s jejich ekonomickou dostupností nabyly na významu elektronické osobní dozimetry. Zpravidla pracují na bázi GM - detektorů (vhodně kompenzované detektory jsou schopny detekovat fotony o energii vyšší než 30 keV), či v poslední době polovodičových Si-detektorů. Elektronické dozimetry se třemi Si - diodami (z nichž každý má jinou energetickou závislost) umožňují současné měření několika dozimetrických veličin - Hp(10), Hp(0,07), a to odděleně pro záření gama a beta (s energií vyšší než 250 keV). Elektronické dozimetry, jež jsou obvykle signální, lze použít jak pro měření dávky, tak dávkového příkonu. Z počátku se používaly jako operativní dozimetry zejména v jaderných elektrárnách, v poslední době se jejich použití rozšiřuje i do jiných oblastí a začínají se používat dozimetrickými službami i jako legální dozimetry - tzn. autorizované pro hodnocení ozáření osob ve vztahu k limitům. Při spojení elektronického dozimetru s kódovanou kartou a s počítačovým vyhodnocením odezvy dozimetru lze stanovit nejen dávku, kterou osoba obdržela v daném časovém intervalu, ale i v kterém pracovním místě, příp. při jaké pracovní činnosti. Systém dovoluje i celostátní automatizovanou registraci dávek a jejich hodnocení (Klener a kol., 2000).



Obr. 6 Elektronický dozimetr DMC 2000

Vývoj těchto dozimetrů pokračuje a určitě bude i nadále pokračovat tak, aby byla postupně odstraněna všechna závažnější omezení jejich použití jako primárních dozimetrů v praxi (např. vliv vysokofrekvenčních elektromagnetických polí na odezvu dozimetru). Tento trend je již nyní velmi zřetelný např. ve Velké Británii a Francii.

Osobní elektronické dozimetry lze využívat jako samostatné měřicí přístroje, využitelnost je však podstatně vyšší v případě jejich systémového využití. K zapojení do systému se využívá vstupních a výstupních terminálů umožňujících přiřadit jednotlivým osobním elektronickým dozimetrům jméno uživatele, délku trvání, místo a druh prováděné práce.

Výhodou elektronické osobní dozimetrie je okamžitá informace o dávce, dávkovém příkonu a dávkovém profilu; a zejména možnost spojení hodnot obdržené radiační dávky s danou konkrétní činností, zařízením nebo skupinou pracovníků danou činností provádějící. Jestliže hodnota akumulované dávky nebo dávkového příkonu překročí nastavenou prahovou úroveň, je aktivován vizuální a akustický alarm.

Stávajícím technickým nedostatkem elektronické osobní dozimetrie je možné ovlivnění odezvy některých typů elektronických osobních dozimetrů rušivým elektromagnetickým zářením, které vzniká v souvislosti s používáním mobilních telefonů, aplikací různých čteček magnetických karet, nebo třeba i při svařování.

2 Cíle práce a hypotézy

Cílem práce je kvalitativní zhodnocení jednotlivých druhů osobní dozimetrie ve vybraných státech a srovnání se situací v České republice, dále porovnání požadavků ze strany státních orgánů dané země na provoz osobního monitorování a vzájemné porovnání.

Osobní dozimetry používané na jaderných elektrárnách v České republice jsou srovnatelné s dozimetry používanými v jaderných elektrárnách vybraných států. Díky mezinárodní spolupráci v oblasti jaderné bezpečnosti, předávaným zkušenostem a neustálému vývoji v oblasti osobní dozimetrie, je situace v této oblasti na téměř stejné úrovni.

3 Metodika

Na základě informací získaných z vybraných jaderných provozů je zde provedeno kvalitativní srovnání využití jednotlivých druhů osobní dozimetrie a porovnání se situací v České republice.

Ve své práci jsem zvolil způsob získávání dat cestou e-mailů. Využil jsem k tomu seznamy jaderných elektráren zveřejněných na webových stránkách <http://proatom.luksoft.cz> a seznamy ze symposia ISOE. Další odkazy jsem získával i od oslovených institucí zabývajících se radiační ochranou. V e-mailech jsem žádal o informace k používaným typům osobních dozimetrů, jejich schválení, zda se kombinuje více druhů osobních dozimetrů a také zda se na oslovené jaderné elektrárně neuvažuje o změně použitého primárního typu dozimetru. Mé žádosti o informace adresované jaderným elektrárnám, nebo institucím zabývajících se osobní dozimetrií se ne vždy setkaly s pozitivním ohlasem. Zatímco východní státy, kromě Ruska, poskytly informace o osobní dozimetrii celkem rychle a ochotně, a to i včetně Japonska, západní země neposkytly informace žádné. Pokud se stalo, že z některého západního státu přišla odpověď, tak pouze v podobě otázky, kde jsem získal e-mailovou adresu a proč píše právě jim. Zajímavé je, že např. i společnost Slovenské Elektrárne a.s. odmítla informace poskytnout a teprve na druhou žádost informace poskytla. Nutno podotknout, že i Jaderná elektrárna Temelín se v poskytování informací zachovala velice zdrženlivě. Z Jaderné elektrárny Dukovany nepřišla odpověď žádná, což mě překvapilo.

Oslovil jsem následující jaderné elektrárny a instituce:

- JE Temelín v České republice – celkem dostačující odpověď,
- JE Dukovany v České republice – bez odpovědi,
- JE Balakovo v Rusku – bez odpovědi,
- JE Záporoží na Ukrajině – bez odpovědi,
- JE Kozloduj v Bulharsku – rychlá a ochotná odpověď,
- JE Armenian v Arménii – bez odpovědi,

- JE Cernavoda v Rumunsku – bez odpovědi,
- JE Ignalia v Litvě – rychlá a ochotná odpověď,
- JE Oldbury ve Velké Británii – bez odpovědi,
- Service Interne de Prévention et Protection au Travail v Belgii – bez odpovědi,
- JE Forsmark ve Švédsku – rychlá a ochotná odpověď,
- JE Ringhals ve Švédsku – rychlá a ochotná odpověď,
- JE Loviisa ve Finsku – bez odpovědi,
- JE Beznau ve Švýcarsku – bez odpovědi,
- JE Isar v Německu – bez odpovědi,
- JE Surry v USA – bez odpovědi,
- JE Catawba v USA – bez odpovědi,
- JE Pilgrim v USA – bez odpovědi,
- JE Higašidori v Japonsku – rychlá a ochotná odpověď,
- Je Daya Bay v Číně – bez odpovědi,
- JE YongGwang v Jižní Koreji – bez odpovědi,
- Slovenian Nuclear Safety Administration ve Slovinsku – dostačující odpověď,
- Slovenské elektrárně a.s. na Slovensku – odpověď až na druhou urgenci.

4. Výsledky

4.1 Použití osobní dozimetrie v zahraničí

4.1.1 Jaderné elektrárny Jaslovské Bohunice a Mochovce - Slovensko

Již od začátku výstavby první jaderné elektrárny na Slovensku byla velká pozornost věnována osobní dozimetrii. Vnější ozáření monitorovala Národní (Československá) dozimetrická služba v Praze do roku 1977. Poté již měly elektrárny vlastní dozimetrické služby. Od začátku byly používány jako legální filmové dozimetry. Operativní dozimetry se vyvíjely od jednoduchých PEN dozimetrů s ionizační komůrkou až k elektronickým dozimetrům.

Na Slovensku jsou dvě schválené služby osobní dozimetrie, jedna na Jaderné elektrárně Jaslovské Bohunice a druhá na Jaderné elektrárně Mochovce. Obě provozuje společnost Slovenské Elektrárne a.s. Služba osobní dozimetrie byla schválena Ministerstvem zdravotnictví (dnes Úřadem veřejného zdraví Slovenské republiky). Systém filmové osobní dozimetrie je metrologicky přezkušován Národním metrologickým institutem ve dvouletých intervalech. Každá osoba v kontrolovaném pásmu jaderné elektrárny má legální filmový dozimetr pro gamma a beta záření, elektronický osobní dozimetr pro gamma záření (nebo beta – gamma) a nezbytný je také neutronový dozimetr (Mocko, 2005).

Od legalizace osobního elektronického dozimetru jako legálního na Jaderné elektrárně Mochovce se po určitých pokusech upustilo. Problém byl především v tom, jak metrologicky ověřovat elektronické dozimetry jako stanovené měřidlo. Metrologové chtěli ověřovat každý elektronický dozimetr jako stanovené měřidlo, což z praktických důvodů společnosti nevyhovovalo (transport, časové zdržení, nutná rezerva, cena atd.). Proto společnost Slovenské Elektrárne a.s. znovu přešla k filmovým dozimetrům jako legálním. Osobní elektronické dozimetry se však stále používají jako operativní (Chylý, 2007).

4.1.2 Jaderná elektrárna Ignalina – Litva

Na Jaderné elektrárně Ignalina funguje služba osobní dozimetrie od r. 1984, kdy elektrárna zahájila provoz. Tato služba slouží k určování hodnoty dávek pracovníků jak

Jaderné elektrárny Ignalia, tak externích pracovníků. Kritéria pro schválení Služby osobní dozimetrie jsou založena na hlavních požadavcích normy ISO/IEC 17025 Standard. Dozimetrická laboratoř používá termoluminiscenční dozimetry (TLD) systému „Rados“ od r. 1994.

Osobní dávkový ekvivalent $H_p(10)$ je měřen termoluminiscenčním dozimetrem, dávka z přirozeného pozadí je odečítána z akumulované dávky. Sledované období je různé, od jednoho dne do jednoho měsíce, v závislosti na druhu vykonávané práce. V případě vyšší míry dávek je na Jaderné elektrárně Ignalia používán elektronický dozimetr RAD 60 (Griciene, 2007).



Obr. 7 Elektronický dozimetr RAD 60

4.1.3 Jaderná elektrárna Forsmark - Švédsko

Na této jaderné elektrárně jsou jako legální používány osobní TL - dozimetry. Jsou vyhodnocovány každý měsíc standardním procesem. Pro práci v kontrolovaném pásmu je na elektrárně vyžadován také elektronický dozimetr RAD 51 od společnosti RADOS. Tento dozimetr je používán pro různé pracovní účely, měření dávek, pro různé druhy práce, kategorie pracovníků apod. Uvedený dozimetr je také vybaven alarmem pro celkové dávky a úrovně dávek. Externí pracovníci používají dozimetrický systém Jaderné elektrárny Forsmark (Staffan, 2007).

4.1.4 Jaderná elektrárna Ringhals - Švédsko

Na této elektrárně je legálním dozimetrem osobní TL - dozimetr, operativním je dozimetr elektronický (DRD). Použití elektronického dozimetru k měření individuálních dávek není vyžadováno Švédským úřadem pro jadernou bezpečnost, nicméně na základě požadavků ALARA a plánování a minimalizace dávek je nezbytné použití těchto dozimetrů. Dozimetry TLD jsou vyhodnocovány každý měsíc, Jaderná elektrárna Ringhals má k tomuto účelu schválenou dozimetrickou laboratoř. Dávky z obou typů dozimetrů jsou porovnávány, aby byla vyloučena možnost chybného měření. Výše uvedené typy osobních dozimetrů jsou používány jak pracovníky Jaderné elektrárny Ringhals, tak pracovníky dodavatelských firem. Oba dozimetrické systémy jsou zde používány od roku 1980, kdy je původně dodávala firma ALNOR, nyní součást firmy RADOS. DRD dozimetry budou letos nahrazeny moderním systémem od firmy MGP.

Švédské úřady vytvořily mnoho jednotlivých předpisů v oblasti osobní dozimetrie na rozdíl od českého SÚJB, který tyto předpisy obsáhl ve vyhlášce č. 307/2002 Sb. Použití osobní dozimetrie ve Švédsku upravuje Nařízení č. SSI FS 1998:5 s dodatkem SSI FS 2003:2 „*Monitorování a informování o individuálních dávkách ozáření*“ vydané Švédským úřadem pro jadernou bezpečnost (Aronsson, 2007).

4.1.5 Jaderná elektrárna Krško - Slovinsko

Slovinská legislativa vychází z nařízení EU, dohled nad dávkami je založen na nařízeních EURATOM. Centrální registr je veden podle pravidel Slovinského úřadu pro radiační ochranu. Ve Slovinské legislativě je zakotvena povinnost používat osobní dozimetry stejného typu, stejně jako požadavek autorizovaných dozimetrických služeb na základě ISO/IEC 17025.

Data týkající se zaměstnaneckých dávek ve Slovinsku jsou publikována každý rok ve „Výroční zprávě“, která je také k dispozici na internetu na webových stránkách Slovinského úřadu pro jadernou bezpečnost (SNSA): <http://www.ursjv.gov.si>.

Ve Slovinské Jaderné elektrárně Krško jsou používány jako legální osobní dozimetry TLD, jako operativní jsou používány osobní dozimetry EPD (Janzekovic, 2007).

4.1.6 Jaderná elektrárna Higašidori - Japonsko

V Japonsku jsou stanoveny maximální přípustné limity dávek ozáření pro radiační pracovníky v hodnotách uvedených v tabulce 2.

Na uvedené jaderné elektrárně se jako legální používají radiofotoluminiscenční dozimetry, jako operativní elektronické dozimetry APD. Každý, kdo vstupuje do kontrolovaného pásma musí být vybaven k měření dávkového ekvivalentu elektronickým APD dozimetrem. Výsledky měření z tohoto dozimetru jsou použity k vyhodnocení celkové dávky za den, týden a měsíc. Vždy musí být dodrženy efektivní dávky v povolené hodnotě, která je 1 mSv/den a 3 mSv/týden (Tohoku Electric Power Co., 2007).

Tab. 2 Maximální přípustné limity dávek ozáření v Japonsku

	radiační pracovník
efektivní dávkový ekvivalent	1. 100 mSv/5 let 2. 50 mSv/rok 3. 5 mSv/3 měsíce (ženy) 4. 1 mSv/v období těhotenství (vnitřní dávka)
ekvivalentní dávka	150 mSv/rok: pro oční čočky 500 mSv/rok: pro kůži 2 mSv/ v období těhotenství - pro povrch břicha těhotné ženy

4.1.7 Jaderná elektrárna Kozloduj - Bulharsko

Na Jaderné elektrárně Kozloduj se používají termoluminiscenční dozimetrické systémy ALNOR od firmy RADOS. První metrologická kontrola TLD systému je

provedena v Národním centru Metrologie. Dozimetrická kontrola vnějšího ozáření v Jaderné elektrárně Kozloduj termoluminiscenčními dozimetry je stanovena v metodickém pokynu odboru osobní dozimetrické kontroly. Periodicita dozimetrické kontroly vnějšího ozáření personálu je každý měsíc nebo každé tři měsíce v závislosti na druhu práce. Všechny TL - dozimetry se označují individuálním dozimetrickým kódem. (Lazhov, 2007).

4.2 Další evropské země

4.2.1 Velká Británie

V jaderných elektrárnách britské společnosti British Energy Generation Ltd (BE) a jaderných elektrárnách (British Nuclear Fuel plc BNFL/BE/) jsou používány ke sledování individuálních dávek ozáření dozimetrické systémy na bázi elektronických individuálních dozimetrů typu Thermo MK1.2 a MK 2 (dříve Siemens).

V britském systému je vyhodnocování jednotlivé individuální dávky zabezpečeno dvěma na sebe navazujícími provozovateli služeb, které mohou být poskytovány dvěma nezávislými a příslušným úřadem schválenými podniky. První služba (Approved Dosimetric Service – Assessment, tzv. „ADS Assessment“) zajišťuje kontrolu dozimetrického systému jakož i vyhodnocení naměřených hodnot. Druhá služba zahrnuje registraci individuálních dávek do příslušného registru a zabezpečení řádné archivace dat (Approved Dosimetric Service – Records /“ADS-Record“).

V jaderných elektrárnách, v nichž jsou dnes používány elektronické dozimetry, se neprovádí srovnávání s pasivními dozimetry. Avšak u některých vybraných osob jsou prováděna paralelní měření pasivními dozimetry z důvodů zajišťování kvality a jsou také zaznamenávána a vyhodnocována (Ambrosi, 2002).

4.2.2 Švýcarsko

Ve Švýcarsku jsou současně dva elektronické individuální dozimetrické systémy, které jsou buď uváděny do praxe, nebo se o jejich realizaci v praxi diskutuje. Jde o systém na bázi pasivního polovodičového dozimetru firmy Rados Technology,

což je přímý iontový detektor DIS-1, a druhý systém na základě aktivního dozimetru firmy COMET.



Obr. 8 Dozimetr DIS – 1 systému RADOS

DIS-1 je aktuálně používán v Ústavu Paula Scherrera (Paul-Scherrer-Institut, PSI) k sledování vědeckých pracovníků a hostů, kteří jsou přítomni pouze dočasně v PSI.

V Jaderné elektrárně Beznau patřící společnosti Severovýchodní švýcarské atomové elektrárny AG (NOK) je zaveden elektronický dozimetrický systém RADOS DIS-1. Jako dodatek dozimetrických sond pro gama a beta-záření je na DIS-1 připojován pasivní, neelektronický CR-39 neutronový dozimetr. Dozimetr je v trvání jednoho roku přidělen sledované osobě a po uplynutí této doby je vyměněn k přezkoušení kalibrace a k vyhodnocení neutronového dozimetru.

Doba sledování je v zásadě jednoletá, avšak dozimetr musí být každý měsíc odečten dozimetrickou stanicí. Překročí-li roční celková dávka 3,5 mSv nebo se zjistí měsíční gama dávka vyšší než 2 mSv, dozimetr bude vyměněn, aby bylo možno odmontovat neutronový dozimetr a zjistit neutronovou dávku. Odečítací stanice nemohou měnit nebo zrušit v dozimetru uložené informace.

DIS-1 Dosimetr

DBR – 1 čtečka

DOSE terminál SW



Obr. 9 Dozimetrický systém RADOS

V členských státech EU a ve Švýcarsku kontroluje téměř 200 měřicích míst celkem cca 1.130 000 osob (stav 1999), ve většině případů dozimetry filmovými nebo termoluminiscenčními. Jako veličina dávky se již téměř všude používá dávka osobního ekvivalentu $H_p(10)$ resp. $H_p(0,07)$. Pouze v Itálii, Německu a Rakousku není převod ještě ukončen a z části se používají pro osobní dozimetrii ještě jiné veličiny. Podmínky schvalování měřicích míst dávek resp. dozimetrických systémů jsou v jednotlivých zemích velmi rozdílné.

V různých evropských zemích jsou nyní zaváděny jako legální elektronické osobní dozimetry, které se zatím většinou používají jako dozimetry operativní (Ambrosi, 2002).

5 diskuse

Pokus o komplexní porovnání používaných druhů osobní dozimetrie v rámci radiační ochrany nevyšel úplně tak, jak bylo cílem této práce. Bohužel, některé jaderné elektrárny, nebo instituce zabývající se radiační ochranou na mé žádosti o informace z větší části nereagovaly vůbec nebo byly poskytnuté informace nedostačující. Je to škoda, při větším množství informací by bylo možné provést důkladnější porovnání s přesnějšími výsledky. Mrzí mě proto přístup oslovených subjektů, jelikož jsem k některým zemím neměl aktuální informace a musel jsem proto čerpat ze starších zdrojů.

V Evropě se používají ve vztahu ke kontrolovaným osobám pro fotonové záření většinou stále filmové dozimetry (56 %). Z 16 zemí uvedených v tabulce 3 používá však již jen 5 zemí převážně filmové dozimetry. Ve zbývajících zemích (11) se používají převážně termoluminiscenční dozimetry (TLD). V Německu se jako dodatečný typ dozimetru používá v nepatrném procentu také dozimetr s plochým sklem (RPL). Ve dvou členských státech EU (Francie, UK) jsou již schváleny elektronické dozimetry (EPD) jako úřední osobní dozimetry pro fotonové záření (UK), nebo jsou těsně před schválením (F) a již se používají.

Jako neutronové dozimetry (viz tab. 3) se používají převážně (41 %) TLD, následují jádrové stopové filmové dozimetry, filmové dozimetry s konvertory a leptavé stopové dozimetry. Bublinové detektory se k osobní kontrole používají zřídka.

Směrnice EU 96/29 vyžaduje, aby osoby profesně vystavené záření (kategorie A) byly individuálně systematicky kontrolovány schváleným měřicím místem. Pro pracovní síly kategorie B mohou členské státy však také předepsat individuální kontrolu schválenými měřicími místy dávek. Samotná kritéria schválení nejsou na Evropské úrovni stanovena. Požadavky jsou v jednotlivých státech velmi rozdílné. Schválení národního měřicího místa dávek je ve většině případů však zakotveno v zákoně (kromě: Belgie, Lucemburska a Portugalska). Dále existují zpravidla detailní národní požadavky na používané dozimetry nebo se používají mezinárodní normy / doporučení jako základ pro schválení (žádné úpravy neexistují v Lucembursku a Portugalsku).

Ve většině států jsou zřízeny národní registry dávek dle směrnice EU 96/29. Pouze Itálie, Portugalsko a Rakousko zde ještě tvoří výjimku (Ambrosi, 2002).

Tabulka 3: Podíl různých typů fotonových a neutronových dozimetrů v členských státech EU a ve Švýcarsku -stav: 1999 (Ambrosi, 2002).

země	fotony				neutrony				
	film	TLD	pl. sklo	EPD	TLD	lept. stop. dozim.	stopový film jádra	film & konvektor	bublino vé detektory
A	-	100 %	-	-	100 %	-	-	-	-
B	28 %	72 %	-	-	?	-	?	-	?
CH	10 %	90 %	-	-	-	20 %	80 %	-	-
D	95 %	2 %	3 %	-	90 %	1 %	10 %	-	-
DK	82 %	18 %	-	-	72 %	28 %	-	-	-
E	-	100 %	-	-	100 %	-	-	-	-
EL	100 %	-	-	-	100 %	-	-	-	-
F	88 %	4 %	-	8 %	58 %	-	22 %	16 %	5 %
FIN	-	100 %	-	-	100 %	-	-	-	-
I	38 %	62 %	-	-	67 %	33 %	-	-	-
IRL	-	100 %	-	-	-	-	100 %	-	-
L	-	100 %	-	-	-	-	-	-	-
NL	-	100 %	-	-	100 %	-	-	-	-
P	28 %	72 %	-	-	-	-	-	-	-
S	50 %	50 %	-	-	100 %	-	-	-	-
UK	33 %	67 %	-	0,1 %	0 %	40 %	20 %	40 %	-
Celkem	56 %	41 %	1 %	2 %	41 %	18 %	21 %	19 %	1 %

V České republice jsou na Jaderné elektrárně Temelín v současné době používány ke sledování radiační zátěže ze zevního ozáření filmová, termoluminiscenční (TLD), radiofotoluminiscenční (RPL) a elektronická dozimetrie. Základní a legislativně schválenou metodou měření osobních efektivních dávek radiačních pracovníků ze zevního ozáření je filmová dozimetrie. Tento typ dozimetrie je charakteristický nízkou cenou a dostatečnou spolehlivostí včetně možnosti redundance v případě ozáření vyššími dávkami - havarijní film (Havránková a kol., 2006). Stejná situace je i na Jaderné elektrárně Dukovany. Obě elektrárny mají své vlastní oddělení dozimetrické

kontroly.

Součástí systému radiační kontroly na Jaderné elektrárně Temelín jsou jako sekundární a havarijní prostředky používány také elektronické osobní dozimetry (EPD1 firmy Siemens, které budou postupně zaměněny za DMC 2000XB firmy MGPI), které se používají zejména pro operativní měření radiační zátěže osob vstupujících do kontrolovaného pásma (Fárníková, 2007).



Obr.10 Elektronický osobní dozimetr typu EPD1 firmy Siemens

Pro měření a hodnocení radiační zátěže u vybraných pracovníků vykonávajících speciální práce v kontrolovaném pásmu na R-příkaz, se mohou používat ještě doplňující operativní osobní dozimetry TLD AIP skla, RPL dozimetry nebo TLD-LiF současně s filmovou a elektronickou osobní dozimetří (Havránková a kol., 2006).

Na jaderné elektrárně Dukovany je k měření osobních dávek z vnějšího ozáření používán filmový dozimetr (měření expozic záření gama, záření beta a tepelných neutronů), který je primárním dozimetrem pro účely rutinního monitorování. Operativní monitorování externího ozáření je prováděno pomocí elektronických osobních dozimetrů, radiofoluminiscenčních dozimetrů a termoluminiscenčních dozimetrů. K měření dávek od neutronů je používán albedo-dozimetr. Monitorování

osobních dávek v celém rozsahu zajišťuje oddělení osobní dozimetrické kontroly Jaderné elektrárny Dukovany.

V roce 1999 vyvinula firma VF Černá Hora a.s. ve spolupráci s pracovníky Jaderné elektrárny Dukovany systém elektronické osobní dozimetrie typově označený jako SEOD, využívající elektronické osobní dozimetry firmy MGP Instruments typů DM 90, DMC 90, DMC 2000 a DMC 2000XB. Systém byl uveden do provozu od začátku roku 2000 a od té doby je celoplošně v kontrolovaném pásmu elektrárny využíván (Jurochová, 2004).



Obr.11 Elektronický dozimetr DMC 2000XB

V České republice se připravují podklady pro certifikaci elektronické dozimetrie jako primárního prostředku pro sledování radiační zátěže pracovníků. Výhodou elektronické osobní dozimetrie je okamžitá informace o radiační zátěži a možnost nastavení alarmů. Nevýhodou je možné ovlivnění elektromagnetickým zářením (Havránková a kol., 2006).

6 Závěr

Porovnáním situace v oblasti radiační ochrany bylo zjištěno, že použité osobní dozimetry v zahraničí a v České republice jsou většinou stejného druhu. Úroveň zabezpečení v rámci osobní dozimetrie je na velmi vysoké úrovni. Je to hlavně díky mezinárodním předpisům a požadavkům a také neustálému vývoji v oblasti radiační ochrany. Některé země včetně České republiky přecházejí k legalizaci osobního elektronického dozimetru jako primárního prostředku v rámci radiační ochrany. Zajímavostí v tomto směru je situace na Slovensku, kde od tohoto typu dozimetru jako primárního po nějaké době upustili a vrátili se k předchozím typům dozimetrů. Další zvláštností je, že v Japonsku jsou schválené limity radiačních pracovníků v kontrolovaném pásmu i pro těhotné ženy, což v ostatních zemích není běžné.

Elektronická osobní dozimetrie je perspektivní metoda jak z hlediska vysoké citlivosti, tak z hlediska operativnosti a to při nižších provozních nákladech. Je proto předpoklad jejího širšího využití jak v rámci jaderných elektráren, tak i ostatních provozů s radiačním rizikem. Její nespornou výhodou je okamžitá odezva. Okamžitý přístup k hodnotám obdržené dávky při pobytu v kontrolovaném pásmu umožňuje bezodkladně provést případná ochranná opatření. Možnost nastavení alarmů dávky i dávkových příkonů a zejména možnost spojení hodnot obdržené radiační dávky s konkrétní činností, zařízením nebo skupinou pracovníků provádějících danou činnost umožňuje lépe aplikovat principy ALARA a tím vede ke snížení radiační zátěže. Nevýhodou je citlivost na elektromagnetické záření produkované mobilními telefony nebo svařovacími aparaturami (Havránková, 2005).

Ochranu před zářením a osobní dozimetrii zítřka je třeba vidět globálně. Osobní dozimetrie se bude muset stát nejen jako dosud národní, ale také mezinárodní záležitostí. Nový vývoj v oblasti pasivních a elektronických dozimetrů až po hotové globální koncepty kontroly je již dnes v mnoha zemích s elánem provozován a stále více se nabízí na mezinárodním trhu.

7 Seznam použité literatury

- Ambrosi P., David J., Luszik-Bhadra M. Personendosimetrie in Europa heute und morgen. Strahlenschutz PRAXIS, Heft 2/2002, p.3, ISSN: 0947-434 X
- Havránková, Renata, Havránek, Jiří, Navrátil, Ladislav et. al. Koncepce systému elektronické osobní dozimetrie. Zborník z Mezinárodní konference mladých vědeckých pracovníků. Žilina: 2006, ISBN 80-8070-601-8
- Havránková, Renata, Koc, Josef, Tomášek. Možnosti elektronické osobní dozimetrie na Jaderné elektrárně Temelín. Kontakt, 7, 3-4, 2005, 356-359, ISSN 1212-4117
- Jurochová, Božena. Zkušenosti z provozu elektronické osobní dozimetrie v kontrolovaném pásmu Jaderné elektrárny Dukovany. Bezpečnost jaderné energie. Praha: 2004, roč. 12, č. 7/8, s. 234-236. ISSN 1210-7085
- Klener, Vladislav. Principy a praxe radiační ochrany. Praha 2000. ISBN 80-238-3703-6
- Koc, Josef, Singer, Jan. Havránková, Renata et al. Možnosti elektronické osobní dozimetrie na Jaderné elektrárně Temelín. Kontakt. České Budějovice: 2005, roč. 7, č. 3-4, s. 356-359. ISSN 1212-4117
- Mlynář, Jan. Energie pro každého. Praha: 1997, roč.1, č. 10
- Mocko, S., Viktory, D. Evolution and current status of personal dosimetry in the Slovak NPPS. Occupational Exposure Management at Nuclear Power Plants. Fourth ISOE European Symposium Lyon, France: 2005, ISBN 92-64-01036-X
- Singer Jan, Heřmanská J. Principy radiační ochrany, České Budějovice 2004, ISBN – 80-7040-708-5
- SÚJB. Radiační ochrana. Zabezpečení osobního monitorování při činnostech vedoucích k ozáření. Část I. - zevní ozáření. SÚJB, Praha, 2003
- SÚJB. Radiační ochrana. Metodický návod pro měření na pracovištích, kde může dojít k významnému zvýšení ozáření z přírodních zdrojů, a určení efektivní dávky. SÚJB, Praha, 2005
- Tůma, Jan. Energie pro každého. Praha: 1998, roč. 1, č. 7

- Vyhláška č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně ve znění vyhl. Č. 499/2005 Sb., kterou se mění vyhl. SÚJB č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně
- Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření
- <http://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana>
- <http://www.sujb.cz>
- <http://www.suro.cz>
- <http://proatom.luksoft.cz>
- <http://www.jaderne.info>
- Aronsson, Dan. Dosimetry at Ringhals. Kauca.M@seznam.cz od Dan.Aronsson@vattenfall.com, 27.4.2007
- Fárníková, Monika. Bakalářská práce. Kauca.M@seznam.cz od Monika.Farniková@cez.cz, 23.4.2007
- Gričienė, Birute. Personal dosimetry in Ignalina NPP. Kauca.M@seznam.cz od B.Gričienė@rsc.lt, 26.4.2007
- Hennigor, Staffan. SW: Request. Kauca.M@seznam.cz od sig@forsmark.wattenfall.se, 27.4.2007
- Chylý, Pavol. Re: Žádost. Kauca.M@seznam.cz od Chyly.Pavol@emo.seas.sk, 4.5.2007
- Janzekovic, Helena. Re: Request - answer from the Slovenian Nuclear Safety Administration. Kauca.M@seznam.cz od Helena.Janzekovic@gov.si, 8.5.2007
- Lazhov, Dimitar. Re: Request. Kauca.M@seznam.cz od DNLajov@npp.bg, 8.5.2007
- Tohoku Electric Power Co. Re: Request. Kauca.M@seznam.cz od w-master@tohoku-epco.co.jp, 2.5.2007

8 Klíčová slova

Jaderná elektrárna

Osobní dozimetrie

Zevní ozáření

Termoluminiscenční dozimetr

Filmový dozimetr

Elektronický dozimetr

Neutronový dozimetr