



UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
3. LÉKAŘSKÁ FAKULTA



Jiřina Vaňová

**Onemocnění způsobená ionizujícím
zářením v České republice**

*Diseases Caused by Ionizing Radiation in the
Czech Republic*

Bakalářská práce

Karlovy Vary, květen 2011

Autor práce: Jiřina Vaňová

Studijní program: Specializace ve zdravotnictví

Bakalářský studijní obor: Veřejné zdravotnictví

Vedoucí práce: **MUDr. Aleš Kavka**

Pracoviště vedoucího práce: **Klinika pracovního a cestovního lékařství**

Předpokládaný termín obhajoby: 16. června 2011

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou práci zpracovala samostatně a použila jen uvedené prameny a literaturu. Současně dávám svolení k tomu, aby tato bakalářská práce byla používána ke studijním účelům.

Prohlašuji, že odevzdaná tištěná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do Studijního informačního systému – SIS 3.LF UK jsou totožné.

V Karlových Varech dne 23.května 2011

Jiřina Vaňová

Poděkování

Mé poděkování patří především MUDr. Alešovi Kavkovi za odborné vedení, konzultace a podnětné připomínky při zpracování této bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD	6
I. KAPITOLA	7
1. HISTORIE.....	7
1.1 Historie vývoje ionizujícího záření.....	7
1.2 Historie nemocí způsobené ionizujícím zářením.....	9
2. RADIOAKTIVITA	11
2.1 Radioaktivita	11
2.2 Radioaktivní rozpad.....	11
2.3 Rozpadové řady	13
3. IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ	14
3.1 Zdroje ionizujícího záření.....	14
3.1.1 Přírodní zdroje ionizujícího záření.....	15
3.1.2 Umělé zdroje ionizujícího záření.....	17
3.2 Druhy ionizujícího záření	17
3.3 Detekce a měření ionizujícího záření.....	19
3.4 Základní veličiny a jednotky.....	19
4. ÚČINKY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ NA ČLOVĚKA	22
4.1 Základní stádia účinku ionizujícího záření na organismus.....	22
4.2 Biologické účinky ionizujícího záření.....	24
4.2.1 Radiosenzitivita	25
4.3 Stochastické účinky ionizujícího záření.....	25
4.4 Deterministické (nestochastické) účinky ionizujícího záření	27
4.4.1 Časné deterministické účinky.....	27
4.4.2 Pozdní deterministické účinky.....	31
5. LEGISLATIVA.....	32
6. ZÁKLADY RADIAČNÍ OCHRANY	35
6.1 Principy radiační ochrany	35
6.2 Základní způsoby ochrany před zářením	36
6.3 Radiační ochrana na pracovištích s ionizujícím zářením	37
6.4 Radiační ochrana při radiační diagnostice a terapii.....	40
II. KAPITOLA	41
7. SYSTÉM MONITOROVÁNÍ RADIAČNÍ SITUACE NA ÚZEMÍ ČR	41
III. KAPITOLA	43
8. ONEMOCNĚNÍ ZPŮSOBENÁ IONIZUJÍCÍM ZÁŘENÍ V ČR.....	43
8.1 Nemoci z povolání v České republice	43
8.2 Přehled nemocí z povolání způsobené vlivem ionizujícího záření v České republice od roku 1996 – 2009	45
8.2.1. Centrální registr profesionálních ozáření	48
8.2.2. Ozáření pracovníků z přírodních zdrojů.....	49
8.3 Problematika radonu v budovách	50
ZÁVĚR	52
SOUHRN.....	55
SUMARY	56
PŘÍLOHY.....	57
LITERATURA	64

ÚVOD

Veškerý život na Zemi je vystaven ionizujícímu záření z přírodních zdrojů zahrnující kosmické záření a záření z přírodních radionuklidů. Od objevu RTG záření a radioaktivity dochází také k vystavení umělým zdrojům záření, které jsou stále častěji využívány v mnoha oborech průmyslu, výzkumu a medicíny. V souvislosti s rozvojem využití zdrojů ionizujícího záření a jaderné energie se postupně vyvíjel ucelený systém ochrany před zářením.

V České republice existuje systém radiační ochrany, který je legislativně ukotven zákonem číslo 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizující záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, v platném znění a řada prováděcích předpisů.

Od 1. ledna 1993 je Státní úřad pro jadernou bezpečnost ústředním orgánem státní správy, který vykonává státní správu a dozor při využívání jaderné energie a ionizujícího záření, v oblasti radiační ochrany a v oblasti jaderné, chemické a biologické ochrany.

Práce je rozdělena do tří kapitol. Kapitola první, teoretická, popisuje fyzikálně-chemické a biologické vlastnosti ionizujícího záření. Dále pojednává o detekci a měření ionizujícího záření, jeho účincích a využití, radiační ochraně a legislativním rámci. Součástí této práce je i zmínka z historie radioaktivity a nemocí způsobené ionizujícím zářením.

V kapitole druhé a třetí jsem se zaměřila na nemoci z povolání způsobené účinkem ionizujícího záření v období od roku 1996 - 2009, na problematiku radonu v budovách a jeho účincích a na systém monitorování radiační situace v České republice.

I. KAPITOLA

1. HISTORIE

1.1 Historie vývoje ionizujícího záření

Roku 1869 zkoumal J. W. Hiltrof elektrický výboj ve zředěných plynech a zjistil, že katoda výbojové trubice emituje dosud neznámé záření – katodové paprsky. Katodovými paprsky se zabýval také W. C. Roentgen, který v roce 1895 zjistil, že se stěna katodové trubice v místě jejich dopadu stává zdrojem jiného záření. Nazval toto záření X, které bylo později pojmenováno jako *rentgenové záření*.

V roce 1896 francouzský fyzik H. Becquerel objevil schopnost sloučenin uranu vysílat přirozené dosud neznámé záření, které prochází černým papírem a způsobuje i černání fotografické desky. Schopnost byla nazvána radioaktivitou (radiu- latinsky paprsek, acivus – latinsky činný) a záření dostalo název jaderné (radioaktivní). Dále zjistil, že radioaktivita je vlastností atomů samých a nezávisí, zda jsou atomy součástí prvku nebo sloučenin. Ve výzkumu radioaktivity dále pokračovala jeho žákyně M. Curie-Sklodovská, která v roce 1898 objevila radioaktivitu thoria. Záhy nato se jí a jemu manželovi P. Curieovi podařilo izolovat z jáchymovské uranové rudy další dva prvky radium a polonium, jejichž radioaktivita byla vyšší než u uranu. Řada dalších badatelů (např. F. O. Giesel, S. Mayer, E. von Schweidler) rozšířili vědomosti o ionizujícím záření o poznatek, že radioaktivní záření je složeno ze tří složek, lišících se chováním v magnetickém poli.

E. Rutherford v roce 1903 dospěl k závěru, že příčinou radioaktivity je samovolný rozpad atomových jader, která se tak mění na jádra stálejší. V letech 1919, zjistil, že při průchodu částic alfa čistým dusíkem dochází k přeměně atomového jádra dusíku na jádro kyslíku za současného uvolnění protonu ($^{14}_7N + {}^4_2He \rightarrow {}^{17}_8O + {}^1_1p$). Jednalo se tak o zvanou jednoduchou jadernou reakci, kdy se radioaktivní záření použilo k přeměně prvků na jiné. Zároveň bylo i dokázáno, že proton je součástí atomového jádra. Vyslovil též hypotézu o existenci neutronu.

V roce 1930 W. Bothe a H. Becker stáli u objevu neutronu, kteří pozorovali velmi pronikavé záření pocházející z reakce částic α s jádrem 9_4Be . Vznikající záření považovali objevitelé za vysokoenergetické záření γ . I. Joliot Curie a F. Joliot také nesprávně interpretovali na základě svých pokusů, že by se mohlo jednat o γ záření. V roce 1932 J. Chadwick poskytl vysvětlení na základě studia drah

iontů dusíku odražených z místa kolize s částicemi tohoto nového záření. Jednalo se o srážku neutrální částice o hmotnosti přibližně rovné hmotnosti protonu s jádrem dusíku. Tuto částici nazval jako neutron.

V roce 1934 došlo k rozvoji studia a využívání jaderných reakcí zásluhou manželů Irene Joliot (dcera Curiových) a Frédéric-Curieovi objevením umělé radioaktivity. Dokázali, že ozařování stálého hliníku částicemi alfa vzniká nestálý radioaktivní fosfor, který emituje pozitronové záření.

Přibližně v téže době se podařilo J. D. Cockoftovi a E. T. Waltonovi vyvolat první jadernou reakci s uměle urychlenými částicemi – elektrostatický urychlovač.

V roce 1939 němečtí vědci O. Hahn a F. Strassman zveřejnili své poznatky interakci neutronů s jádru uranu, kdy výsledek interpretovali jako štěpení jader uranu neutrony za vzniku velkého množství energie. Došlo ke konstrukci dvou zařízení – jaderného reaktoru a jaderné pumy.

První jaderný reaktor, který byl schopný udržet řetězovou reakci, byl uveden do chodu 2. 12. 1942 v tribuně sportovního hřiště chicagské university, 16. 7. 1945 byl uskutečněn první výbuch jaderné pumy v poušti nedaleko města Almgordo. Téhož roku 6. 8. byla zničena Hirošima a 9.8. Nagasaki.

V roce 1946 spustil sovětský fyzik Kučarov v Moskvě první jaderný reaktor v SSSR. Záhy se objevila možnost značného ekonomického a politického užitky. Po druhé světové válce došlo k rozvoji oboru jaderné energetiky. První jaderná elektrárna na světě byla uvedena do chodu 27. 6. 1954 v Obninsku v SSSR.

Po druhé světové válce byly lépe poznány a rozpracovány zákonitosti interakce ionizujícího záření s látkou, rozvoj detekčních a spektrometrických metod a dozimetrie, byly zpracovány otázky radiační bezpečnosti a hygieny.

V roce 1956 Československo ve spolupráci se Sovětským svazem začíná vyvíjet těžkovodní reaktor a začíná projekt výstavby elektrárny v Janovských Bohunicích na Slovensku. V roce 1972 je zahájen provoz a je první jadernou elektrárnou.

První výzkumný reaktor v Československu měli naši vědečtí pracovníci jaderných oborů v roce 1957 v Řeži, kdy v roce 1972 byl instalován druhý reaktor.

Následovaly čtyři bloky v Jaslovských Bohunicích, čtyři bloky v Dukovanech (1985-1987), dva bloky ve slovenských Mochovcích (1998 a 2000) a jako poslední zprovozněné dva bloky jaderné elektrárny Temelín (2000 a 2003).

První školní reaktor, který slouží k výuce reaktorových odborníků, byl spuštěn v roce 1990 na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT.(1,2,22)

1.2 Historie nemocí způsobené ionizujícím zářením

První zprávy o onemocnění způsobené z radioaktivních látek pocházejí již z poloviny 16. století, kdy ze spisů městského lékaře Jiřího Bauera-Agricoly, je známo, že mezi horníky stříbrných dolů ve Schneebergu a v Jáchymově byla velká úmrtnost na plicní onemocnění nazývané hornickou nemocí, jejíž příznaky lze pokládat za charakteristické pro rakovinu plic. Rakovina plic u horníků byla prokázána v r. 1926 pitvou ve Schneebergu E. Schmorlem a v Jáchymově o tři roky později J. Lövy, histologicky ji potvrdil v roce 1930 H. Šikl. V roce 1924 P. Ludewing a E. Lorensen upozornili na možný vliv radonu v ovzduší. V roce 1927 F. Běhounek naměřil v jáchymovských dolech vysoké aktivity radonu. Před II. světovou válkou břitčtí autoři upozornili na význam dceřiných produktů radonu, J. C. Jones a M. J. Day poukázali, že absorbovaná dávka z dceřiných produktů je nejméně desetkrát vyšší než dávka z vlastního radonu.

Česko patřilo mezi významné země s průmyslovým rozvojem těžby a výroby uranu, kdy v roce 1946 byl zřízen samostatný **národní podnik** pro těžbu radioaktivních surovin - Jáchymovské doly, který se postupně strukturně a místně měnil. Dále se rozvinula těžba v celé jáchymovské oblasti v západních Čechách, Příbrami, Trutnovsko, Jižních Čechách a na Moravě. V Jáchymově také vznikl první Výzkumný a vyšetřovací ústav, jehož úkolem bylo zajišťovat pro tamní horníky běžnou léčebnou péči a prevenci. V dalším období dochází Na začátku 90. let dochází k postupnému útlumu těžby a úpravy uranu z mnoha důvodů. Výsledkem bylo, že některé provozovny a závody byly postupně utlumeny a následně uzavřeny. Celková produkce uranu a jeho odbytu ve formě uranového koncentrátu a třídových rud dosáhla za období 1946 – 2004 celkem téměř 109 tisíc tun, kdy tato produkce zařadila Českou republiku na 7. místo zemí světa produkujících uran. Dnes v Česku se dosud uranová ruda těží poblíž Dolní Rožínky u Žďáru nad Sázavou, kdy jde o jedinou probíhající těžbu v Evropské unii.

V letech 1950 byly zahájeny rozsáhlé epidemiologické studie v různých zemích, které se doložily podrobné a statistické údaje o radiačním riziku, zejména o vlivu dceřiných produktů radonu v uranových dolech a jiných rudných dolech. Z nejvýznamnějších kohortových epidemiologických studií jsou pokládány studie u amerických horníků uranových dolů na Colorado Plateau, u horníků: československých uranových a jiných dolů (Švec a spol. 1978,1982,1984),

švédských železorných dolů a u kanadských uranových dolů i jiných rudných dolů. Všechny tyto studie prokázaly významné převýšení pozorované četnosti zhoubného novotvaru plic nad četností očekávanou, tzn. stanovenou podle celostátní zdravotnické statistiky u mužů. Případná četnost zhoubného novotvaru plic stoupala rovnoměrně se vzestupem kumulovaného příjmu dceřiných produktů radonu. V československé studii byly nalezeny významně vyšší incidence onemocnění bazalionem kůže u horníků uranových dolů a potvrzena souvislost s dávkovým ekvivalentem v bazální vrstvě epidermis ze zevního ozáření alfa a z povrchové kontaminace kůže dceřiných produktů radonu. Vztah případné četnosti zhoubného novotvaru plic kumulovaného příjmu dceřiných produktů radonů po 30tiletém pozorování v československé studii u horníků, kteří nastoupili do uranových dolů v letech 1948 -1952, ukazuje, že průměrné případné riziko zhoubného novotvaru plic na jednotku kumulovaného příjmu byly dva novotvary na 10^5 osob za rok na 1 WLM (working level month, 1 WLM odpovídá potenciální energii $2,65 \cdot 10^{10}$ MeV a přibližně tkáňovému ekvivalentu (H_T) 100mSv v bazálních buňkách bronchiálního epitelu). Významné převýšení četnosti bylo pozorováno již od šestého roku expozice a nejvyšší převýšení ve 22. roce. Významný vliv byl věk horníků při nástupu do rizika a způsob kumulace dávky. V nové epidemiologické studii u horníků, kteří nastoupili do čs. Uranových dolů po r. 1968, nebylo již prokázáno významné zvýšení incidence zhoubného novotvaru plic oproti kontrolám a byla tak potvrzena vysoká účinnost opatření v radiační ochraně, přijatých v uplynulých dvaceti letech.

Nejvýznamnější poznatky o vyvolání zhoubných nádorů zářeními byly získány před druhou světovou válkou u profesionálně exponovaných skupin. Např. rakovina kůže, kostní sarkomy a bronchogenní karcinom.

Mimo profesního ozáření docházelo ke vzniku onemocnění u pacientů při radioterapii tak při diagnostice. Používáním více výkonných rentgenových přístrojů docházelo k poškození obsluhy, ale také pacientů. Ochrana při užívání rentgenů byla upravena v roce 1927, kdy první návrh předpisů pro RTG záření byl publikován v roce 1929. K významnému ozáření obyvatel došlo, také například při výbuchu jaderné zbraně Hirošimí a Nagasaki (leukémie, rakovina štítné žlázy, plicní rakovina) a při jaderných haváriích, naštěstí ne u nás. (8)

2. RADIOAKTIVITA

2.1 Radioaktivita

Radioaktivita, radioaktivní přeměna je proces **rozpadu atomových jader**, spojený s uvolněním energie ve formě **radioaktivního záření**. Při radioaktivních přeměnách se počty nukleonů v jádru mění tak, aby bylo dosaženo uspořádání s nižší energií. Stálost jader roste s poklesem jejich energie.

Rozdělení radioaktivity:

Přirozenou, v přírodě existuje asi kolem 50 radioaktivních prvků – radionuklidů, které vysílají trojí druh jaderného záření alfa, beta a gama. Radioaktivní atomy, jsou atomy, jejichž jádra mají nadbytek energie, nejsou stabilní a **samovolně se** přeměňují na jiná jádra. Stabilní jádra nepodléhají radioaktivní přeměně.

Umělou, připravenou činností člověka (nestabilní jádra vznikají z jader stabilních působením jiných částic či záření).

Přirozená i umělá radioaktivita se řídí stejnými zákonitostmi.

2.2 Radioaktivní rozpad

Radioaktivní rozpad je děj nahodilý, pro každý radioaktivní prvek je však stálá rychlost, s jakou se rozpadá. Rychlost rozpadu je přímo charakteristická pro každý radioaktivní izotop. Vlastnosti radioaktivního rozpadu jsou především: mění chemickou podstatu látky, není závislý na vnějších podmínkách a je doprovázen emisí tří druhů záření – alfa, beta a gama.

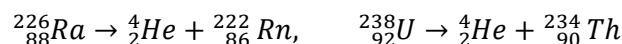
Rozpad radioaktivních jader

α – rozpad

Jádro emituje jádro helia, zmenší se hmota jádra prvku. Prvek se mění v jiný, jehož hmotnostní číslo se zmenší o 4, atomové číslo se zmenší o 2. Prvek se posune o dvě místa vlevo v periodické soustavě.



α rozpad příklad

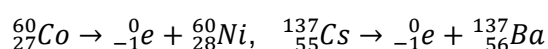


β - rozpad s emisí elektronu - β⁻

Jádro emituje elektron. Vzhledem k tomu, že elektrony v jádře nejsou, dochází nejdříve k přeměně neutronu na proton, elektron, antineutrino (antičástice neutrina, rozdíl mezi nimi je v rotaci částice kolem vlastní osy). Hmotnostní číslo prvku se nezmění, atomové číslo se zvětší o jedna. Prvek se posune o jedno místo vpravo v periodické soustavě.

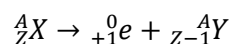


β - rozpad příklad

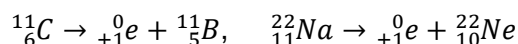


β - rozpad s emisí pozitronu-β⁺

Jádro emituje pozitron, který vzniká přeměnou protonu v jádře na neutron, pozitron a neutrino (částice mnohokrát menší než elektron a nenesou žádný náboj). Hmotnostní číslo prvku se nezmění, atomové číslo se zmenší o jedna. Prvek se posune o jedno místo vlevo v periodické soustavě.



β - rozpad příklad



Pravděpodobnost, že dojde k rozpadu β⁻ nebo β⁺, závisí na relativním počtu neutronů a protonů v jádře. Převážná většina přirozeně radioaktivních izotopů má ve srovnání s neaktivními radioizotopy téhož prvku relativní přebytek neutronů, dochází k rozpadu β⁻. Opačnou tendenci mají uměle radioaktivní prvky, které mají přebytek protonů.

Izomerní přechod, emise gama záření

Atomové jádro přechází z energeticky vyšší úrovně na nižší úroveň, což je doprovázené emisí gama záření. Hmotnostní i atomové číslo se nemění.

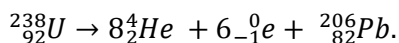
2.3 Rozpadové řady

Přirozené radioaktivní prvky se dají rozdělit na prvky, jejichž **produkty** rozpadu jsou **stabilní** – samostatné radioaktivní prvky (např. ${}_{19}^{40}K$ se vyzářením částic β změní na stabilní ${}_{20}^{40}Ca$) a na prvky, jejichž rozpadové **produkty** jsou také **radioaktivní** a dále se rozpadají – vytvářejí radioaktivní **rozpadové řady**.

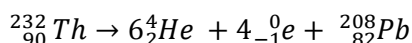
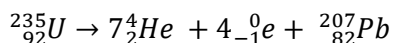
V přírodě existují tři radioaktivní rozpadové řady. Nazývají se podle prvních – mateřských prvků: rozpadová řada uranu (${}_{92}^{238}U$) - uranová, aktinouranu (${}_{92}^{235}U$) aktinouranová a thoria (${}_{90}^{232}Th$) – *thoriová*. Všechny tři řady mají jako jeden mezistupeň látku plynou a končí stabilním izotopem olova.

Rozpadová řada uranu

Mateřský prvek ${}_{92}^{238}U$ se postupně mění přes řadu dceřiných radionuklidů po osmi přeměnách alfa a šesti přeměnách beta na stabilní prvek ${}_{82}^{206}Pb$.

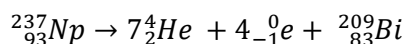


Rozpadová řada aktinouranu a thoria



Uran i thorium a jejich rozpadové produkty jsou přimísený v nepatrném množství do všech hornin. Proto se může zjistit určité množství radioaktivity ve všech látkách. (2,3)

Uměle získaná rozpadová řada neptunia



3. IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

Ionizující záření je jakékoliv záření, které je schopno přímo nebo přímo ionizovat atomy a molekuly prostředí, tj. odtrhnout elektrony z atomového obalu a vytvořit iontový pár. Iontový pár je dvojice iontů s kladným a záporným elektrickým nábojem stejné velikosti. Ionizace je děj, při němž vznikají ionty změnou náboje elektronového obalu atomu nebo molekuly a uvolňují se elektrony.

Ionizující záření lze dělit na:

Přímo ionizující záření, které je tvořeno kladně nabitými částicemi (např. elektrony, pozitrony, protony, částice alfa a beta), které mají dostatečnou kinetickou energii k vyvolání ionizace.

Nepřímo ionizující záření zahrnuje nenabité částice (fotony, neutrony apod.), gama záření, které prostředí sami neionizují, ale při interakcích s prostředím uvolňují sekundární, přímo ionizující nabitě částice. Ionizace prostředí je způsobena tedy sekundárními částicemi.

Z jiného hlediska lze záření dělit na **korpuskulární záření** (záření α , β , neutronové apod.) a na **elektromagnetické** (záření γ , rentgenové záření). (1,4)

3.1 Zdroje ionizujícího záření

Základní rozdělení zdrojů ionizujícího záření je na zdroje **přírodní a umělé**.

Přírodní zdroje představují zhruba 90 % radiační zátěže s průměrnou roční dávkou ozáření pro člověka 3 mSv. Zdroje umělé představují 10% zátěže s průměrnou roční dávkou ozáření pro člověka 0,3mSv, jedná se o velmi malé dávky záření. Tabulka 1 uvádí zdroje ionizujícího záření.

Zdroje ionizujícího záření podle svých fyzikálních a chemických vlastností způsobují ozáření **vnitřní**, které je způsobeno zářením z radionuklidů, nacházející se v lidském těle nebo **vnější**, zdroje vně organismu.

Tabulka 1 - Zdroje záření

Zdroje záření		Podíl	
		[%]	
přirodní	Radon	48	88%
	Zemské záření	17	
	Vnitřní ozáření přírodními radionuklidy v těle	9	
	Kosmické záření (sekundární)	14	
umělé	Lékařská ozáření	11	12%
	Profesní ozáření (radioaktivní pracovníci)	0,08	
	Technické a spotřební předměty	0,02	
	Jaderná energetika (mimo havárie)	0,04	
	Radioaktivní spad	0,02	

3.1.1 Přírodní zdroje ionizujícího záření

Terestrální záření

Původní přírodní radionuklidy obsažené ve všech složkách zemského prostředí i v člověku samém pocházející z doby vzniku země a způsobují spolu s radioaktivními produkty jejich samovolné přeměny zevní i vnitřní ozáření člověka. V horninách, půdě vodě i v atmosféře jsou přítomny přírodní radionuklidy, které svým zářením γ (částečně i zářením β , pokud má vysokou energii) způsobují vnější ozáření organismu. Jedná se především o primární radionuklidy ^{238}Th a $^{238+235}\text{U}$ se svými rozpadovými produkty, dále izotop draslíku ^{40}K . Průměrná roční dávka tohoto vnějšího ozáření pro člověka se odhaduje cca 0,45 mSv.

Mezi nejvýznamnější přírodní zdroje ionizujícího záření patří radon.

Radon a jeho rozpadové produkty

Radon ^{222}Rn přírodní radioaktivní plyn bez barvy, chuti, zápachu, chemicky netečný, který vzniká postupnou přeměnou uranu, který je v různém množství součástí hornin zemské kůry. Radon ^{222}Rn je alfa zářič s poločasem rozpadu 2,8 dne a rozpadá se na řadu dalších radioaktivních prvků uranové rozpadové řady. Samostatný radon je inertní plyn, který je po vdechnutí z velké části zase vydechnut, avšak jeho dceřiné produkty radonu např. ^{218}Po se absorbují a zachycují ve vzduchu na prachových částicích. Při vdechování se usazují v **plících** a průduškách a dlouhodobě tyto tkáně ozařují zářením alfa o vysoké

energii (cca 7MeV) a radiační účinnosti. Radon působí karcinogenně - vdechování radonu a produktů jeho přeměny zvyšuje riziko onemocnění rakovinou plic. Rakovina vyvolaná radonem nevzniká okamžitě. Doba, než se mohou začít objevovat příznaky rakoviny plic, je dlouhá 10 až 30 let.

Z povrchu země se radon dostává do atmosféry nebo vstupuje do objektu.

Ve volné atmosféře se radon rychle rozptýluje, avšak v uzavřených místnostech a prostorách se může výrazně **koncentrovat**. Hlavním zdrojem radonu jsou dutiny v zemi (podloží), kdy koncentrace úzce souvisí s množstvím radonu v podloží pod objektem, plyno - propustností podloží a také závisí na těsnosti objektu vůči podloží a intenzitě větrání objektu. Dále z minerálů (obsahující uran a tím i radium) a stavební materiál vytvořený z těchto minerálů a také z podzemní vody. Podzemní voda obsahuje vždy určité množství radonu (v povrchových vodách je radonu zanedbatelně). Do vody přechází z hornin obsahujících uran a radium a spolu s vodou se dostává do budov. Při používání vody v bytě se část radonu uvolňuje do ovzduší (při sprchování a mytí asi 50 %, při vaření a praní téměř 100%) a vytváří zde krátkodobé produkty přeměny radonu, jejichž vdechování přispívá k ozáření osob. Pití vody je z hlediska ozáření považováno za méně významné.

V polovině 50. let minulého století (Hultqvist, 1956) byla poprvé zjištěna přítomnost vyšších objemových aktivit radonu (OAR) v bytech ve Švédsku. Mělo se však, zato, že jde o specifický lokální problém, a informace zapadla. Teprve v sedmdesátých letech byly vysoké koncentrace radonu objeveny i v dalších zemích a byly zahájeny národní (anti)radonové programy. U nás byla příprava na radonový program zahájena v roce **1978** v Jáchymově. Ukázalo se, že jde o světově unikátní situaci, způsobenou jednak přirozeně vyšším radonovým rizikem podloží navíc místy kontaminovaným zbytky po historické těžbě stříbrné rudy obsahující i uran, jednak tím, že ve městě bylo použito do stavebních materiálů vysoce radioaktivních odpadů z místní výroby uranových barev a posléze i výroby radia.

Množství radonu v obytných místnostech (pokud se jedná o zvýšený výskyt radonu na daném území nebo v použitém stavebním materiálu) lze snížit některými technickými úpravami - utěsněním trhlin v podlahách a sklepních prostorách, izolačními nátěry zdiva, především však **odvětráváním prostorů** pod podlahami a v nejnižších místech (radon je těžký plyn, hromadí se dole).

Průměrná roční efektivní dávka záření z radonu se odhaduje na cca 1,3 mSv, avšak je velmi proměnlivá v závislosti na lokalitě pobytu.

Kosmické záření

Kosmické záření je významnou složkou přírodního a permanentního radiačního pozadí. Více o záření je podrobně popsáno v bodě 3.1.2. Průměrná dávka z kosmického záření pro člověka se odhaduje na 0,4 mSv/rok. Individuálně však dávkový příkon výrazně závisí především na místě v atmosféře, tj. na *nadmořské výšce*: při zemi (0m): 0,03 $\mu\text{Sv/hod.}$, ve výšce 2km: 0,1 $\mu\text{Sv/hod.}$, ve vysokohorské výšce 6km: 1 $\mu\text{Sv/hod.}$, ve výšce 10km: 5 $\mu\text{Sv/hod.}$, v 15km: 10 $\mu\text{Sv/hod.}$

3.1.2 Umělé zdroje ionizujícího záření

Uplatnění radiačních technik a technologií lze v současné době nalézt ve všech oblastech lidské činnosti, např. v těchto odvětvích: radiační sterilizace, chemie polymerů, radiační ošetřování potravin, uplatnění radiačních technologií v tvorbě a ochraně životního prostředí, radiační syntézy, radiačně chemická problematika jaderné energetiky a radiochemického průmyslu, radiační aplikace v elektrotechnice a v úpravě kovových nekovových materiálů, aplikace hlavně v lékařské praxi.(8,14,20,24)

3.2 Druhy ionizujícího záření

Záření alfa jsou částice rychle letících jader atomů **helia**, která obsahují 2 protony a 2 neutrony. Dosahují rychlosti řádově 10^7 m.s^{-1} a jejich energie je v rozmezí 4 MeV až 9 MeV. Při průchodu alfa částic látkou rychle ztrácí svoji energii převážně ionizací atomů prostředí. Částice vytváří při srážkách s atomy (kladné a záporné ionty) tím, že vyráží z elektronového obalu elektron. Alfa částice ztrácejí svou veškerou energii ionizací velice rychle, proto jejich dolet částic je malý. Dolet částic alfa je ve vzduchu několik cm, ve tkáni mikrometry, v kapalinách a pevných látkách zlomky milimetrů. Zdrojem záření jsou těžké radionuklidy. Mezi alfa zářiče patří např. ^{226}Ra , ^{239}Pu a ^{241}Am .

Záření beta je tvořeno záporně nabitými elektrony nebo kladně nabitými pozitrony, se značným rozsahem energií. Je asi 100krát pronikavější než záření alfa. Při průchodu látkou ztrácejí svoji energii ionizací atomů prostředí mnohem pomaleji ve srovnání s částicemi alfa. Jejich dolet ve vzduchu je řádově až metry, v tkáni centimetry. Hodnoty maximální energie u běžně používaných β zářičů činí desítky keV až jednotky MeV. K nejčastěji používaným beta zářičům patří např. ^{35}S , ^{63}Ni , ^{85}Kr , ^{90}Sr , ^{90}Y , ^{204}Ti .

Záření gama je nejpronikavější součást jaderného záření elektromagnetické vlnění s krátkou vlnovou délkou. Vzniká při radioaktivní přeměně radionuklidy obvykle současně se zářením alfa nebo beta.

Záření gama obsahuje emitované fotony (γ). Při průchodu prostředím uvolňuje záření gama elektricky nabitě částice a předává jim energii dostatečnou k tomu, aby byly schopny ionizovat. Jedná se o nepřímo ionizujícího záření. Dosah záření je ve vzduchu řádově několik set metrů, v kompaktních materiálech jako např. beton, zemina, hornina je řádově několik centimetrů až desítek centimetrů.

Kosmické záření je záření o velmi vysokých energiích dopadajících na zemský povrch z kosmického prostoru, které je již silně modifikováno jak co do složení, tak i co do prostorového rozložení. Zemská atmosféra poskytuje dostatečnou ochranu před jeho možnými účinky. Biologické účinky kosmického záření se mohou nepříznivě projevit při dlouhodobých kosmických letech.

Primární kosmické záření přichází z mezihvězdného prostoru a obsahuje galaktické záření a záření z velkých slunečních erupcí, složené hlavně z vysokoenergetických protonů, helionů, elektronů a rentgenového záření. Dávkový příkon se výrazně mění s výškou nad hladinou moře, se zeměpisnou šířkou málo. Do nadmořské výšky asi 20km se s rostoucí nadmořskou výškou zvyšuje intenzita ionizujícího záření, dalších 20 km se snižuje a ustaluje se na konstantních hodnotách s výjimkou van Allenových-Věrnonových pásů (jedná se o magnetické pasti tvaru prstence, které jsou kolem Země). Ionizující záření v těchto pásích představuje určité radiační riziko pro posádku kosmické lodi.

Sekundární kosmické záření vzniká v důsledku různých interakcí vysoce energetického primárního kosmického záření při průchodu zemskou atmosférou.

Rentgenové záření, X-záření je neviditelné krátkovlnné elektromagnetické záření ve vlnovém rozsahu asi 10^{-9} až 10^{-14} m. Přírodním zdrojem jsou hvězdy. Vzniká v elektronovém obalu interakcí letících elektronů s hmotou. Umělým zdrojem RTG záření jsou rentgenky. Kdy v rentgenkách vznikají dva druhy rentgenového záření zabrzděním prudce letících elektronů v látce o vysokém protonovém čísle. Rentgenové záření působí druhotné záření látek (luminiscence), zčernání fotografické emulze, ovlivňuje živou i neživou hmotu.

Neutrony se vyskytují v původním stavu pouze v kosmickém záření. Neutrony nemají elektrický náboj, a proto pronikají do blízkosti jader atomů. Neutrony nejsou schopny přímo ionizovat hmotu. Od nich se mohou odrážet nebo s nimi reagovat za vzniku nových částic. Zdrojem neutronů mohou být některé radionuklidy (Cf 252, Pu-Be, hlavním zdrojem jsou jaderné reaktory a některé urychlovače. (3,6, 8,10)

3.3 Detekce a měření ionizujícího záření

Radiační monitorování je cílené **měření** veličin charakterizujících záření za účelem zajištění optimální úrovně ochrany osob a pracovního či životního prostředí před škodlivými účinky ionizujícího záření. Radiační monitorování se zpravidla skládá ze tří částí: **monitorování osob (osobní dozimetrie), monitorování pracoviště, monitorování radioaktivních odpadů a příp. monitorování okolí pracoviště s ionizujícím zářením.** K měření ionizujícího záření se používají detektory záření, což jsou přístroje, které převádějí ionizující záření na jinou, snáze zpracovatelnou a indikovatelnou veličinu, většinou na elektrický proud. (6)

3.4 Základní veličiny a jednotky

Pro hodnocení účinku ionizujícího záření především pro oblast radiační ochrany jsou stanovena základní veličiny a jednotky, které charakterizují jednak zdroj záření, které vysílá záření do svého okolí – pole záření, působení záření na látku či živý organismus. Od roku 1980 byla důsledně zavedena soustava SI, která se významně dotýkala i radiologických jednotek.

Biofyzikální veličiny ionizujícího záření

Jedná se o veličiny, které jsou používány v radiační ochraně. Vyjadřují působení ionizujícího záření na živé organizmy. Účinek ionizujícího záření na živé organizmy závisí vedle dávky na druhu záření a podmínkách záření. Různé druhy ionizujícího záření mají rozdílné biologické účinky, proto byly zavedeny níže uvedené veličiny.

Dávkový ekvivalent H (Sv) je veličina, která zahrnuje různé biologické účinky jednotlivých druhů ionizujícího záření na lidský organismus. Jedná se o součin **absorbované dávky** a **jakostního faktoru** (Q). Jednotka dávkového ekvivalentu je sievert (Sv). Jakostní faktor vyjadřuje rozdílnou biologickou účinnost různých druhů záření.

Efektivní dávkový ekvivalent H_{ef} (Sv) je definován jako součet dávkových ekvivalentů v různých orgánech a tkáních (H_T) násobených váhovým faktorem (w_T). $H_{ef} = H_T \cdot w_T$ (**J.kg⁻¹**) Sv. Velikost váhových faktorů souvisí s citlivostí orgánů a tkání k stochastickým účinkům ionizujícího záření.

Efektivní dávka E (Sv) je součet součinů tkáňových váhových faktorů w_T a ekvivalentní dávky H_T v ozářených tkáních nebo orgánech T.

Kolektivní efektivní, popř. ekvivalentní dávka S, což je součet efektivních, popř. ekvivalentních dávek všech jednotlivců v určité skupině.

Dávkový úvazek slouží ke stanovení zátěže z vnitřní kontaminace. Je to dávka, kterou způsobí v určitém orgánu a tkáni radioaktivní látka za 50 let od jejího příjmu.

Veličiny charakterizující zdroje ionizujícího záření

Aktivita A (Bq) je definována jako počet radioaktivních přeměn radionuklidu za jednotku času. Udává počet rozpadlých jader radionuklidu za 1 s. Jednotkou aktivity radionuklidu je becquerel (Bq) o rozměru s^{-1} , znamená jednu přeměnu za sekundu. Dříve byla používána jednotka curie (Ci), která vyjadřovala aktivitu radonu, přičemž $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$. Aktivita není veličina konstantní, klesá s časem, závisí na hmotnosti radionuklidu.

Poločas přeměny T (s, min, h, r) je doba, za kterou klesne aktivita (počet atomů radionuklidu) na polovinu původního počtu atomů radionuklidu. Počet atomů radionuklidu při radioaktivním rozpadu ubývá časem. Úbytek atomů je úměrný celkovému počtu atomů a času. Poločas přeměny se pohybuje v hodnotách od µsekund až po desítky miliard let. Čím je větší poločas přeměny, tím pomaleji se radionuklid rozpadá. Jedná se o specifickou dobu pro každý radioaktivní zářič.

Přeměnová konstanta λ (s⁻¹) charakterizuje rychlost rozpadu radionuklidu a udává relativní úbytek počtu atomů za 1s. Čím je větší přeměnová konstanta, tím rychleji se radionuklid rozpadá.

Veličiny interakcí ionizujícího záření s látkou

Absorbovaná dávka D (Gy) je množství energie ionizujícího záření absorbované v jednotce ozařované látky. Dávka se označuje písmenem D, jejíž jednotkou je gray (Gy), který je roven jednomu joulu energie absorbované jedním kg látky (J.kg⁻¹). Dříve byla jednotkou dávky rad – 1 rad= 0,01 Gy.

Dávkový příkon D (Gy/s) udává, jak rychle se dávka mění. Změna dávky za jednotku času. Udává přírůstek absorbované dávky záření za sekundu. Označuje se D a jednotkou Gy.s⁻¹.

Dávka a dávkový příkon se používají pro hodnocení přímo ionizujícího záření. Pro hodnocení nepřímo ionizující záření (např. RTG záření a gama záření) se používají veličiny kerma K (J/kg) a expozice X (C/kg). (3,7,8,16)

4. ÚČINKY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ NA ČLOVĚKA

Ionizující záření značně působí na živou hmotu. Globální účinky ionizujícího záření na živou hmotu byly vysvětlovány na základě dvou koncepcí.

Teorie **přímého účinku záření** (zásahová teorie), teorie citlivého objemu předpokládá, že k radiačnímu poškození buňky dojde zejména při přímém zásahu určité části buňky, která je sensitivní. Dochází k přímé denaturaci bílkovin.

Teorie **nepřímého účinku** (radikálová teorie), je založena na představě, že ionizující záření způsobuje fyzikální a chemické změny v buňce, v jejím okolí, změny spojené s radiolýzou vody, které je v živém organismu v průměru 80%, vycházející z působení záření na vodu.

Interakce ionizujícího záření se živými systémy se řídí obecnými zákony platnými i pro látky neživé. Ionizující záření může být částečně nebo zcela **absorbováno**. K absorpci záření (energie) dochází převážně mechanismem ionizace a excitace. Absorbovaná energie způsobuje v látce fyzikální, chemické, tepelné, biologické změny. (8, 14)

4.1 Základní stádia účinku ionizujícího záření na organismus

Proces účinku ionizujícího záření na živou tkáň probíhá ve čtyřech význačných etapách, lišících se svou rychlostí a druhem probíhajících procesů.

Fyzikální stádium

Při interakci kvanta ionizujícího záření s hmotou je energie záření předávána elektronům v atomech za vzniku ionizace a excitace. Jedná se o velmi rychlý primární proces (prakticky okamžitý, rychlost kvant je rovna nebo blízká rychlosti světla), trvá jen cca 10^{-16} - 10^{-14} sekundy.

Fyzikálně-chemické stádium

Jedná se o proces velmi rychlý, netrvá déle než 10^{-14} - 10^{-10} sec.

Nastávají sekundární fyzikálně-chemické procesy **interakce iontů** s molekulami, při nichž dochází k **disociaci molekul** a za vzniku **volných radikálů** (např. z vody H_2O vznikají vodíkové kationty H^+ a hydroxylové anionty OH^- a nestabilní produkty schopné oxidace H_2O_2 , HO_2).

Chemické stádium

Vzniklé ionty, radikály, excitované atomy a další produkty **reagují** s biologicky důležitými organickými molekulami ("atakují" molekuly DNA, RNA, enzymů, proteinů) a mění jejich složení a funkci. Typickou poruchou na molekulární úrovni jsou **zlomy řetězců v molekule DNA** - buď zlom jen jednoho vlákna cukro-fosfátového řetězce, nebo úplný zlom dvojlákna DNA. Dále mohou vznikat poškození purinových a pyrimidinových bazí, atypické vazbové "můstky" (*cross-linky*) uvnitř dvojlákna DNA, lokální denaturace a další chemické změny - obr.4b. Jednotlivé "*genotoxické*" procesy tohoto chemického stádia trvají různě dlouhou dobu - od tisíců sekund do řádově jednotek sekund, v závislosti na transportní době reaktivních složek z místa svého vzniku do místa lokalizace napadené biomolekuly.

Biologické stádium

Molekulární změny v biologicky důležitých látkách (v DNA, enzimech, proteinech) mohou vyústit ve **funkční a morfologické změny** v buňkách, orgánech i v organismu jako celku. Biologické stádium se při vysokých dávkách záření může projevit již po několika desítkách minut, při středních dávkách během několika dní - akutní poškození či nemoc z ozáření v důsledku zničení velkého počtu buněk. Při nízkých dávkách může však zahrnovat dobu latence několika let nebo i desítek let (pozdní stochastické účinky). Konkrétní druhy biologických účinků ionizujícího záření jsou popsány níže.

Fyzikální a chemické stádium je závislé na **fyzikálních parametrech záření**, zatímco následná radiobiologická reakce buněk je určena pouze **biologickými vlastnostmi** konkrétních druhů buněk. (14)

4.2 Biologické účinky ionizujícího záření

Biologické účinky ionizujícího záření závisí na druhu a energii záření, dávce a dávkovém příkonu, vlastnostech tkáně nebo orgánů.

Prvotně ionizující záření vyvolává poškození v buňkách. Za ústřední poruchu se všeobecně pokládá poškození kyseliny deoxyribonukleové DNA. Poškození buněk je závislé na jejich rozmnožovacích schopnostech. Čím má buňka větší schopnost rozmnožování tím ionizující záření má větší vliv.

Účinky záření na buněčné úrovni mají co do důsledku dvojitý charakter:

- Smrt buňky, kdy záleží na počtu zemřelých buněk, zda bude zasažen celý organismus. Při odumření většího počtu buněk mohou selhat postižené orgány a způsobit smrt.
- Změna cytogenetické informace při zachování dalšího buněčného dělení. Záření vyvolává mutace, které mohou dát vznik zhoubnému bujení. Je-li zasažena buňka pohlavní, ať mužská či ženská, může dojít ke změnám genetickým, které mohou vést k poškození projevujícím se u potomků, ale i v dalších generacích.

Mutace je náhle vzniklá, neusměrněná, trvalá změna vlastnosti nebo znaku organismu, podmíněná změnou genetického materiálu. Mutace jsou genové – narušení genu, tj. funkčně ucelené sekvence nukleotidů a chromozomové – jedná se o změny v počtu chromozomů nebo jejich tvaru (aberrace). Genové mutace i chromozomové aberrace se mohou týkat buněk zárodečných žláz – gametické mutace, jednak buněk orgánů a ostatních tkání – somatické mutace.

Buňky mají jistou schopnost opravit poškození pomocí reparačních mechanismů. Organismus má v tomto ohledu velké strukturální i funkční rezervy, takže teprve zničení velkého podílu buněk se jeví klinicky. Reparační procesy se mohou uplatnit většinou jen tehdy, není-li přísun energie – dávky ionizujícího záření do buněk příliš rychlý. Tudíž celkový účinek záření závisí jednak na dávce, ale také i na dávkovém příkonu. Při určité dávce je poškození organismu menší, je-li jednorázová dávka rozložena na delší časové období buď frakcionací, tj. rozdělením celkové dávky na několik jednorázových ozáření, nebo celková dávka

může být aplikována průběžně – kontinuálně po delší dobu, tj. s nižším dávkovým příkonem. V časových prodlevách při frakcionovaném režimu při menším dávkovém příkonu se mohou uplatnit reparační mechanismy. Snížení dávkového příkonu při stejné celkové dávce vede tedy ke snížení biologického účinku. (3,7,8)

4.2.1 Radiosenzitivita

Celkový stav organismu ovlivňuje citlivost na záření. Lidský organismus je tvořen z jednotlivých tkání a orgánů, které nemají stejnou citlivost k ozáření. Absorpce stejné dávky v různých tkáních se projeví různými biologickými účinky. Vysokou radiosenzitivitu vykazují tkáně, v nichž probíhá rychlé buněčné dělení. Nejvyšší radiosenzitivita u lymfatické tkáně, kostní dřeně, pohlavní žlázy, střevo dále kůže a epitel, hltan, jícen žaludek, močový měchýř, oční čočka, malé cévy, rostoucí chrupavka a kost, vospělá kost a chrupavka, dýchací orgány, játra, pankreas, endokrinní žlázy, a s nejnižší radiosenzitivitu nervová a svalová tkáň.

Z hlediska radiační ochrany a charakteru změn vyvolaných v lidském organismu se účinky ionizujícího záření rozdělují na stochastické a deterministické, opírající se o typ vztahu dávku a účinku, dále na genetické a somatické. Dříve bylo užíváno rozdělení na časné účinky (zahrnující akutní nemoc z ozáření, akutní lokální poškození, poškození plodu) a pozdní účinky (lokální změny oka a kůže, zhoubné nádory, genetické změny).

4.3 Stochastické účinky ionizujícího záření

Účinky stochastické jsou důsledkem změny jedné nebo několika málo buněk typu mutace nebo maligní transformace, které vznikly v důsledku působení ionizujícího záření na buňky. Ozáření zvyšuje pravděpodobnost pozdních změn vázaných na ozářenou tkáň nebo orgán.

Pro stochastické účinky tedy platí:

- mají **bezprahovou funkci dávky**,
- ke stochastickým účinkům patří somatické účinky, které se projeví přímo na jedinci, který byl ozářen (zhoubné novotvary) a genetické účinky, které postihnou potomstvo. Vznik nádoru je považováno za hlavní somatické riziko při ozáření jedince nízkými dávkami,

- s rostoucí efektivní dávkou roste pravděpodobnost poškození v ozářené populaci,
- účinky nemají charakteristický klinický obraz, nelze rozpoznat, zda účinek vznikl ozářením nebo jiným vlivem. Obraz je stejný jako u nádorových onemocnění, která se vyskytují v populaci,
- ke vzniku nádoru nemusí dojít jen v ozářeném místě,
- nezáleží na tom, zda byl organizmus ozářen jednorázově či potrahově.

Hlavním kvantitativním parametrem umožňující hodnocení rizika jsou koeficienty rizika pro jednotlivé stochastické účinky, jimž v grafickém vyjádření odpovídá různá strmost přímk.

Koeficient rizika smrti (z hlediska zhoubných nádorů) je číslo, které charakterizuje riziko úmrtí na rakovinu.

Nádorové onemocnění

Ionizující záření dle současných představ, podobně jako celá řada dalších faktorů, působí při vzniku maligních nádorů jako faktor působící proti tendenci organismu eliminovat v organizmu přítomné atypické buňky nesoucí dědičně modifikovanou informaci. Modifikovaná informace může být v buňkách přítomna před ozářením, nebo vyvolaná zářením prostřednictvím tzv. somatických mutací.

Zhoubné nádory - jsou nejzávažnějšími pozdními somatickými účinky stochastické povahy. Mohou vznikat jako následek **mutací**, které vyústí ve ztrátu kontroly nad dělením buněk a **maligní transformaci** postižených buněk.

Nejvýznamnější typy nádorových onemocnění indikovaných zářením:

Rakovina kůže pozorována u rentgenologů, kteří pracovali za nevhodných hygienických podmínek, kdy vniká na bázi hyperplastických ložisek při chronické dermatitidě způsobené vysokými dávkami záření.

Kostní sarkomy s vysokým obsahem osteotropních radionuklidů, které pronikly do organismu v důsledku práce s radioaktivními svítícími barvami.

Bronchogenní karcinom převážně u horníků, kteří dříve těžili metalické rudy a později radioaktivní suroviny.

Genetické změny

Genetické změny se projevují postižením potomstva ozářených osob na základě mutací v zárodečných buňkách.

4.4 Deterministické (nestochastické) účinky ionizujícího záření

Účinky deterministické jsou důsledkem smrti nebo ztráty schopnosti dělení velkého počtu ozářených buněk. K deterministickým účinkům patří různé formy akutní nemoci z ozáření, akutní lokalizované poškození – poškození kůže, poškození plodu in utero, nenádorová pozdní poškození. Platí pro ně vztah dávky a účinky schematicky vyjádřený esovitou křivkou obrázek 8.

Pro deterministické (nestochastické) účinky platí:

- ke svému vzniku potřebují určitou **prahovou dávku**, pod dávkovým prahem se účinek neprojeví,
- po překročení prahové dávky roste závažnost poškození,
- klinické obrazy jsou do jisté míry charakteristické,
- jedná se o lokální projev ozářených míst,
- rozložení dávky v čase je rozhodující, při ozáření potrahovém (tj. během delšího časového období) je organismus odolnější v důsledku možného uplatnění reparačních mechanismů buněk a tkání, než u záření jednorázového (tj. v krátkém časovém intervalu).

Hlavním kvantitativním parametrem umožňujícím hodnocení rizika je hodnota prahové dávky (toleranční dávky).

4.4.1 Časné deterministické účinky

Akutní nemoc z ozáření

Nejzávažnějším projevem časného účinku je akutní nemoc z ozáření, která vzniká po **jednorázovém** ozáření celého těla **dávkou vyšší než 1 Gy**. Jedná se o komplex patologických změn v organismu, kde v závislosti na stupni ozáření převládají v klinickém obraze příznaky poškození **hematologické, gastrointestinální (střevní) a nervové**.

Akutní nemoc z ozáření má charakteristický průběh a probíhá z pravidla ve čtyřech obdobích:

1. období nespecifických příznaků,
2. období bez klinických příznaků,
3. období vlastního onemocnění,
4. období rekonvalescence.

Hematologická – krevní forma akutní nemoci z ozáření vzniká po celotělovém ozáření dávkou asi 3-5 Gy (ve volném prostoru). Hraniční příznaky se mohou projevit po dávce 1-2 Gy.

Onemocnění se projevuje v prvním dnu po ozáření 1. nespecifickými příznaky, jako je nevolnost, únava, slabost, bolest hlavy, nucení na zvracení, zvracení, pokles počtu lymfocytů v periferní krvi. Poté nastává období 2. bez klinických příznaků, jehož délka je delší, čím byla dávka ozáření menší, a může trvat až 2 týdny. V tomto období přežívá v periferní krvi dostatek zralých krevních elementů k postačení základních funkcí a příznaky se projeví až při poklesu bílých krvinek pod kritickou hodnotu. Postižený se cítí zdravý, příznaky prvního období ustupují, ale rozvoj nemoci postupuje do 3. období rozvoje vlastního onemocnění, jehož průběh závisí na dávce. Po dávce asi 4 – 6 Gy se projeví útlum krvetvorby, krvácivost a v důsledku snížení obranyschopnosti může vzniknout sepse. Horečky, které jsou také typické pro toto období, mohou trvat i týdny, jsou příčinou rozvoje infekce podmíněné zhroucením imunitního systému. Vedle změn v periferní krvi dochází i k poškození imunologických mechanismů – deplece buněčného substrátu.

U dávek kolem 10 Gy mohou závažné obtíže vystoupit už 4. -6. den po ozáření. Dochází k poškození sliznice trávicího traktu, což má za následek krvavé průjmy, jindy příznaky střevního proděravění nebo střevní zástavu – **střevní forma**, rozvrácení minerální rovnováhy. Při ještě vyšších dávkách dochází i k psychické dezorientaci a zmatenosti, někdy ke křečím nebo bezvědomí – **nervová forma**. Smrt nastává do několika hodin nebo dnů.

Poslední období tedy 4.období rekonvalescence, je závislé na dávce ozáření. Nastupuje u postižených, kteří nebyly vystaveny smrtelné dávce ozáření, může nastoupit pozvolna rekonvalescence a nakonec může dojít k částečnému nebo při menších dávkách ozáření i k úplnému uzdravení. U osob, které přežily akutní nemoc z ozáření, je častější výskyt leukemií i jiných nádorových onemocnění.

Akutní lokální poškození kůže – akutní radiační dermatitida

Jedná se o nejčastější typ poškození, který přichází v úvahu u profesionálně exponovaných osob. Především se jedná o postižení kůže na ruku po dávce záření překračující 10 Sv, např. při nesprávném zacházení s mikrostrukturálními rentgeny.

Odezva kožního orgánu je závislá na velikosti dávky, na druhu záření, energii částic, časovém rozložení dávky a na velikosti ozářeného pole na jeho lokalizaci na těle postiženého. Odezva kůže je také podmíněna i nestejnou odolností různých částí povrchu těla proti ozáření. Nejcitlivější a nejmenší odolnost kůže je na přední části krku, v loketní a záloketní jamce, postupně větší odolnost má kůže ohýbačových ploch končetin, kůže na prsou, břichu, tváři, zádech, na hřbetních plochách končetin, na šiji, vlasaté části hlavy, dlaních a ploskách nohou.

Podle závažnosti poškození kůže se dělí účinky ionizujícího záření na tři stupně poškození.

První stupeň poškození se rozvíjí po dávce asi 3 Gy, kdy do několika hodin, ale nejpozději do tří dnů se objeví nevýrazný erytém – zarudnutí, který zpravidla uniká pozornosti. Poté nastupuje období latence, které podle dávky trvá až 20 dnů. V tomto období dochází k pozdnímu zarudnutí pokožky-erytému, kdy dochází k prosáknutí i hlubokých vrstev kůže - **radiační dermatitida prvního stupně**. Zánět není příliš bolestivý, avšak špatně se hojí. Ve třetím týdnu může být po jednorázovém ozáření dočasná ztráta ochlupení. Po dávce 6 Gy může být ztráta ochlupení trvalá. Nejvímavější k ozáření jsou partie kůže, v oblasti vlasaté části hlavy a vousaté části obličeje mužů, kde se vlas (chlup) rychle obnovuje. Místa, která jsou postižena ztrátou ochlupení, slouží jako vodítko pro posouzení rozložení dávky na povrchu těla.

Při ozáření dávkami vyššími, okolo 15 -20 Gy dochází k **radiační dermatitidě druhého stupně**, kdy exsudát se hromadí v úrovni poškozené vrstvy bazálních buněk a epidermolýzou vznikají **puchýře**. Stav se může komplikovat odlučováním puchýřů a jejich infekcí, kdy dochází k plošnému mokvání. Je-li stav bez komplikací, nastává po dalších dvou až třech týdnech obnova pokožky. Pokud bylo postižení cév hlubší, dojde k odumření okrsků tkáně, která po odloučení vytvoří **vřed – radiační dermatitida třetího stupně**. Hlubší vředy se obtížně a dlouho hojí, zejména pro cévní změny v okolí, které mohou ohrozit i životnost např. svalstva a kostí. Dojde-li k zahojení defektu, je další osud kůže nejistý. Nová pokožka, nemá dostatečnou spolehlivou podkladovou vrstvu a špatně odolává zátěži chemické, mechanické nebo mikrobiální kontaminaci. V pozdním období převládá nad hojícími se procesy rozvoj degenerativních změn, kdy vzniká pozdní vřed vyžadující chirurgický zákrok.

Poškození fertility

Ozáření zárodečného epitele

Ozáření jen části těla v oblasti pohlavních žláz – ozáření malé pánve a gonád může vyvolat neplodnost, genetické změny v pohlavních buňkách, mutace. Sterilizační účinek ionizujícího záření na mužské a ženské pohlavní žlázy se hodnotí odděleně. Jejich anatomické uložení vytváří odlišné podmínky pro realizaci dávkou v zárodečném epitelu při ozáření dolní části trupu.

Buněčná kinetika mužských a ženských zárodečných buněk je značně rozdílná. U mužů je od puberty do pokročilého věku zachována v plném rozsahu funkce obnovení buněčného systému, kdy celý systém v procesu zrání se odhaduje na 8-10 dní. Existence úplného obnovení systému představuje dobré podmínky pro náhradu buněčných ztrát způsobených ozářeními. U žen je konečný počet vajíček vytvořen už v novorozeneckém období, zrání oocytů se zastavuje na úrovni profáze prvního zracího dělení a před ovulací se dokončuje v průběhu několika týdnů. V době dospívání má žena asi 300 000 – 400 000 folikulů, jejich růst klesá. Zánik primordiálních folikulů, způsobený ozářeními nemůže být nahrazen.

Muži jsou z hlediska vyvolání poruch fertility ionizujícím zářením vnímavější než ženy.

Již při dávce 0,25 Gy dochází k přechodnému snížení počtu spermií. Dávka 3 Gy má za následek trvalou sterilitu žen a při dávkách 3-8 Gy dochází k trvalé sterilitě mužů.

Poškození embrya a plodu

Stupeň poškození plodu závisí nejen na dávce, ale na stádiu ve kterém k ozáření došlo. V první třetině gravidity vykazuje plod největší citlivost. V prvních dvou týdnech gravidity platí efekt vše nebo nic, dochází k zániku zárodku, nebo k jeho přežití bez jakýchkoliv následků. Ozáření mezi 3. – 8. týdnem (organogeneze) vede k poškození základu centrálního nervového systému, důsledkem toho je poškození mozku, míchy, oka, močového traktu a kostry. V 8. – 15. týdnu má ozáření za následek opožděný psychický vývoj jedince. V poslední třetině těhotenství je plod relativně radiorezistentní. Poruchy vedou k dědičnému poškození jedince, nebo k nádorům v dětském věku.

4.4.2 Pozdní deterministické účinky

Pozdní nenádorová onemocnění

Zákal oční čočky vzniká po jednorázovém nebo dlouhodobém ozáření, vyžadující poměrně dlouhou dobu k vývoji. Vzniká po ozáření oka dávkou alespoň 2 Gy nebo po opakovaných expozicích nižším dávkám. Mezi ozáření a projevy onemocnění je doba latence alespoň jeden rok, může být i delší 10 let.

Chronická radiační dermatitida, která byla častým nálezem u rentgenujících chirurgů, klinických radiologů v první polovině 20. století. Byla důsledkem ozáření rukou v primárním svazku, který býval nevhodně vymezen a nedostatečně filtrován, takže se uplatnily i fotony o nízkých energiích. Odlišuje se typ atrofický (epidermis je tenká, hladká, křehká= vede k trhlinám, a sekundárním vředům, dále se lišuje depigmentace, hyperpigmentace) a hypertrofický (epidermis silnější, kožní záhyby výraznější, ložiskové hyperkeratózy).

K pozdním deterministickým účinkům je možné počítat **pozdní následky navazující na akutní poškození různých tkání** ozáření vyšší dávkou při nehodách. Např. by se jednalo o plicní fibrózy, hypothyerozy na podkladě regresivních změn ve štítné žláze, recidivy kožních defektů. (5,7,8, 14)

5. LEGISLATIVA

Státní úřad pro jadernou bezpečnost (dále jen SÚJB) vykonává státní správu a dozor při využívání jaderné energie a ionizujícího záření, v oblasti radiační ochrany a v oblasti jaderné, chemické a biologické ochrany. Jeho působnost je dána zákonem č. 18/1997 Sb. SÚJB sídlí na Senovážném náměstí 9, Praha 1, 110 00, který má regionální centra v Praze, Brně, Českých Budějovicích, Plzni, Hradci Králové, Ústí nad Labem, Ostravě a Kamenné u Příbrami a lokální pracoviště v jaderných elektrárnách Temelín a Dukovany.

SÚJB řídí - **Státní ústav radiační ochrany (SÚRO)** se sídlem v Praze a veřejnou výzkumnou instituci – Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany (SÚJCHBO) se sídlem v Příbrami – Kamenné.

Hlavní činnosti SÚRO lze rozdělit do několika oblastí:

- monitorování obsahu a distribuce umělých radionuklidů v životním prostředí a v potravních řetězcích v souvislosti s provozem jaderně-energetických zařízení, problematika vnitřní kontaminace;
- lékařské expozice, tj. používání zdrojů ionizujícího záření v radiodiagnostice a radioterapii; včetně zajištění činnosti;
- přírodní zdroje, tj. sledování a hodnocení ozáření obyvatelstva z přírodních radionuklidů (zejména radonu) a hodnocení radiačních rizik.

(13,18,22)

Stěžejním zákonem v oblasti ionizujícího záření v České republice je zákon číslo **18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizující záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, v platném znění** a na něj navazující řada prováděcích předpisů v oblasti radiační ochrany (především vyhláška SÚJB č. 184/1997 Sb. a její revize vyhláška č. 307/2002 Sb. v platném znění.

Atomový zákon upravuje:

- způsob využívání jaderné energie a ionizujícího záření a podmínky vykonávání činností souvisejících s využíváním jaderné energie a činností vedoucí k ozáření,
- systém ochrany osob a životního prostředí před nežádoucími účinky ionizujícího záření,

- povinnosti při přepravě a provádění zásahů vedoucích ke snížení přírodního ozáření a ozáření v důsledku radiálních nehod,
 - zvláštní požadavky pro zajištění občanskoprávní odpovědnosti za škody v případě jaderných škod,
 - podmínky zajištění bezpečného ukládání s radioaktivními odpady,
- výkon státní správy a dozoru při využívání jaderné energie, při činnostech vedoucích k ozáření a nad jadernými položkami. (15)
- Atomový zákon také ukládal povinnost SÚJB v sekci radiační ochrany, aby v průběhu let 1997 až 2000 vyvinul nástroje pro vedení systémů státní evidence tzv. centrální registry a databáze vytvářené v radiační ochraně. Jedná se o centrální evidenci registr profesionálních ozáření (CRPO), zdrojů ionizujícího záření (RZ), držitelů povolení a ohlašovatelů (RDPO) a ozáření obyvatel při použití zdrojů ionizujícího záření v lékařství (CDLE) a ozáření obyvatel z přírodních zdrojů.

Vyhláška č.307/2002 Sb., v platném znění, vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o radiační ochraně, upravuje např.:

- podrobnosti radiační ochrany při práci na pracovištích, kde se vykonávají radiační činnosti,
- limity ozáření, optimalizační meze, mezní hodnoty obsahu přírodních radionuklidů ve stavebních materiálech a vodách a nejvyšší přípustné úrovně radioaktivní kontaminace potravin,
- podrobnosti ke klasifikaci zdrojů ionizujícího záření a kategorizaci radiačních pracovníků a pracovišť,
- nakládání se zdroji ionizujícího záření, s radioaktivními odpady, uvádění radionuklidů do životního prostředí, optimalizace radiační ochrany, podmínky bezpečného provozu zdrojů ionizujícího záření a pracovišť s nimi,
- podmínky lékařského ozáření, diagnostické referenční úrovně a pravidla pro ozáření fyzických osob dobrovolně pomáhajících osobám podstupujícím lékařské ozáření. (16)

Dalším důležitým předpisem je **nařízení vlády č.290/1995 Sb., kterým se stanoví seznam nemocí z povolání.**

Atomový zákon a vyhláška SÚJB o radiační ochraně č.184/1997Sb., také upravují problematiku radonu. Stanovují povinnost změřit tzv. **radonový index pozemku**, kde se bude stavět nový objekt, výrobcům povinnost měřit radioaktivitu stavebních materiálů a dodavatelům vody radioaktivitu dodávané vody.

V současné době **vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně**, ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb., stanovuje tzv. směrné hodnoty (pro obsah radonu ve stávajících a nových stavbách takto:

- v obytném prostoru **stávajících budov** by neměla být průměrná hodnota objemové aktivity radonu vyšší než **400 Bq/m³**, je-li překročena, doporučuje se provést protiradonová opatření,
- v obytném prostoru **nového domu** by průměrná objemová aktivita radonu měla být menší než **200 Bq/m³**, proto mají být při nové výstavbě provedena preventivní opatření.

V roce **1999** vyšlo vládní usnesení č. 538, které zahájilo **desetiletý** tzv. **Radonový program na období let 2000 – 2009**, který se zabýval vyhledáváním existujících objektů s vysokou koncentrací radonu, preventivním protiradonovým opatřením i protiradonovými opatření v existujících objektech, informováním veřejnosti i programem vývojové a výzkumné činnosti. Program umožnil i poskytnutí státní dotace na protiradonová opatření prostřednictvím nejprve okresních, pak krajských úřadů.

Vládním usnesením ČR č. 594 ze 4. května 2009 byl schválen Radonový program ČR 2010 až 2019 - Akční plán“. Jehož cílem je především prohloubit informovanost i zájem našich občanů o snížení obsahu radonu v budovách, který byl v lednu 2010 zahájen.

6. ZÁKLADY RADIAČNÍ OCHRANY

Cílem ochrany před ionizujícím zářením je zabránit vzniku deterministických účinků a stochastické účinky omezit na přijatelnou úroveň.

Při každé práci s ionizujícím zářením je nutné věnovat zvýšenou pozornost bezpečnosti práce a ochraně zdraví pracovníků s ionizujícím zářením, jakož i ochraně zdraví obyvatelstva v okolí jakéhokoliv jaderného záření.

6.1 Principy radiační ochrany

Při zajišťování cílů radiační hygieny se používají tři základní principy:

Princip odůvodnění

Při činnosti vedoucí k ozáření ionizujícím zářením je nutno zajistit, aby toto ozáření bylo odůvodněno přínosem, který vyvažuje (či lépe převažuje) rizika, která při této radiační činnosti vznikají.

Princip optimalizace

Při všech činnostech, které jsou doprovázeny expozicí ionizačnímu záření, je nutno uplatnit takovou úroveň radiační ochrany, aby riziko škodlivých účinků bylo optimálně nízké, nakořik je lze rozumně dosáhnout z hlediska technických a ekonomických hledisek. Tento princip optimalizace radiačního ozáření se někdy označuje ALARA ("As Low As Reasonably Achievable"), dosažení tak nízkých dávek, jaké jsou přiměřené objektivním možnostem a potřebám.

Princip limitování

Každý, kdo provádí činnosti vedoucí k ozáření, je povinen omezovat ozáření fyzických osob tak, aby celkové ozáření způsobené možnou kombinací ozáření z činností vedoucích k ozáření nepřesáhlo součtu limity ozáření. (14)

Vyhláška č. 307/2002 Sb., v platném znění, vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o radiační ochraně v § 18 stanovuje systém limitů pro omezování ozáření, dělení limitů obecné limity, limity pro radiační pracovníky, limity pro učně a studenty, odvozené limity a omezování ozáření ve zvláštních případech.

Tabulka 2- Limity

	Obecné limity	Limity pro radiační pracovníky	Limity pro učně a studenty
Efektivní dávka			
za kalendářní rok	1 mSv	50 mSv	6 mSv
za dobu pěti po sobě jdoucích kalendářních roků	5 mSv	100 mSv	
Ekvivalentní dávka			
v oční čočce za kalendářní rok	15 mSv	150 mSv	50 mSv
v 1 cm ² kůže za kalendářní rok	50 mSv	500 mSv	150 mSv
na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky za kalendářní rok		500 mSv	150 mSv

Součástí radiační ochrany je dále i zajištění fyzické bezpečnosti zdrojů ionizujícího záření, které by měly být zabezpečeny tak, aby nemohlo dojít k nekontrolovanému ozáření nebo kontaminaci prostředí - aby zdroje byly náležitě skladovány a evidovány, aby nedošlo ke ztrátě či odcizení zdroje, aby zářiče byly svěřovány jen osobám a organizacím, které jsou pro příslušné činnosti vyškoleny a mají povolení.

6.2 Základní způsoby ochrany před zářením

Radiační ochrany má za hlavní úkol snížení absorbované dávky ionizujícího záření v organismu na co nejnižší míru a tím podstatné omezení rizika nežádoucích deterministických či stochastických účinků záření. Obdržená dávka záření je určena několika základními faktory: intenzitou, druhem a energií emitovaného záření, s nímž pracujeme, dobou expozice a geometrickými podmínkami (vzdálenost, stínění).

Ochrana před vnějším ionizujícím zářením – 3 fyzikální ochrany

Vzdálenost

Intenzita záření a tím i dávkový příkon jsou nepřímo úměrné druhé mocnině vzdálenosti od zdroje záření (přesně platí pro bodový zdroj).

Čas

Ochrana časem vychází z toho, že absorbovaná dávka záření je přímo úměrná době expozice, po kterou se nacházíme v poli záření. Zkrácením doby pobytu v exponovaném místě můžeme tedy úměrně snížit obdrženou dávku záření.

Stínění

Jedná se o odstínění záření vhodným absorbujícím materiálem, kdy dochází absorpci určitého množství záření a tím k zeslabení toku záření. V podstatě se mezi pracovníka a zdroj záření umístí stínící vrstva z vhodného materiálu. Pro jednotlivé druhy záření jsou vhodné konkrétní materiály.

6.3 Radiační ochrana na pracovištích s ionizujícím zářením

Stavebně technické požadavky na pracoviště

Stavba, uspořádání a vybavení pracoviště musí být provedeny tak, aby byla zajištěna dostatečná radiační ochrana pracovníků, ostatních osob a životního prostředí. V případě nehody musí být umožněna co nejrychlejší a nejúčinnější dekontaminace osob i pracoviště. Projekty a způsobilost pracovišť pro ionizující záření schvalují pracovníci SÚJB.

V preventivním dozoru, tedy ve fázi projektování je nutné zvažovat velké množství technických a provozních parametrů, převážně se jedná o: způsob využití zdroj ionizujícího záření, technologický proces, radiační riziko, riziko možných nehod a s ním spojený rozsah expozic a jejich následků, prostorové a přístrojové vybavení navrhovaných pracovišť, způsoby ionizujícího záření atd. Posoudit izolace navrhovaného pracoviště, charakter a účinnost stínění zdroje, vhodnost konstrukce mechanismů uvádějící zdroj z klidové do pracovní polohy, jakož i posouzení všech doplňkových mechanismů a posouzení zdroje se snahou o dosažení co nejmenších rozměrů.

Na pracovištích, kde se vykonávají radiační činnosti, se vymezují kontrolovaná pásma a pracoviště se zařazují do kategorií.

Kategorizace pracovišť, kde se vykonávají radiační činnosti dle § 11 vyhlášky č. 307/2002 Sb., v platném znění.

Pracoviště, kde se vykonávají radiační činnosti, se kromě pracovišť, kde se používají výhradně nevýznamné nebo typově schválené drobné zdroje ionizujícího záření, kategorizují vzestupně podle ohrožení zdraví a životního prostředí ionizujícím zářením na pracoviště I., II., III. a IV. Pracoviště se v zásadě dělí podle toho, zda jsou určena k práci s uzavřenými zářiči nebo se zářiči otevřenými.

Pracoviště

I. kategorie – jsou pouze pro práce s nízkými aktivitami radionuklidů s malou radiotoxicitou (drobné zdroje IZ) a po stavební stránce ani vybavením se neliší od chemických laboratoří. Jedná se například o kostní denzitometr, zubní rentgen, přítomnost uzavřených zářičů.

II. kategorie zpracovávají střední aktivity otevřených radionuklidů, mají kontrolované pásmo a jsou vybaveny ochrannými pomůckami vč. digestoře, příp. oddělená kanalizace aktivních odpadů. V této kategorii je většina rentgenových zařízení, většina oddělení nukleární medicíny.

III. kategorie je určeno pro nejnáročnější práce se silnými uzavřenými zářiči (urychlovače, ozařovače v radioterapii a průmyslu) a s vysokými aktivitami otevřených radionuklidů (např. terapie radiojodem, těžba a zpracování uranové rudy, radiochemické provozy). Na tyto pracoviště jsou kladeny značné požadavky na stavební úpravy i vybavení.

IV. kategorie zahrnuje provozy jaderných reaktorů, výroby radionuklidů, úložiště radioaktivních odpadů atd.

Kontrolované pásma prostory pracoviště, kde se pracuje s ionizujícím zářením (radioaktivními látkami nebo jinými zdroji ionizujícího záření) a kde je třeba dodržovat režim ochrany osob před ionizujícím zářením. Kontrolované pásmo se vymezuje všude tam, kde se očekává, že za běžného provozu nebo za předvídatelných odchylek od běžného provozu, by radiační dávka pracovníků mohla překročit 3/10 limitu pro radiační pracovníky".

Kategorizace radiačních pracovníků dle § 16 vyhlášky č. 307/2002 Sb., v platném znění.

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.

Pracovníky kategorie A jsou 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. 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.

Dodržování limitů radiačních dávek viz. kapitola 6.1- princip limitování

Zabránění radioaktivní kontaminaci

Při práci s otevřenými radionuklidy hrozí vedle rizika vnějšího ozáření dále k vnitřní kontaminaci radioaktivními látkami. Radioaktivní kontaminace se dělí na povrchovou a vnitřní kontaminaci. Povrchová kontaminace může vést k vyšším dávkám záření především na kontaminované oblasti kůže, v některých případech však může vyústit i ve vnitřní kontaminaci. Nejčastěji dochází k povrchové kontaminaci pracovních ploch, pomůcek, oděvů nebo osob.

Vnitřní kontaminace je stav vniknutí radioaktivní látky do organismu, kdy radionuklid vstoupí do metabolismu a podle své chemické povahy se může hromadit v cílových orgánech. K vnitřní kontaminaci dochází trávicím traktem (ingescí, přes kontaminované ruce), inhalací při práci s radioaktivními plyny, aerosoly, průnikem přes kůži, cíleně (scintigrafie atd.).

Ochrana před vnitřní kontaminací pracovníků vyžaduje dodržování obecných hygienických norem, používat ochranné pomůcky, v kontrolovaném pásmu nejíst, s těkavými látkami pracovat v digestoři atd.

Rozsáhlejší radioaktivní kontaminace je již radiační nehoda.

Radiační nehoda je neplánovaná událost, která zvýší ohrožení osob ionizujícím zářením. Na pracovištích s uzavřenými zářiči se jedná především o nežádoucí ozáření osob. Na pracovištích s otevřenými zářiči se zejména jedná o nekontrovaný únik radioaktivní látky do pracovního prostředí (např. rozlívání, rozstříknutím, rozbitím lahvičky s radioaktivním roztokem apod.) s následnou kontaminací pracovního prostředí nebo pracovníků. K takovým událostem může

dojít při manipulaci s otevřenými zářiči v procesu jejich přípravy, transportu, skladování, aplikaci a likvidaci.

Mezinárodní stupnice INES (The International Nuclear Event Scale) hodnotí závažnost jaderných událostí. Stupnice zařazuje událost do sedmi stupňů. Stupně 1 až 3 se označují jako nehody, stupně 4 až 7 se označují jako havárie. (8,14,15)

6.4 Radiační ochrana při radiační diagnostice a terapii

Dle § 7 atomového zákona k lékařskému ozáření mohou být používány pouze zdroje ionizujícího záření, které vyhovují požadavkům na zdravotnické prostředky nebo radiofarmaka registrována nebo připravována na pracovišti nukleární medicíny zdravotnického zařízení. Lékařské ozáření se smí uskutečnit pouze tehdy, je-li odůvodněno přínosem vyžadujícím rizika, která ozářením vznikají nebo mohou vyvinout.

Radiační ochrana v této oblasti vychází ze základních principů radiační ochrany uvedené v bodě principy radiační ochrany, má však význačná specifika. Vystavení pacientů ionizujícímu záření jako součást lékařské diagnostiky nebo léčení na nich nepodléhá limitům. To je třeba chápat tak, že jeli uvažované vyšetření odůvodněně indikováno, není nikde stanoven limit dávky, který by nesměl být překročen. Omezeny jsou pouze směrné hodnoty povrchových dávek, které nesmějí být při vyšetřeních rutinně překračovány. (11,14,15,16)

II. KAPITOLA

7. SYSTÉM MONITOROVÁNÍ RADIAČNÍ SITUACE NA ÚZEMÍ ČR

Monitorování radiační situace na území České republiky je zajišťována především celostátní Radiační monitorovací sítí (RMS). Počátky budování radiační monitorovací sítě v ČR byly svázány s budováním jaderné energetiky v sedmdesátých letech a nutností zabezpečení ochrany obyvatelstva pro případ jaderné havárie. Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB) je pověřen řízením činnosti RMS. Na vlastním monitorování se vedle resortu SÚJB a provozovatele jaderných elektráren dnes podílejí i další organizace resortů Ministerstvo financí, Ministerstvo obrany, Ministerstvo vnitra, Ministerstvo zemědělství a Ministerstva životního prostředí ale také Armáda ČR.

Funkci monitorovací sítě zajišťují stálé složky monitorovací sítě, které pracují nepřetržitě, pohotovostní složky monitorovací sítě, které se aktivují pouze při podezření na vznik nebo při vzniku radiační mimořádné situace.

Radiační monitorovací síť (RMS) ČR poskytuje informace o stavu ozáření obyvatel z různých zdrojů. Úkolem RMS je sledovat rozložení aktivit radionuklidů a dávek ionizujícího záření na území státu v prostoru a v čase, za obvyklé radiační situace zejména pro účely získání dlouhodobých časových trendů a včasného zjištění odchylek od nich, za radiační mimořádné situace pro účely posouzení radiační situace na území státu a pro přípravu opatření k ochraně obyvatelstva.

RMS se skládá z vzájemně spolupracujících dílčích sítí, síť včasného zjištění SVZ, síť termoluminiscenční dozimetrů (TLD), měřící místa kontaminace ovzduší (MMKO), laboratorní skupiny, centrální laboratoř pozemní a letecké mobilní skupiny.

Dále se monitorují jaderná zařízení – provádí se monitorování výпустí radionuklidů z jaderných zařízení (JE Dukovany a JE Temelín, ÚJV Řež) a monitorování okolí jaderných elektráren a také hodnocení dlouhodobých následků havárie černobylské jaderné elektrárny, které spočívá zejména ve sledování obsahu ^{137}Cs v ovzduší (aerosoly a spady), v potravních řetězcích a v lidském těle u vybraných skupin populace. (20).

ČÁSTI RADIAČNÍ MONITOROVACÍ SÍŤ

Monitorování složek životního prostředí

Jsou sledovány tyto umělé radionuklidy:

- v ovzduší: ^{137}Cs , ^7Be , ^{210}Pb , produkt přeměny ^{222}Rn , ^{90}Sr , ^{238}Pu a $^{239,240}\text{Pu}$, ^{85}Kr , ^{14}C , ^3H ,
- v pitné a povrchové vodě: ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^3H .

Monitorování potravních řetězců

Monitorovány jsou vzorky mléka, masa, ryb, zvěřiny, brambor, obilí, zeleniny, ovoce, medu, lesních plodů, hub a krmiv, které se odebírají jak od distributorů (z obchodní sítě), tak od producentů.

Hodnoty hmotnostních aktivit ^{137}Cs v lesních plodech, houbách a zvěřině jsou vzhledem k ostatním potravinám poměrně vysoké a jejich pokles je velmi pomalý, takže i přes relativně malou spotřebu je příspěvek k celkovému úvazku efektivní dávky z ingesce ^{137}Cs pro průměrného obyvatele významný.

Monitorování vnitřní kontaminace

Monitorování vnitřní kontaminace ^{137}Cs se provádí u referenční skupiny, převážně u obyvatel z Prahy ve věku od 26 do 70 let. Vzhledem k velmi nízkému obsahu ^{137}Cs u populace se celotělové měření provádí již jen jednou ročně, přičemž k dosažení co nejnižší meze detekovatelnosti je používána dlouhá doba měření.

Ve sledovaném období tj. od roku 1996 - 2009 **nedošlo** na území České republiky k žádnému úniku radionuklidů do životního prostředí, rovněž nebylo na žádném z měřících míst zaznamenáno překročení stanovených zásahových úrovní, které by vyžadovalo jakákoliv opatření na ochranu obyvatel či životního prostředí. Během sledovaného období nedošlo k významným odchylkám v obsahu radionuklidů v ovzduší.

Ve složkách životního prostředí, potravních řetězcích i v lidech je stále ještě měřitelná velmi nízká aktivita ^{137}Cs , které se do prostředí dostalo po černobylské havárii. Stejně jako v delším časovém odstupu od zkoušek jaderných zbraní v atmosféře se jeho měrné aktivity téměř nemění. Nebyly nalezeny rozdíly mezi obsahem radionuklidů v jednotlivých složkách prostředí z okolí jaderných elektráren Dukovany a Temelín a z ostatního území státu.

III. KAPITOLA

8. ONEMOCNĚNÍ ZPŮSOBENÁ IONIZUJÍCÍM ZÁŘENÍ V ČR

8.1 Nemoci z povolání v České republice

Na území České republiky se sledují všechny nově vzniklé profesionální onemocnění (nemoci z povolání a ohrožení nemocí z povolání) jež jsou významným ukazatelem zdravotního stavu obyvatelstva se závažnými zdravotními, ekonomickými a sociálními dopady.

Sběr a zpracování dat provádí Centrum pracovního lékařství Státního zdravotního ústavu v Praze (SZÚ), který vede Národní registr nemocí z povolání. Správcem Národního registru nemocí z povolání (NRNP) je Ústav zdravotnických informací a statistiky. Do NRNP jsou hlášena všechna nově vzniklá profesionální onemocnění u zaměstnaných osob v ČR. Vstupním formulářem pro evidenci jednotlivých případů v registru je „Hlášení o uznání – nemoci z povolání – ohrožení nemocí z povolání“. Uznávat nemoci z povolání mohou pouze střediska nemocí z povolání, která jsou uvedena v příloze vyhlášky Ministerstva zdravotnictví ČR č. 342/1997 Sb., kterou se stanoví postup při uznávání nemocí z povolání. **Státní úřad pro jadernou bezpečnost** ověřuje podmínky vzniku onemocnění – uznává nemoc z povolání, které mají souvislost **s prací s ionizujícím zářením nebo radioaktivními látkami**.

V České republice je od 1. 1. 1996 platné nařízení vlády č.290/1995 Sb., kterým se stanoví seznam nemocí z povolání.

Nemoci z povolání jsou dle § 1 odst. 1 nařízení vlády č.290/1995 Sb., nemoci vznikající nepříznivým působením chemických, **fyzikálních**, biologických nebo jiných škodlivých vlivů, pokud vznikly za podmínek uvedených v Seznamu nemocí z povolání. Nemoci z povolání se rozumí též akutní otrava vznikající nepříznivým působením chemických látek. Nemoci z povolání jsou uvedeny v seznamu nemocí z povolání, který tvoří přílohu č. 1 tohoto nařízení. Nemoci z povolání jsou zařazeny do šesti kapitol s 83 specifickými položkami.

Ohrožením nemocí z povolání se podle § 347 zákoníku práce rozumí takové změny zdravotního stavu, jež vznikly při výkonu práce nepříznivým působením podmínek, za nichž vznikají nemoci z povolání, avšak nedosahují takového

stupně, který lze posoudit jako nemoc z povolání, a další výkon práce za stejných podmínek by vedl ke vzniku nemoci z povolání.

Nemoci z povolání způsobené ionizujícím zářením se zařazují podle nařízení vlády číslo 290/1995 Sb., do kapitoly II a III.

Kapitola II - Nemoci z povolání způsobené fyzikálními faktory

Položka 1 - Nemoc způsobená ionizujícím zářením

Seznam nemocí z povolání rozšířen o dodatkové evidenční kódy

- 2.1 nemoc způsobená ionizujícím zářením:
 - 2.1.a poškození krvevotvorby z ionizujícího záření
 - 2.1.b radiační dermatitida
 - 2.1.c rakovina kůže z ionizujícího záření
 - 2.1.d katarakta z ionizujícího záření
 - 2.1.e leukémie
 - 2.1.f jiné zhoubné nádory z ionizujícího záření

Kapitola III - Nemoci z povolání týkající se dýchacích cest, plic, pohrudnice a pobřišnice

Položka 6 - Rakovina plic z radioaktivních látek

8.2 Přehled nemocí z povolání způsobené vlivem ionizujícího záření v České republice od roku 1996 – 2009

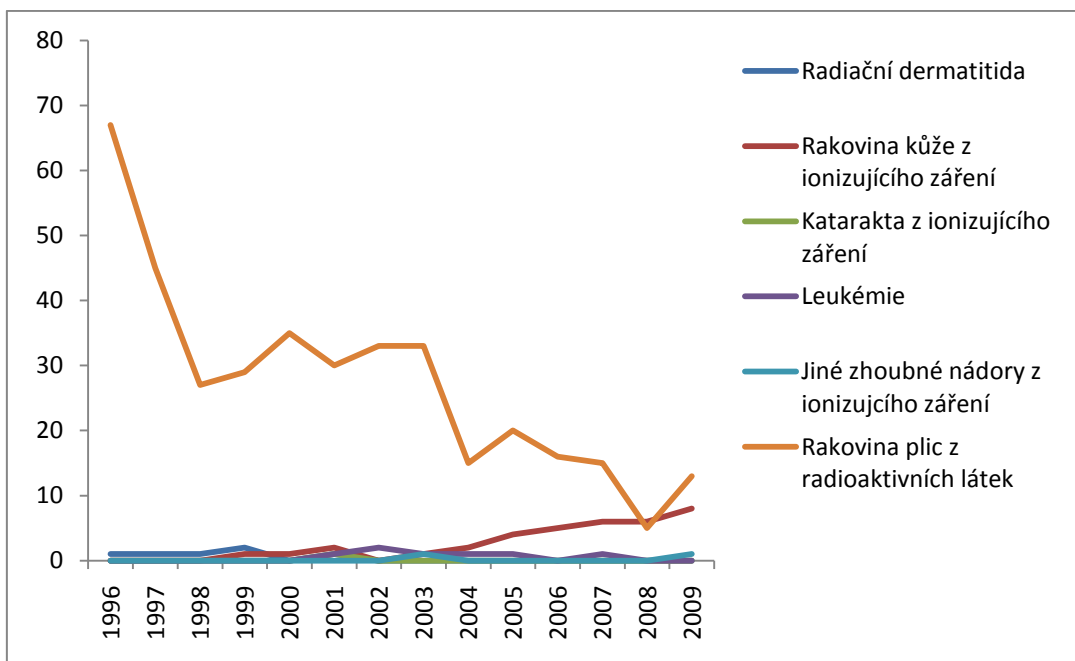
Výběr sledovaného období nemoci z povolání od roku 1996 až 2009 je na základě platnosti nařízení vlády č. 290/1995 Sb., v platném znění, kterým se stanoví seznam nemocí z povolání, jehož platnost je od 1.1. 1996.

Ve sledovaném období byla na prvním místě podle četnosti uznána nemoc z povolání rakovina plic dále rakovina kůže, leukémie, radiační dermatitida, radiační katarakta a jiné zhoubné nádory způsobené ionizujícím zářením (astrocytární glioblastom, nádor mandle a karcinom hltanu). Přehledně znázorňuje tabulka 2 a graf 1.

Tabulka 3 – Nemoci z povolání způsobené ionizujícím zářením od roku 1996 – 2009

Evidenční kód	Nemoc z povolání	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
2.1.b	Radiační dermatitida	1	1	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2.1.c	Rakovina kůže z ionizujícího záření	0	0	0	1	1	2	0	1	2	4	5	6	6	8
2.1.d	Katarakta z ionizujícího záření	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2.1.e	Leukémie	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	0	1	0	0
2.1.f	Jiné zhoubné nádory z ionizujícího záření	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1
3.6.	Rakovina plic z radioaktivních látek	67	45	27	29	35	30	33	33	15	20	16	15	5	13
Celkem nemoci z povolání z ionizujícího záření		68	46	28	32	36	35	35	36	18	25	21	22	11	22

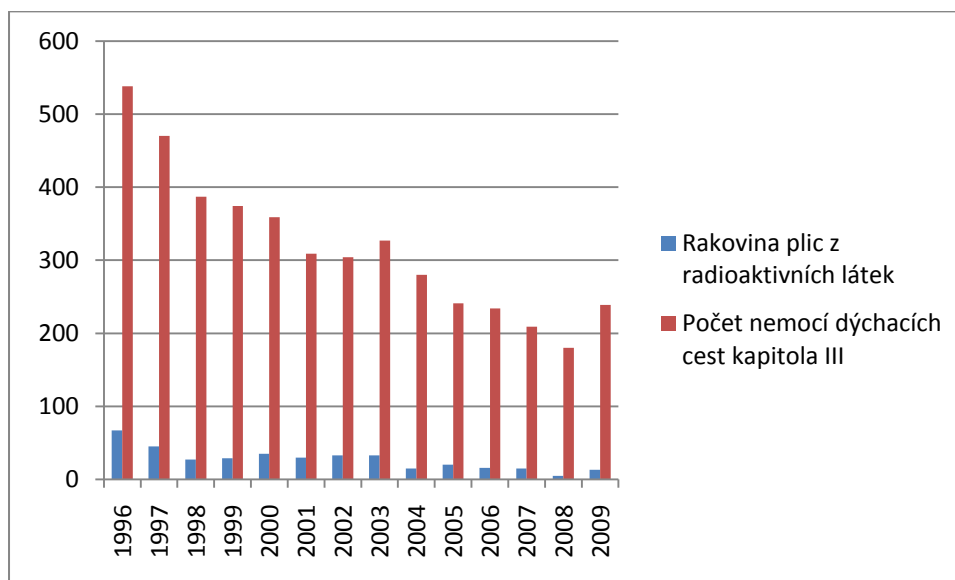
Graf 1 – Vývoj nemocí z povolání způsobené ionizujícím účinkem



Rakovina plic (kapitola III – položka 6) způsobena účinkem radioaktivních látek byla uznána jako nemoc z povolání u **383** případů. Z celkového počtu nemocí z povolání způsobené ionizujícím zářením zaujímala rakovina plic **88%**.

V **382** případech se jednalo o bývalé **horníky uranových dolů a v jednom případě** u pracovníka lupových dolů. Pracovníci – horníci mohli být během práce vystaveni inhalaci radonu a jeho krátkodobých dceřiných produktů, zevnímu záření gama (jehož dávkový příkon závisí hlavně na obsahu ^{226}Ra v okolí hornině), zevnímu záření beta, inhalaci důlního prachu s obsahem dlouhodobých radionuklidů (^{226}Ra a ^{230}Th). Pracovníci byli exponováni účinku ionizujícího záření v letech 1943 – 1983, s různými dobami expozice, a různou dobou latence. Průměrná doba expozice byla přibližně 12 let. Jedná se také o onemocnění s dlouhou dobou latence medián 52 let. V roce 1996 bylo uznáno nejvíce rakovin plic – celkem 68. Poté následuje sestupný trend. Zastoupení nemoci rakovina plic z celkového počtu onemocnění dýchacích cest, je znázorněno v grafu 2.

Graf 2 – Rakovina plic z radioaktivních látek



Nemoc z ionizujícího záření - kapitola II, položka 1- byla celkem uznána v 52 případech.

Rakovina kůže (2.1.c) způsobená účinkem ionizujícího záření byla uznána jako nemoc z povolání ve **36** případech, a zaujímala tak 8,23% z celkového počtu nemocí způsobených vlivem ionizujícího záření. Nádorové onemocnění kůže (bazaliom a spinaliom) bylo ve **34** případech diagnostikováno u pracovníků **uranových dolů** (33 horníci + 1 elektrikář). Ostatní 2 nádorová onemocnění - spinaliom připadla na rentgenology po expozici RTG záření v letech 1951–2004 a v letech 1968–1993. Oba nádory byly poprvé diagnostikovány v roce 2007, doba latence byla 56 a 39 let. V roce 2009 bylo uznáno nejvíce onemocnění. Vývoj tohoto onemocnění má vzestupný trend.

Nádorové onemocnění **leukémie** (2.1.e) a **radiační dermatitida** (2.1.b) byla uznána v **6** případech. Kdy onemocnění leukémie se vyskytla pouze u zaměstnanců uranových dolů, v 5 případech akutní a v 1 případě chronická myeloidní leukémie. Radiační dermatitidou onemocněla 80letá zdravotní sestra po 22 letech práce v riziku s ionizujícím zářením a 1 rentgenolog. Zbylé 4 případy nebyly podrobně popsány.

Radiační katarakta (2.1.d) byla zjištěna u 51letého lékaře s expozicí ionizujícímu záření 25 let.

Astrocytární glioblastom (2.1.f) vznikl také v jednom případě, a to u 57letého vědeckého pracovníka po 34 letech práce v riziku.

Nádor mandle (2.1.f) byl zaznamenán u 65letého lamače, který pracoval v uranových dolech 1970 – 1981, s dobou latence 38 let.

Karcinom hrtanu (2.1.f) u pracovníka v uranových dolech.

8.2.1. Centrální registr profesionálních ozáření

Od roku 2000 je plně využíván centrální registr profesionálních ozáření (CRPO), který umožňuje vyhledávání informací o evidovaných pracovnících, kolektivní informace po jednotlivých pracovištích či profesních skupinách a kolektivní informace v přehledových statistických výstupech podle vybraných parametrů. Registr je zpřístupněn na vnitřních stránkách SÚJB. CRPO zpracovává roční údaje až ve druhém čtvrtletí v roce následujícím po roce, za který údaje jsou, a to v návaznosti na údaje obdržené od dozimetrických služeb.

Dozimetrické služby sledují ozáření pracovníků na pracovištích se zdroji ionizujícího záření.

V CRPO jsou tedy registrovány dávky těchto pracovníků. Předběžné hodnocení dávek na pracovištích se zdroji ionizujícího záření jsou přehledně shrnuty od roku 1997 do roku 2009 v příloze 4.

Inspekce SÚJB poté přešetřuje případy, kdy dozimetrické služby upozorní na ozáření osobních dozimetrů vyššími dávkami, než jsou stanoveny legislativou. Po prošetření naměřené dávky se zjistí, zdali se jednalo o osobní, potenciálně osobní nebo neosobní dávku.

Neosobní dávka, vyšší ozáření dozimetru bylo ve většině případů způsobeno nesprávným zacházením – odložení pracovního pláště s dozimetrem v blízkosti zdroje ionizujícího záření, nesprávné umístění dozimetru na plášti při práci se zdrojem.

Osobní dávky nebo potenciálně osobní dávky byly zjištěny zejména u pracovníků ve zdravotnictví, zejména ozáření kardiologů i radiologů při invazivních výkonech a v průmyslu. V roce 1997 byla zaznamenána nejvyšší potenciálně osobní dávka u kardiologa 120 mSv.

V rámci vyhodnocení ročních dávek obdržených v daném roce (CRPO) se dále zjistí případy, kdy hodnoty osobních dávek překročily stanovené limity. SÚJB

provede přešetření. Přešetření se neprovádí u pracovníků v uranovém průmyslu od roku 2001, kde kontrola a regulace osobních dávek se provádí průběžně. Přešetřovány jsou ale např. překročené osobní dávky za 5 let.

V ostatních případech se provádí přešetření, nejčastěji se jednalo o pracovníky ve zdravotnictví, pracovníci provádějící defektoskopii a o pracovníky provádějící výrobu a distribuci radioizotopů.

8.2.2. Ozáření pracovníků z přírodních zdrojů

Od roku 2002 se sleduje ozáření pracovníků na pracovištích, kde může dojít k významnému zvýšení ozáření z přírodních zdrojů. Jedná se o pracoviště, kde se předpokládá zvýšení ozáření v důsledku jednak kosmického záření – letectví, zvýšený výskyt radonu v ovzduší (pracoviště v podzemí). Standardně jsou vyhodnocovány tyto nejvýznamnější profesní skupiny: letecký personál a průvodci ve veřejnosti přístupných jeskyních - trvalý pracovníci, brigádníci, pracovníci stavebních firem provádějící rekonstrukci jeskyní. Dostupná data jsou z roku 2008 a roku 2007, jehož data jsou uvedena v závorce. V letectví bylo v roce 2008 sledováno 2158 pracovníků (902). Průměrná roční efektivní dávka pracovníka činila 1,09 mSv (2,09 mSv), roční kolektivní dávka 4,1 Sv (3,98 Sv). Pro veřejnost přístupné jeskyně pracovalo v roce 2008 celkem 423 (427) pracovníků, z toho 78 (87) stálých a 345 (340) průvodců, brigádníků a pracovníků stavebních firem provádějících rekonstrukce jeskyní. Jejich průměrná roční efektivní dávka byla 0,596 mSv (0,593 mSv), roční kolektivní dávka 0,25 Sv (0,25 Sv), max. zjištěná roční efektivní dávka 4,27 m Sv (5,88 mSv). Průměrná roční efektivní dávka stálých pracovníků byla 1,1 mSv (1,04 mSv).

8.3 Problematika radonu v budovách

Problematika radonu v budovách v České republice je dnes řešena na úrovni státního programu tzv. **Radonového programu ČR**.

Radon je po kouření druhou nejvýznamnější příčinou vzniku rakoviny plic. Riziko rakoviny plic způsobené radonem v domě je úměrné celkové vdechnuté radioaktivitě, ta závisí nejen na koncentraci, ale i na délce pobytu. Pro krátkodobé pobyty v prostorech s velmi vysokými koncentracemi radonu je tedy riziko zanedbatelné. Podle současných poznatků ozáření z radonu v budovách nevyvolává žádná jiná onemocnění.

Česká republika patří k zemím s nejvyšší koncentrací radonu v bytech na světě. Přehledné znázornění Evropských zemí viz příloha 6. V rámci **radonového programu** bylo již proměřeno více **než 150 000 objektů**.

V České republice je **průměrná hodnota** objemové aktivity radonu (množství radonu) v budovách kolem **118 Bq/m³**. (Bq/m³ – hodnota číselně odpovídá počtu radioaktivních přeměn radonu v jednom kubickém metru vzduchu). (24)

Podle výsledků celosvětové epidemiologické studie se při každém zvýšení koncentrace radonu o 100 Bq/m³ zvyšuje riziko rakoviny plic o 16 %. (koeficient rizika 0,16). Je třeba si uvědomit, že v ČR každoročně umírá na rakovinu plic více než 5000 osob. Při aplikaci uvedeného koeficientu rizika se odhaduje, že **cca 900 úmrtí na rakovinu plic ročně může být způsobeno radonem v bytech** (20,24).

Asi 2-3 % domů mají **vyšší hodnoty než 400 Bq/m³**. Obyvatelé v těchto objektech jsou ozařováni tak velikou dávkou, jako by **každý den absolvovali rentgenový snímek plic**. Jejich rozmístění v rámci republiky je velmi nerovnoměrné. Na základě získaných měření byla zkonstruována mapa výsledků koncentrace radonu v objektech, znázorňující pro každou měřenou obci podíl nalezených objektů nad směrnou hodnotu 400 Bq/m³.

Ve venkovní atmosféře je koncentrace radonu přibližně 5 Bq/m³.

Z výše uvedeného byla Českou geologickou službou sestavena geologická prognózní mapa radonového indexu, rozdělující území republiky z hlediska nebezpečí výskytu radonu na oblasti s nízkým, přechodným, středním a vysokým radonovým indexem.

Podle prognózních map leží v České republice asi 35 % obcí na území s nízkým radonovým indexem, asi 48 % obcí na území se středním radonovým indexem a asi 17 % obcí na území s vysokým radonovým indexem.

Riziko radonu je geograficky velmi proměnlivé.

Průměrný obsah radonu v pitné vodě z podzemních zdrojů je v ČR kolem 14 Bq/l.(24)

Nejvyšší nalezené hodnoty jsou v řádu tisíců Bq/l, (pro zajímavost: lázeňské vody používané v Jáchymovských lázních mají hodnoty řádu 10 000 Bq/l). Obsah radonu ve vodě souvisí s obsahem přírodních radionuklidů v geologickém podloží, větší pravděpodobnost, že ve vodě bude více radonu, je na území s vysokým radonovým indexem.(20,21,22,24,,25,26)

ZÁVĚR

V České republice je vytvořen ucelený systém radiační ochrany, který je zakotven v legislativě. Radiační ochrana je systém technických a organizačních opatření vedoucí k omezení ozáření fyzických osob a k ochraně životního prostředí.

Ústředním orgánem státní správy, který vykonává státní správu a dozor při využívání jaderné energie a ionizujícího záření, v oblasti radiační ochrany a v oblasti jaderné, chemické a biologické ochrany je Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Státní úřad pro jadernou bezpečnost (dále jen SÚJB) vyvinul nástroje pro vedení systémů státní evidence v sekci radiační ochrany. Celkem jsou vytvořeny čtyři centrální registry. Dávky ionizujícího záření u radiačních pracovníků jsou registrovány v centrálním registru profesionálních ozáření. Každá nahlášená událost je vždy přešetřena SÚJB. Státní úřad pro jadernou bezpečnost ověřuje podmínky vzniku onemocnění, uznává nemoc z povolání, které mají souvislost s prací s ionizujícím zářením nebo radioaktivními látkami.

Uznáný počet nemocí z povolání v České republice má klesající tendenci přehledněji znázorněno v příloze 2. Nemoci z povolání způsobené účinkem ionizujícího záření mají celkově také klesající trend. Klesá počet hlášených rakovin plic (kapitola III položka 6), ale na druhé straně celkový počet hlášených nemocí způsobených ionizujícím zářením zařazených do kapitoly II položka 1 má mírně vzestupný trend (graficky znázorněno v příloze 3).

Ve sledovaném období (1996 - 2009) bylo uznáno celkem 22722 nemocí z povolání. Nemoci z povolání způsobené ionizujícím zářením představují **435** případů, což činí v průměru **1,87 %**. Nemoci způsobené ionizujícím zářením byly zejména nádorová onemocnění, jejichž významným zástupcem je rakovina plic, která byla uznána u **383** případů, což je 88 % všech nemocí z ionizujícího záření. Tato nemoc byla uznána zejména u bývalých pracovníků uranových dolů. Zbýlých 12% připadalo na nemoci, patřící do kapitoly II, kdy významnou položkou bylo onemocnění **rakoviny kůže a to v 36** případech (z toho 34 případů u pracovníků uranového průmyslu). Toto onemocnění vykazuje mírně vzestupný trend. Nemoci z povolání uznané ve sledovaném období jsou důsledkem pracovní expozice před cca 30-50 lety a to vzhledem k dlouhé době latence.

Na základě dat z centrálního registru profesionálních ozáření (dále jen CRPO) a provedených různých analýz, vychází, že kritickou skupinou pracovníků s vyšším profesním ozářením byli horníci uranového průmyslu a lékaři provádějící intervenční radiologické výkony (u nichž je tento trend znamenán již od roku 1997).

Zajištěním optimalizační postupů a následných technických opatření, došlo k pozitivnímu trendu již po roce 2002, kdy výsledky byly potvrzeny i z dat v CRPO.

Kromě pracovního prostředí je prováděno sledování a hodnocení ozáření obyvatelstva z přírodních radionuklidů (zejména radonu) a hodnocení radiačních rizik.

Česká republika patří mezi země **s nejvyšší koncentrací radonu** v budovách na světě, což je dáno vzhledem k horninovému podloží. K nejvyšší radiační expozici obyvatelstva dochází právě inhalací produktů přeměny radonu v budovách samozřejmě vedle expozice z lékařských zdrojů ionizujícího záření. Expozice radonem je nesrovnatelně vyšší než od jaderné energetiky. Dle WHO je radon hned po kouření druhou nejvýznamnější příčinou **vzniku rakoviny plic**. V České republice každoročně umírá na rakovinu plic více než 5000 osob. Při aplikaci koeficientu rizika 0,16 se odhaduje, že cca **900 úmrtí na rakovinu plic ročně může být způsobeno radonem v bytech**. (24) Riziko z radonu je přitom v jistých mezích regulovatelné.

Součástí radiační ochrany je také monitorování jaderných zařízení, kdy se provádí jednak monitorování výpustí radionuklidů z jaderných zařízení a okolí jaderných elektráren. Za sledované 15leté období na území České republiky **nedošlo k žádnému úniku radionuklidů** do životního prostředí a na žádném z měřících míst **nebylo zaznamenáno překročení** stanovených zásahových úrovní, které by vyžadovalo jakákoliv opatření na ochranu obyvatel či životního prostředí. Nebyly nalezeny rozdíly mezi obsahem radionuklidů v jednotlivých složkách prostředí z okolí jaderných elektráren Dukovany a Temelín a z ostatního území státu.

Na závěr lze konstatovat, že přírodní zdroje ionizujícího záření jsou příčinou největšího ozáření, kdy průměrná dávka z radonu je 48-49 % z celkové dávky ionizujícího záření. Expozice radonu v budovách a na pracovních místech – tedy v uranových dolech je jeden z hlavních rizik ionizujícího záření, který může způsobovat t úmrtí na rakovinu plic každý rok. Přesto největší obavy a pozornost obyvatel jsou převážně soustředěny na jaderná zařízení, tedy na umělé zdroje ionizujícího záření. Dávka z těchto zařízení za standardních podmínek (tj. mimo jaderné havárie) představuje pro obyvatele jen 0,04 % z celkové dávky ionizujícího záření.

Počet nemocí z povolání způsobené ionizujícím zářením má klesající tendenci. Tyto nemoci se vyskytovaly ve většině případů u pracovníků uranových dolů. Tento sestupný trend je odrazem legislativních opatření v ochraně zdraví radiačních pracovníků a utlumením provozu uranových dolů.

Na základě zpracovaných dat je zřejmé, že radiační situace v ČR je dobře organizována, a tudíž nedochází k mimořádným situacím. Většina onemocnění z ionizujícího záření nemá původ v používání umělých zdrojů.

SOUHRN

Tato bakalářská práce, jejíž téma zní „Onemocnění způsobená ionizujícím zářením v České republice“ se soustřeďuje zejména na nemoci z povolání způsobené účinkem ionizujícího záření v období od roku 1996 – 2009 a okrajově se dotýká problematiky radonu v budovách. Práce pojednává o systému radiační ochrany v oblasti ochrany zdraví a životního prostředí před nepříznivými účinky ionizujícího záření, která je řízena příslušnou legislativou.

Nemoci z povolání způsobené ionizujícím zářením ve sledovaném období (1996 – 2009) mají klesající tendenci. Tento trend je odrazem legislativních opatření v ochraně zdraví radiačních pracovníků a utlumením provozu uranových dolů. Nemoci z povolání způsobené ionizujícím zářením představují 1,87 % z celkového počtu uznaných nemocí z povolání.

Stálým, ale i celosvětovým problémem je ozáření obyvatelstva z radonu a produktů jeho přeměny v budovách, a to převážně ve stávajících stavbách. Preventivní opatření v nové výstavbě jsou součástí legislativy v oblasti výstavby zahrnující povinné měření, stanovení radonového indexu pozemku a v návrhu odpovídajících protiradonových opatření.

SUMMARY

The bachelor work whose topic is "Diseases caused by ionizing radiation in the Czech Republic," focuses mainly on the illnesses caused by the effect of ionizing radiation.

Occupational diseases caused by ionizing radiation in the reference period (1996 - 2009) have decreasing trend. This trend is a reflection of legislative measures to protect the health of exposed workers and damping operation of uranium mines.

Occupational diseases caused by ionizing radiation represent 1,87 % of the total number of recognized occupational diseases. Most diseases are not caused by artificial sources.

PŘÍLOHY

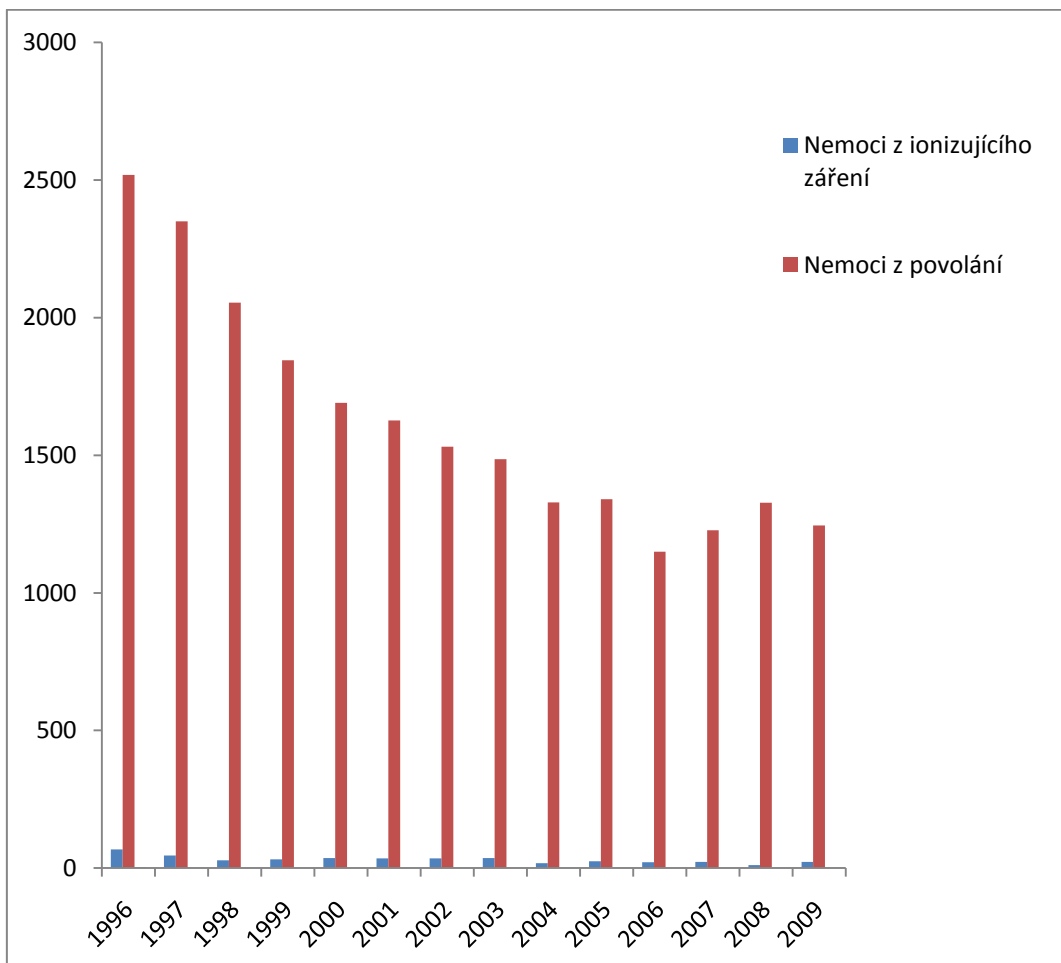
Příloha 1

Počet hlášených nemocí z povolání způsobné ionizujícím zářením a jejich procentuální vyjádření k celkovému počtu nemocí z povolání od roku 1996 – 2009. (23 – 37)

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Nemoci z povolání z ionizujícího záření	68	46	28	32	36	35	35	36	18	25	21	22	11	22
Nemoci z povolání z ionizujícího záření v %	2,7	1,96	1,36	1,73	2,13	2,15	2,29	2,42	1,35	1,87	1,83	1,79	0,83	1,77
Nemoci z povolání	2519	2350	2054	1845	1691	1627	1531	1486	1329	1340	1150	1228	1327	1245
Ohrožení nemocí z povolání	24	26	57	41	60	50	69	72	59	60	66	63	76	68
Profesionální onemocnění	2543	2376	2111	1886	1751	1677	1600	1558	1388	1400	1216	1291	1403	1313

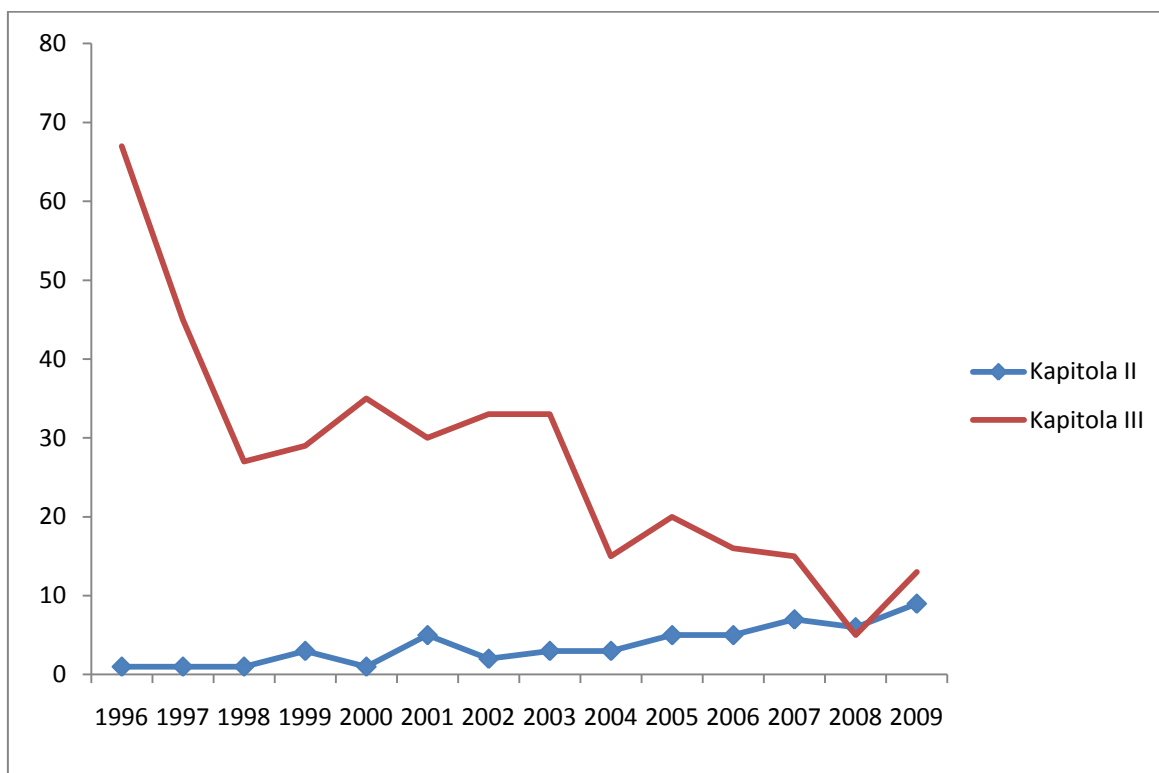
Příloha 2

Grafické znázornění nemoci z povolání a nemoci z povolání způsobené ionizujícím zářením. (23 -37)



Příloha 3

Nemoci z povolání způsobené ionizujícím zářením v jednotlivých letech dle kapitol – grafické znázornění. (23 – 37)



Příloha 4

Vyhodnocené dávky u pracovníků se zdroji s ionizujícím zářením z dat CRPO. (23)

Vyhodnocené dávky u pracovníků v jaderné elektrárně Dukovany

sledovaný rok	počet sledovaných pracovníků	celková kolektivní efektivní dávka	průměrná osobní efektivní dávka	nejvyšší roční individuální efektivní dávka
1997	2339	1,52 Sv	0,65 mSv	20,4 mSv
1998	2236	1,34 Sv	0,65 mSv	nevyhodnocen
1999	2261	1,38 Sv	0,61 mSv	12,37 mSv
2000	2161	1,29Sv	0,78 mSv	17, 95 mSv
2001	2177	1,41 Sv	0,65 mSv	19,05 mSv
2002	2094	1,04 Sv	0.64 mSv	13,72 mSv
2003	2016	0,90 Sv	0,63 m Sv	15,11 mSv
2004	1953	673,79 mSv	0,50 mSv	5,37 mSv
2005	1933	735,83 mSv	0,56 mSv	7,32 mSv
2006	1809	733,00 mSv	0,56 mSv	8,65 mSv
2007	1801	731,56 mSv	0,50 mSv	8,6 mSv
2008	1727	453,49 mSv	0,26 mSv	7,29 mSv
2009	1825	602,07 mSv	0,33 mSv	11,14 mSv

Vyhodnocené dávky u pracovníků jaderné elektrárny Temelín

sledovaný rok	počet sledovaných pracovníků	celková kolektivní efektivní dávka	průměrná osobní efektivní dávka	nejvyšší roční individuální efektivní dávka
2002		31 mSv		1,21 mSv
2003	1691	200 mSv	0,12 mSv	5,64 mSv
2004	1758	468,34 mSv	0,35 mSv	8,93 mSv
2005	1096	452,65 mSv	0,35 mSv	9,51 mSv
2006	1481	272 mSv	0,28 mSv	7,96 mSv
2007	1521	296,0 mSv	0,3 mSv	6,38 mSv
2008	1535	303,07 mSv	0,20 mSv	5,39 mSv
2009	1535	209,67 mSv	0,14 mSv	3,53 mSv

Vyhodnocené dávky u pracovníků uranového průmyslu podzemní pracoviště

GEAM Dolní Rožinka

sledovaný rok	počet sledovaných pracovníků	celková kolektivní efektivní dávka	průměrná individuální efektivní dávka	nejvyšší individuální efektivní dávka
1997	408	8,25 Sv	16,95 mSv	45,5 mSv
1998	428	4,09 Sv	9,46 mSv	38,9 mSv
1999	503	4,47 Sv	8,89 mSv	38,84 mSv
2000	479	4,118 Sv	8,6 mSv	34,31 mSv
2001	850	4,45 Sv	5,2 mSv	38,4 mSv
2002	385	2,9 Sv	7,5 mSv	24,28 mSv
2003	402	3,4 Sv	8,55 mSv	28,97 mSv
2004	344	3,1 Sv	8,99 mSv	27,73 mSv
2005	328	3,1 Sv	8,99 mSv	33,28 mSv
2006	410	3,2 Sv	7,8 mSv	33,4 mSv
2007	419	3,7 Sv	8,8 m Sv	31,4 mSv
2008	421	3,3 Sv	7,9 mSv	34,8 m Sv
2009	453	3,22 Sv	7,11 mSv	28,68 mSv

Vyhodnocené dávky u pracovníků při ostatních průmyslových aplikacích

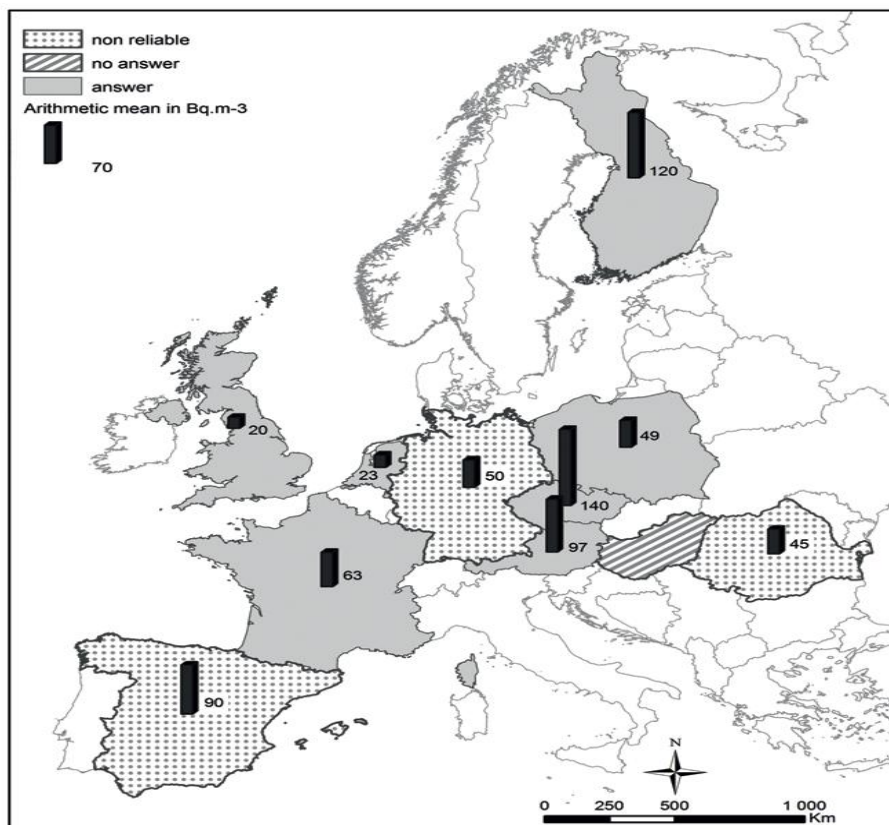
sledovaný rok	počet sledovaných pracovníků	průměrná individuální efektivní dávka	profese s vyššími dávkami	
1997	5000	1-3 mSv	defektoskopie	karotážní práce
1998	4500	1-2,5 mSv		
1999	4500	1-2,5 mSv	1,85 mSv	2,5 mSv
2000	4500	1-2,5 mSv	2,02 mSv	1,8 mSv
2001	2500	1-2 mSv	1,5 mSv	2,2 mSv
2002	2500	1-2 mSv	1,5 mSv	3,1 mSv
2003	2200	1-2 mSv	1,5 mSv	3,5 mSv
2004	2300	1-2 mSv	1,2 mSv	4,5 mSv
2005	2400	1-2 mSv	1,3 mSv	1,5 mSv
2006	2300	1-2 mSv	1,2 mSv	1,8 mSv
2007	2189	1 mSv	1,3 mSv	1,5 mSv
2008	1919	0,79 mSv	0,83 mSv	1,38mSv
2009	1857	0,73 mSv	0,81 mSv	1,49 mSv

Vyhodnocené dávky na zdravotnických pracovištích

sledovaný rok	počet sledovaných pracovníků přibližně	průměrná roční individuální efektivní dávka	roční individuální efektivní dávka pod záznamovou úroveň	profese kardiolog
1997	8000	1,6 mSv		
1998	9500	1,44 mSv		
1999	10000	1,6 mSv u 65 %	35%	2,5 mSv
2000	11000	1,6 mSv u 65 %	35%	2,5 mSv
2001	11000	1,2 mSv u 50 %	50%	1,5 mSv
2002	11000	1,2 mSv u 50 %	50%	2,5 mSv
2003	12000	1,1 mSv u 50 %	50%	3,2 mSv
2004	12000	1,1 mSv u 50 %	50%	3,5m Sv
2005	12000	1,1 mSv u 50 %	50%	3,5m Sv
2006	13000	1,0 mSv u 40%	60%	2,5 mSv
2007	12587	1,0 mSv u 40%	60%	2,3 mSv
2008	12351	1,27 mSv u 40%	60%	2,0 mSv
2009	15015	1,41 mSv u 40%	60%	2,9 mSv

Příloha 5

Hodnoty radonu v obydlích ve vybraných evropských státech



Zdroj: Radon levels in dwellings, World Health Organization: ENHIS, May 2007. 4 s.
Dostupné z <http://www.euro.who.int/en/what-we-do/data-and-evidence/environment-and-health-information-system-enhis/publications/pre-2009/enhis-fact-sheets-2007/radon-levels-in-dwellings-enhis-2007-fact-sheet-4.6>

LITERATURA

1. MUSÍLEK, Ladislav. *Úvod do fyziky ionizujícího záření: Populární přednášky o fyzice – svazek 30*. Praha: SNTL - nakladatelství technické literatury, 1979. 201 s.
2. VOHLÍDAL, Jiří a kol. *Chemie 1 – Obecná a anorganická chemie*. Praha: SNTL - nakladatelství technické literatury, 1984. 368 s.
3. ŠVEC, Jiří. Přednáška. Radioaktivita a ionizující záření. Ostrava: 2005.34s.
4. NEKULA Josef a kol. *Radiologie*. 3. vydání, Olomouc: Univerzita Palackého, 2005. 205 s. ISBN 80-244-1011-7(brož.).
5. MÚČKA, Viliam. *Aplikace radiačních metod*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. 166 s. ISBN 80-01-02777-5(brož.).
6. ROSINA, Jozef; KOLÁŘOVÁ, Hana; STANEK, Jiří. *Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů*. Vydání první. Praha: Grada Publishing, a.s., 2006. 232 s. ISBN 80-247-1383-7.
7. MÁLEK, Bohuslav a kol. *Hygiena práce*. Vydání 1. Praha : Avicenum, zdravotnické nakladatelství, n.p., 1987. 328 s. 08-067-87.
8. KLENER, Vladislav; spolupracovníci. *Hygiena záření*. Vydání 1. Praha : Avicenum, zdravotnické nakladatelství, n.p., 1988. 472 s. ISBN 08-087-88.
9. ANDRÝSEK, Oskar; ZÁMEČNÍK, Jiří. *Radioizotopové metody*. 1.vyd. Praha: Avicenum, zdravotnické nakladatelství, 1972. 307 s.
10. ANDRÝSEK, Oskar. *Radiologická fyzika*. 1.vyd. Praha: Avicenum, zdravotnické nakladatelství, 1984. 240 s.
11. FUKÁTKO, Tomáš. *Detekce a měření různých druhů záření*. 1.vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2007. 189 s. ISBN 978-80-7300-193-3(brož.).
12. Výroční zprávy SÚJB 1996 – 2009. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost. 1997 - 2010. celkem 15 zpráv. Dostupné z http://www.sujb.cz/?c_id=215
13. Bozpaktualne.cz [online]. [cit. 2010-10-10]. Vztah radiační ochrany a bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. Dostupné z <bozpaktualne.cz/?cid=179532>.

14. ULLMANN, Vojtěch. *Astronuklfyzika.cz* [online]. [cit. 2011-02-19]. Strana 2. Dostupné z <<http://www.astronuklfyzika.cz/strana2.htm>>.
15. Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizující záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, v platném znění. Dostupné z http://www.sujb.cz/?c_id=229,legislativa
16. Vyhláška č.307/2002 Sb., v platném znění, vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o radiační ochraně. Dostupné z http://www.sujb.cz/?c_id=229,legislativa.
17. Doporučení. *Radiační ochrana: Zabezpečení osobního monitorování při činnostech vedoucích k ozáření*. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, říjen 2007. 42 s. Dostupné z < www.sujb.cz/docs/28-dozimetrie_zevni_2007.pdf >
18. Webové stránky SUJB, Historie a předchůdci SÚJB, dostupné z http://www.sujb.cz/?c_id=839
19. Nařízení vlády č. 290/1995 Sb., kterým se stanoví seznam nemocí z povolání Dostupné z <http://aplikace.mvcr.cz/sbirkazakonu/SearchResult.aspx?q=1995&typeLaw=zakon&what=Rok>
20. Webové stránky Státního úřadu radiační ochrany, Obecné informace, Dostupné z <http://www.suro.cz/cz/prirodnioz/obecne-informace>
21. Zpráva o činnosti SÚRO 1998 – 2003, Praha: Státní ústav radiační ochrany SÚRO, listopad 2003. 44s
22. *Historie radiační ochrany v ČR 10 let Státního ústavu radiační ochrany 1995 – 2005*. Praha: Státní úřad radiační ochrany, 2006. 86 s. ISBN 80-239-6594-8. Dostupné z http://www.suro.cz/cz/publikace/cinnostsuro/historie_radiacni_ochrany_v_cr.pdf
23. Výroční zprávy SÚJB 1996-2009, Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 1997 - 2010. 15 zpráv. Dostupné z http://www.sujb.cz/?c_id=215
24. Radon levels in dwelling, World Health Organization: ENHIS, May 2007.4 s. Dostupné z <http://www.euro.who.int/en/what-we-do/data-and-evidence/environment-and-health-information-system-enhis/publications/pre-2009/enhis-fact-sheets-2007/radon-levels-in-dwellings-enhis-2007-fact-sheet-4.6>

25. Webové stránky World Health Organization. Dostupné z <http://www.who.int/medimacentre/factsheets/fs291/en/>.
26. Přehled profesionálních onemocnění hlášených v České republice v roce 1996. Praha: Státní zdravotní ústav, září 2003. 75 s.
27. Přehled profesionálních onemocnění hlášených v České republice v roce 1997. Praha: Státní zdravotní ústav, srpen 2003. 73 s.
28. Nemoci z povolání 2000. Praha: Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR, 2001. 48 s. ISBN 80-7280-038-8. Dostupné z <http://www.uzis.cz/publikace/nemoci-povolani-2000>.
29. Nemoci z povolání 2001. Praha: Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR, 2002. 58 s. ISBN 80-7280-080-9. Dostupné z <http://www.uzis.cz/publikace/nemoci-povolani-2001>
30. Nemoci z povolání 2002. Praha: Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR, 2003. 60 s. ISBN 80-7280-080-9. Dostupné z <http://www.uzis.cz/publikace/nemoci-povolani-2002>
31. Nemoci z povolání 2003. Praha: Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR, 2004. 68 s. ISBN 80-7280-310-7. Dostupné z <http://www.uzis.cz/publikace/nemoci-povolani-2003>
32. Nemoci z povolání 2004 Praha: Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR, 2005. 72 s. ISBN 80-7280-428-6. Dostupné z <http://www.uzis.cz/publikace/nemoci-povolani-2004>
33. Nemoci z povolání 2005 Praha: Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR, 2006. 73 s. ISBN 80-7280-528-2. Dostupné z <http://www.uzis.cz/publikace/nemoci-povolani-2005>
34. Nemoci z povolání 2006. Praha: Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR, 2007. 73 s. ISBN 978-80-7280-659-1. Dostupné z <http://www.uzis.cz/publikace/nemoci-povolani-2006>
35. Nemoci z povolání 2007. Praha: Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR, 2008. 78 s. ISBN 978-80-7280-743-7. Dostupné z <http://www.uzis.cz/publikace/nemoci-povolani-2007>
36. Profesionální onemocnění hlášená v České republice v roce 2008. Praha: Státní zdravotní ústav, Březen 2009. 60 s.
37. Nemoci z povolání v České republice 2009. Praha: Státní zdravotní ústav, Březen 2010. 69 s.