

Identifikace radioaktivních prvků
s ohledem na jejich původ

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce:

Dr. Ing. Radovan Kukla

Vypracovala:

Iva Hanzlíčková

Brno 2015

Místo pro zadání

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci: „**Identifikace radioaktivních prvků s ohledem na jejich původ**“ vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědoma, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 Autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne 29. 5. 2015

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu doktorovi Ing. Radovanovi Kuklovi, za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc při zpracování mé bakalářské práce. Poděkování patří také Ing. Janu Varmužovi za pomoc při měření a VUT v Brně za zapůjčení měřicích přístrojů.

Abstrakt

Bakalářská práce na téma „Identifikace radioaktivních prvků s ohledem na jejich původ“ se v teoretické části zabývá objevem radioaktivního záření, základními pojmy, využitím ionizujícího záření a radioaktivity ve strojním, potravinářském a chemickém průmyslu, v lékařství a v energetice. Dále se práce zabývá analýzou přírodních zdrojů radioaktivity v životním prostředí a mapováním umělých zdrojů ionizujícího záření v životním prostředí, s čímž jsou spojeny jaderné havárie a události.

V praktické části bylo provedeno měření příjezdové cesty do dolu Dolní Rožná, což je přepravní trasa uranové rudy z dolu do chemického závodu. Dále byly odebrány a analyzovány vzorky písku a mechu k analýze α a β záření.

Abstract

Bachelor's thesis on topic „Identification of radioactive elements with regard to their origins“.

Theoretical part: Thesis deals with the discovery of radiation, establishes basic concepts, describes using ionizing radiation and radioactivity in machinery, food, chemical, medical and energy industries. Thesis analyzes the sources of natural radioactivity in the environment and mapping the artificial sources of ionizing radiation in the environments considered to be associated with nuclear accidents and nuclear industry.

Practical part: Measurement of the access road to the mine Dolní Rožná, which is a transport route of uranium ore from the mine to the chemical plant, was taken. Samples of sand and moss were taken and analyzed to discovery α and β radiation.

Klíčová slova

radioaktivita, radioaktivní prvky, ionizující záření, radionuklidy

Keywords

radioactivity, radioactive elements, ionizing radiation, radionuclides

Obsah

1	ÚVOD A CÍL PRÁCE	11
1.1	Úvod.....	11
2	RADIOAKTIVNÍ ZÁŘENÍ	13
2.1	Objev radioaktivity	14
2.2	Základní pojmy	15
2.3	Využití radioaktivity	15
2.3.1	Lékařské.....	16
2.3.2	Jaderné elektrárny	19
3	ANALÝZA ZDROJŮ PŘÍRODNÍ RADIOAKTIVITY V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ	21
3.1	Přírodní zdroje radioaktivity	21
3.2	Transport radionuklidů v životním prostředí	24
3.2.1	Radionuklidy v životním prostředí	25
3.2.2	Ozařování potravin	28
4	ZMAPOVÁNÍ UMĚLÝCH ZDROJŮ IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ DETEKOVANÝCH V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ	29
4.1	Umělé zdroje radioaktivity.....	29
4.2	Vliv radioaktivního záření na lidský organismus	30
5	NEJVĚTŠÍ JADERNÉ UDÁLOSTI A HAVARIE	31
5.1	16. 7. 1945, Nové Mexiko, Trinity	32
5.2	6. 8. 1945, Japonsko, Hirošima.....	33
5.3	9. 8. 1945, Japonsko, Nagasaki	33
5.4	29. 9. 1957, Čeljabinská oblast, Majak.....	34
5.5	8. 10. 1957, Velká Británie, Windscale (Sellafield)	34
5.6	26. 4. 1986, Černobyl.....	35
5.7	11. 3. 2011, Japonsko, Fukušima.....	36

6	ANALÝZA VÝSKYTU RADIOAKTIVNÍCH PRVKŮ	37
6.1	Měření příjezdové cesty do dolu Dolní Rožná	37
6.2	Měření vzorků mechu a písku	40
7	ZÁVĚR	42
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	43

Seznam obrázků

<i>Obr. 1</i>	<i>CT – přístroj a princip</i>	17
<i>Obr. 2</i>	<i>PTP – přístroj a princip</i>	18
<i>Obr. 3</i>	<i>Kosmická radiace</i>	22
<i>Obr. 4</i>	<i>Geologická prognózní mapa radonového rizika</i>	23
<i>Obr. 5</i>	<i>Šíření radionuklidů v životním prostředí</i>	24
<i>Obr. 6</i>	<i>Průměrné roční hodnoty hmotnostní aktivity ¹³⁷Cs ve vepřovém a hovězím mase a objemové aktivity ¹³⁷Cs v mléce od roku 1986</i>	27
<i>Obr. 7</i>	<i>Zdroje ozáření pro obyvatele světa</i>	29
<i>Obr. 8</i>	<i>Mezinárodní stupnice závažnosti jaderných událostí</i>	31
<i>Obr. 9</i>	<i>Jaderný test Trinity – nálož</i>	32
<i>Obr. 10</i>	<i>Hirošima po náletu</i>	33
<i>Obr. 11</i>	<i>Windscale – jaderná elektrárna</i>	34
<i>Obr. 12</i>	<i>JE Černobyl po výbuch</i>	35
<i>Obr. 13</i>	<i>JE Fukušima před a po havárii</i>	36
<i>Obr. 14</i>	<i>Dozimetr Rad Eye B20-ER</i>	37
<i>Obr. 15</i>	<i>Mapa měření příjezdové cesta do dolu Dolní Rožná</i>	38
<i>Obr. 16</i>	<i>Příjezdové cesta k dolu Dolní Rožná</i>	39
<i>Obr. 17</i>	<i>Měření příjezdové cesty k dolu Dolní Rožná</i>	39
<i>Obr. 18</i>	<i>Detektor RadEye</i>	40
<i>Obr. 19</i>	<i>Měřený vzorek mechu</i>	41

Seznam tabulek

<i>Tab. 1</i>	<i>Přehled radioaktivních přeměn</i>	14
<i>Tab. 2</i>	<i>Prapůvodní radionuklidy</i>	21
<i>Tab. 3</i>	<i>Kosmogenní radionuklidy</i>	22
<i>Tab. 4</i>	<i>Rozdělení radionuklidů dle radiotoxicity a potenciálního nebezpečí vnějšího záření</i>	26
<i>Tab. 5</i>	<i>Vzorkování a měření</i>	27
<i>Tab. 6</i>	<i>Účinky radiace na člověka</i>	28
<i>Tab. 7</i>	<i>Radionuklidy produkované lidmi</i>	30
<i>Tab. 8</i>	<i>Dávkový příkon záření gama [$\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$]</i>	38
<i>Tab. 9</i>	<i>Měření detektorem vzorků α a β záření RadEye HEC</i>	41

1 ÚVOD A CÍL PRÁCE

1.1 Úvod

Radioaktivita je samovolný proces, při kterém vznikají přeměnou jader nestabilních nuklidů jiné chemické prvky. Při rozpadu atomových jader se uvolňuje radioaktivní záření, jedná se o ionizující záření, které vzniká při radioaktivním rozpadu. Při rozpadu atomových jader se uvolňuje radioaktivní záření, toto záření je většinou lidskému organismu škodlivé. Pojem radioaktivita zavedli manželé M. Skledowská – Curierová a její manžel P. Curie. Ionizující záření má zvláštní vlastnosti, které určují jeho využití ve vědeckém výzkumu, technických oborech a zdravotnictví. Přirozená radioaktivita vzniká důsledkem rozpadu atomového jádra, který vzniká samovolně. Radioaktivní záření přichází z okolního prostoru a vyzařuje i ze Země. Toto záření je zde již od samotného vzniku Země a není spojeno s aktivitou člověka.

Umělá radioaktivita vzniká uměle, přeměnou jádra atomu. Prvky získávají umělou radioaktivitu transmutací, vlivem působení umělých částí, nebo řetězovou reakcí. Na radioaktivním pozadí se podílejí zdroje vytvořené člověkem.

Na radioaktivitě v životním prostředí mají největší vliv jaderné události. Stupně 7 INES bylo dosaženo pouze jednou za dobu provozu jaderné energetiky a to v JE Černobyl, stupeň 6 INES byl dosáhnout v JE Fukušima. Česká jaderná energetika zatím nikdy nepoužila klasifikaci vyšší než 2 INES. Jaderné elektrárny v ČR – JE Temelín a JE Dukovany jsou zajištěny bezpečnostním opatřením při všech předpokládaných událostech jako je vichřice, zemětřesení, požár, zátopa, pád letadla a porucha JE.¹

Vzhledem k tomu, že účinky radioaktivního záření jsou škodlivé, je snahou zamezit působení tohoto faktoru, proto je třeba rozlišit postupy a možnosti ochrany v kontaktu s radioaktivním zářením.

¹ *Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných událostí* [online]. [cit. 2015-4-30]. Dostupné z: <http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/INES.pdf>

Nejvýznamnější je šíření radioaktivity vodou a to jak povrchovou tak podzemní, vzduchem a v potravních řetězcích. Vše co jíme a pijeme je radioaktivní. Z tohoto důvodu je dnes prováděno rozsáhlé radiační monitorování, při němž jsou analyzovány složky ovzduší, v pitné a povrchové vodě, v říčních sedimentech, vodárenských kalech a potravinových řetězcích.

2 RADIOAKTIVNÍ ZÁŘENÍ

Radioaktivita je samovolný proces, při kterém vznikají přeměnou jader nestabilních nuklidů jiné chemické prvky.

Při rozpadu atomových jader se uvolňuje radioaktivní záření, toto záření je většinou pro lidský organismus škodlivé, z tohoto účelu se radioaktivní přeměna provádí převážně v prostorách k tomu přizpůsobených, za zvýšených bezpečnostních podmínek. Z chemického pohledu rozpoznáváme čtyři druhy radioaktivního záření, které označujeme řeckými písmeny α , β , γ přičemž záření β dělíme na β^- a β^+ . Ve fyzice se můžeme setkat s dalším druhem radioaktivity a to je neutronové záření.

- Záření α je za všech záření nejméně pronikavé, neboť je ho možné zastavit pouhým listem papíru či tenkou hliníkovou folií. Částice α jsou kladně nabitá jádra helia ${}^4\text{He}$.
Dosahují 10% rychlosti světla.
- Záření β je středně pronikavé (asi 100x více než α), lze ho zastavit například pomocí 1cm silného plexiskla (organického skla).
- Záření β^- doprovází přeměna, elektronů na neutrino a protonů na neutron
$${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}e \quad (1.1)$$
- Záření β^+ doprovází přeměna protonu na pozitron (antičástice elektronu; kladně nabitý elektron;) a neutron.
$${}^1_1p \rightarrow {}^1_0n + {}^0_1e \quad (1.2)$$
- Záření γ je velmi pronikavé a elektromagnetické, záření lze zastavit jen betonem či silnou olověnou deskou.²

² E-ChemBook.eu. [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.e-chembook.eu>

Další možnou přeměnou je záchyt elektronů jádrem. Jádro pohltí některý vnitřní elektron a po tomto elektronu vznikne mezera, která je zaplněna elektronem z některých vyšších vrstev. Při tomto přeskočení dochází k vyzáření elektromagnetického záření (gama či rentgenové):



Tab. 1 Přehled radioaktivních přeměn³

Alfa	${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{A-4}_{Z-2}\text{Y}$ ${}^{192}_{78}\text{Pt} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{188}_{78}\text{Os}$
Beta ⁻	${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^0_{-1}\text{e} + {}^A_{Z+1}\text{Y}$ ${}^{58}_{26}\text{Fe} \rightarrow {}^0_{-1}\text{e} + {}^{57}_{27}\text{Co}$
Beta ⁺	${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^0_1\text{e} + {}^A_{Z-1}\text{Y}$ ${}^{18}_9\text{F} \rightarrow {}^0_1\text{e} + {}^{18}_8\text{O}$

Radioaktivní záření můžeme klasifikovat jako karcinogenní (zapříčiňuje zhoubné bujení buněk), teratogenní (poškozuje plod) a mutagenní (způsobuje mutace).⁴

2.1 Objev radioaktivity

Dne 8. listopadu 1895, německý fyzik W. C. Roentgen, objevil nový druh záření, který nazval paprsky x, toto záření se označuje jako rentgenové. Tento objev začal

³ E-ChemBook.eu. [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.e-chembook.eu>

⁴ E-ChemBook.eu. [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.e-chembook.eu>

zkoumat H. Becquerel a v roce 1896 pořídil první radiogram. Pojem radioaktivita zavedli manželé M. Skledovská – Curierová a její manžel P. Curie, kteří izolovali polonium a později rádiu.⁵

2.2 Základní pojmy

Nuklid - druh atomu se stejným počtem protonů a stejným počtem neutronů.

Izotop - atomy lišící se počtem neutronů.

Radionuklid - nuklid, který je schopen samovolné radioaktivní přeměny. Každý radionuklid má svůj typický poločas přeměny a druh přeměny, je přírodním zdrojem radioaktivního záření.

Nukleonové číslo A - určuje počet nukleonů v atomovém jádře.

Protonové číslo Z - určuje počet protonů v atomovém jádře.

Pro určení chemického složení platí: $\frac{A}{Z}X$ kde X je chemická značka prvku.

Poločas přeměny - doba, za kterou se rozpadne $\frac{1}{2}$ přítomných jader radioaktivního nuklidu. Dříve poločas rozpadu.⁶

Radon - radioaktivní plyn, vzniká při rozpadu rádia a uranu.

Becquerel (Bg) - rozpad jednoho atomového jádra za sekundu.⁵

Sievert (Sv) - je jednotka dávkového ekvivalentu, který udává hodnotu biologického účinku různých druhů ionizujícího záření.⁵

2.3 Využití radioaktivity

Ionizující záření, má zvláštní vlastnosti, které určují jeho využití ve vědeckém výzkumu, technických oborech a zdravotnictví.

Radioaktivity se též využívá ve strojním průmyslu k defektoskopii. Defektoskopie je metoda k vyhledávání vad materiálu, jak vnitřních vad, tak povrchových vad. V potravinářském průmyslu je radioaktivní záření používáno ke sterilizaci potravin

⁵ BĚLOUSOVÁ, I. M., ŠTUKKENBERG, J. M. *Přirozená radioaktivita*. Praha: Státní zdravotnické nakladatelství, 1963, 168 s.

⁶ AstroNuklFyzika [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika2.htm>

a to zářením γ . V chemickém průmyslu je využíváno radioaktivního záření ke zlepšení vlastností umělých hmot a například v geologii se využívá radioaktivita jako časoměr při sledování dlouhodobého geologického vývoje zemské kůry.

2.3.1 Lékařské

Radioaktivní záření bylo nejprve uplatněno v lékařství a diagnostice. Objevitelé radia a radioaktivity si všimli biologických účinků záření. Na svých tělech pozorovali, jak záření způsobuje popálení kůže a způsobuje bolestivé a těžko hojitelné rány.⁷

LÉKAŘSKÉ PŘÍSTROJE VYUŽÍVAJÍCÍ IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

Rentgenová diagnostika

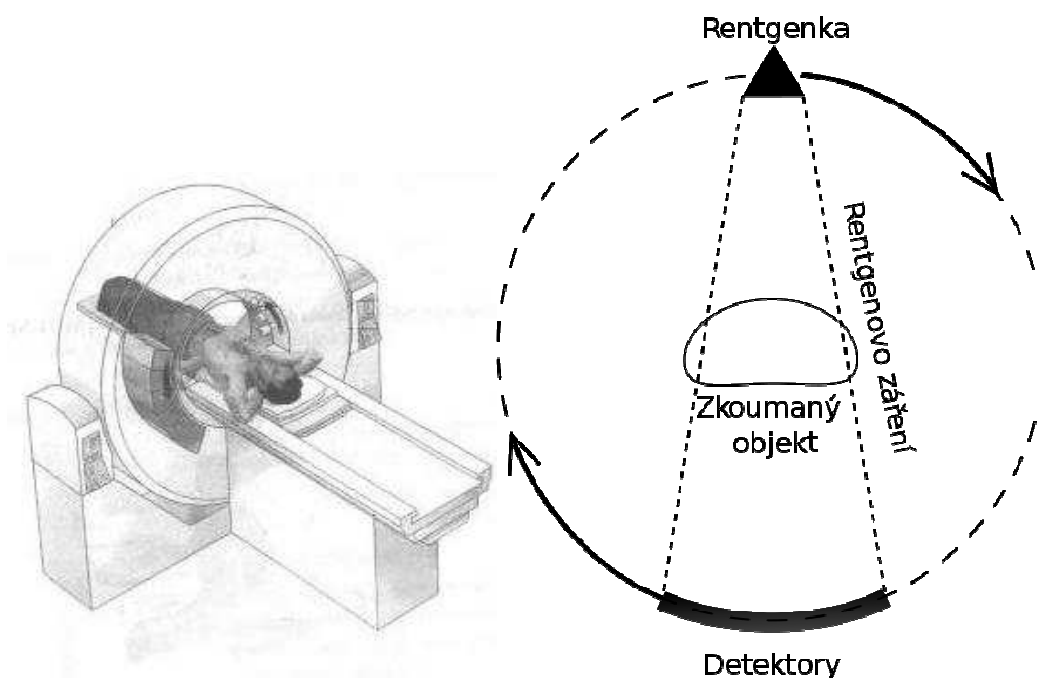
Principem rentgenové diagnostiky je zobrazovací metoda využívající rentgenových paprsků, které generuje rentgenka, pro zobrazení části těla, která je rentgenována. Výsledný obraz se tvoří několika způsoby, buď rentgenový svazek působí na film, nebo dopadá na digitální senzor.

Výpočetní tomografie (CT)

Jedná se o diagnostickou zobrazovací metodu, rentgenové záření prochází v mnoha průmětech vyšetřované oblasti a data jsou digitálně zpracovány. Svazek záření, který vychází z rentgenky je emitován do tvaru vějíře, který určuje šířku zobrazované vrstvy. Po průchodu záření pacientem dopadá na detektory, které jsou uloženy naproti rentgence. Zde se záření přemění na elektrický signál a dále je digitalizován a zpracován počítačem. Při výpočetní tomografii je vytvořeno stovky snímků a ty jsou následně rekonstruovány do obrazu vyšetřované vrstvy.⁸

⁷ BĚHOUNEK, F. *Lidé a radioaktivita*. 1.vyd. Praha: Nakladatelství České akademie věd, 1960, 118 s. Nové obzory vědy, věd. populární edice ČSAV, 7.

⁸ *Radiobiologie* [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/4-kapitola/43/431.html>



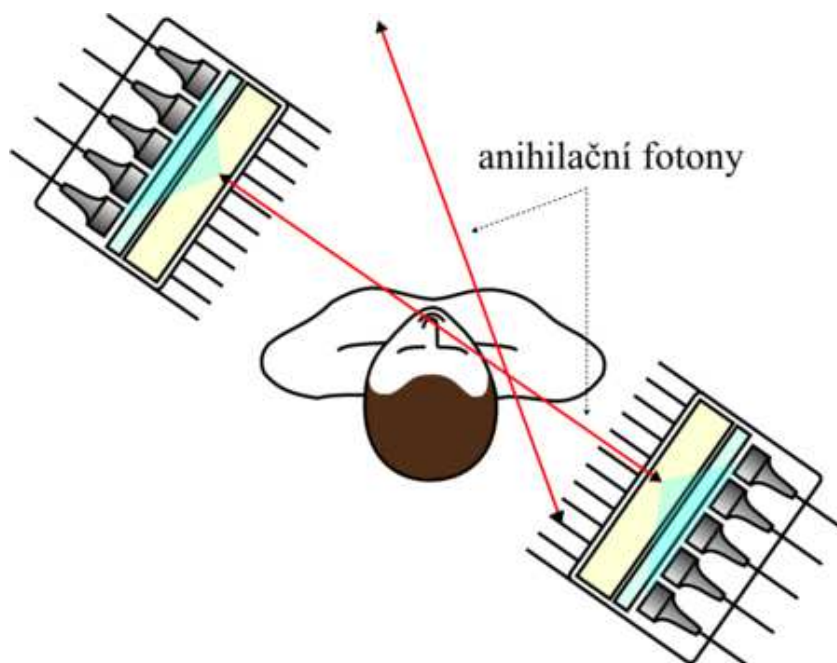
Obr. 1 CT – přístroj a princip⁹

Pozitronová emisní tomografie (PET)

V nukleární medicíně je jedna z nejmodernějších zobrazovacích metod. Principem metody je lokalizace dvou anihilačních fotonů γ , které vznikají ve tkáni při anihilaci pozitronu s elektronem. Pozitron a elektron vznikají ve stejný okamžik, emitují v opačných směrech do okolí, kde dopadají na protilehlé detektory a mají energii 511 keV a emitují v opačných směrech (v úhlu 180°) do okolního prostoru kde dopadnou na dva protilehlé detektory. Detektory jsou spojeny obvodem a zachycují jen fotony dopadající současně na oba protilehlé detektory, tedy právě tehdy kdy došlo k anihilaci. Nastřádaná data jsou přetvořena počítačem v obraz. Před vyšetřením se vpravuje do těla pacienta pozitronový (β^+) zářič. Zářiče jsou uměle připravovány, převážně na oddělení v cyklotronu. Jedná se o radionuklidy N^{13} , C^{11} , F^{18} a N^{15} . Nejpoužívanější radiofarmakem v PET je F^{18} – FDG fluorodeoxy-glukóza, využívá se pro zobrazení oblastí s vysokým

⁹ Wikipedie [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org>

metabolickým obratem glukózy v neurologii, kardiologii a onkologii. Při anihilaci má záření gama vysokou energii, proto musí být obsluhující personál řádně chráněn.¹⁰



Obr. 2 PTP – přístroj a princip¹¹

Leksellův gama nůž

Gama-nůž využívá fotonové gama-záření, které vzniká rozpadem izotopu kobaltu Co^{60} . Toto záření se používá k léčbě cévních abnormalit, nitrolebních nádorů a k léčbě onemocnění nervové soustavy. Radiační jednotka má 201 zdrojů gama záření, toto záření se kříží v jednom ohnisku, kde je umístěn cíl zásahu. Součástí gama nože je radiační jednotka s koliminačními helmicemi a léčebné lůžko, stereotaktický rám a plánovací systém GamaPlan, pro plánování a optimalizaci radiochirurgické léčby.¹²

¹⁰ 3pól Magazín plný pozitivní energie. [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://3pol.cz>

¹¹ Klinika nukleární medicíny [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.lf.upol.cz>

¹² Zdravotnictví, medicína [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://zdravi.e15.cz>

2.3.2 Jaderné elektrárny

V Obninsku u Moskvy byla v roce 1954 uvedena do provozu první malá jaderná elektrárna s elektrickým výkonem 5 MW, což byl začátek jaderné energetiky.

Jaderná energetika během této doby dosáhla velké technické dokonalosti a nasbírala zkušenosti. Již v roce 1990 jaderná energetika produkuje 19 % světové produkce elektřiny, například ve Francii byla produkce až 70 %. Ve světě bylo 4 526 reaktorů a měly výkon 320 000 MW a ve výstavbě bylo dalších 100 reaktorů.¹³

Na území Československé republiky byly vybudovány jaderné elektrárny v Jaslovských Bohunicích a v Dukovanech. Reaktory v těchto elektrárnách jsou tlakovodní voroněžského typu (VVER), s obohaceným uranem o výkonu 440 MW. Elektrárna v Dukovanech má celkový elektrický výkon 1 760 MW. Roku 1991 vyráběla 23 % elektrické energie v České republice.¹³

V Temelíně začala výstavba v roce 1987, první reaktor byl zavezen palivem v červenci 2000 a aktivováno bylo palivo v říjnu 2000. 21. prosince 2000 došlo k připojení prvního bloku o výkonu 981 MW, do rozvodné sítě. První blok byl ve zkušebním provozu od 10. června 2002. Druhý blok byl zavezen palivem v červnu 2002 a do zkušebního provozu byl uveden 18. dubna 2003. Kolaudace proběhla v listopadu 2006.¹⁴

Palivový cyklus jaderné elektrárny

Palivový cyklus jaderných elektráren je relativně složitý. Skládá se z několika částí, počátkem je těžba uranové rudy a další částí je chemické zpracování. Ke vzniku 1 kg jaderného paliva je nutno vytěžit dvě až čtyři tuny uranové rudy. Nahradí se tím až 100 tun černého uhlí. S rozemleté rudy se získává žlutý koncentrát uranu U_3O_8 , obsahující minimálně 65 % přírodního uranu.

Výroba paliva začíná přeměnou na UO_2 a následně je lisován do pelet o hmotnosti cca 5 gramů. Pelety se ukládají do uzavřených trubek a ty potom vytvářejí palivové

¹³ *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/>

¹⁴ *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elekriny/jaderna-energetika/jaderne-elekrany-cez/ete/historie-a-soucasnost.html>

proutky. Palivovou kazetu tvoří svazek palivových proutků. Každý reaktor JE Temelín má uloženo 163 palivových kazet a každá kazeta má 312 palivových proutků. V každém proutku je 370 pelet.

Po několika letech se provádí výměna paliva, které je uloženo do bazénu vyhořelého paliva a poté se ukládá do meziskladu použitého paliva, kde může být uloženo až 100 let. Dále palivo putuje buď do přepracovatelského závodu, nebo do trvalého úložiště vyhořelého paliva až na 70 milionů let.¹⁵

České elektrárny za svoji životnost vyprodukují kolem 3 000 tun vyhořelého paliva. Toto vyhořelé palivo tvoří méně než 1 % jaderných odpadů vyprodukovaných na světě, ale obsah radioaktivity je větší jak 90 %. Jaderný odpad se může stát zdrojem surovin pro jiný druh jaderné elektrárny.¹⁶

¹⁵ MATOUŠEK, A., *Výroba elektrické energie*, Brno: VUT v Brně, Fakulta elektrotechniky a informačních technologií, 2007, 139 s. ISBN 987/80/214/3317/5

¹⁶ *Atomová elektrárna* [online]. [Cit. 2015-04-30]. Dostupný z: <http://atomovaelektrarna.wz.cz/PALIVO.htm#>

3 ANALÝZA ZDROJŮ PŘÍRODNÍ RADIOAKTIVITY V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ

3.1 Přírodní zdroje radioaktivity

Radioaktivní záření přichází z okolního prostoru a vyzařuje i ze Země. Toto záření je od počátku světa a není spojeno s aktivitou člověka.

Tab. 2 Prapůvodní radionuklidy ¹⁷

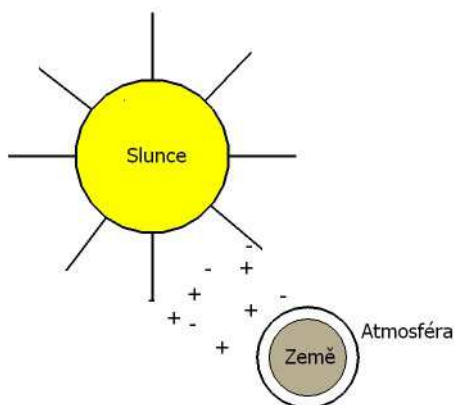
Nuklid	Symbol	Poločas přeměny	Přírodní aktivita
Uran 235	²³⁵ U	$7,04 \cdot 10^8 \text{ let}$	0,72 % z přírodního uranu 0,5-4,7 ppm
Uran 238	²³⁸ U	$4,47 \cdot 10^9 \text{ let}$	99,3 % z přírodního uranu
Thorium 232	²³² Th	$1,41 \cdot 10^{10} \text{ let}$	1,6-20 ppm v hornině a 10,7 ppm v zemské kůře
Radium 226	²²⁶ Ra	$1,6 \cdot 10^3 \text{ let}$	16 Bg/kg ve vápenci, 48 Bg/kg ve vyvěřelých horninách
Radon 222	²²² Rn	$3,82 \text{ dne}$	Koncentrace ve vzduchu 0,6-28 Bg/m ³
Draslík 40	⁴⁰ K	$1,28 \cdot 10^9 \text{ let}$	0,037-1,1 Bg/g v půdě

DRUH Y PŘIROZENÉ RADIOAKTIVITY

Kosmické záření

Země a všechny živé věci na ní jsou neustále bombardovány zářením z vesmíru. Nabité částice ze slunce a hvězd reagují na zemskou atmosféru a magnetické pole vytváří obvykle gama záření. Velikost kosmického záření je různá v různých částech světa a je to závislé na nadmořské výšce a na účincích magnetického pole Země.

¹⁷ ČVUT fakulta jaderné fyziky [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.fjfi.cvut.cz>



Obr. 3 Kosmická radiace

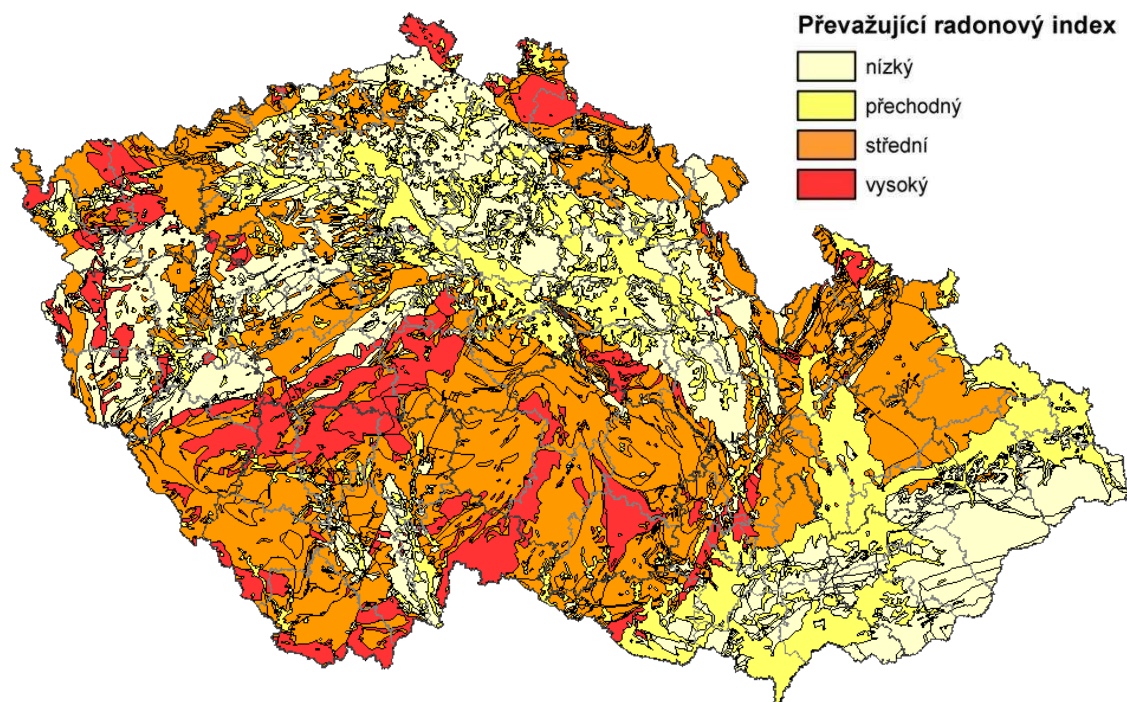
Tab. 3 Kosmogenní radionuklidy¹⁸

Nuklid	Symbol	Poločas přeměny	Zdroj	Přírodní aktivita
Uhlík 14	^{14}C	5 730 let	Interakce kosmického záření s atomy dusíku	0,22 Bg/kg
Tritium	^3H	12,3 let	Interakce kosmického záření s atomy dusíku, kyslíku a lithia	$1,2 \cdot 10^{-3}$ Bg/kg
Beryllium 7	^7B	53,28 dní	Interakce kosmického záření s atomy dusíku a kyslíku	0,01 Bg/kg

Přírodní záření

Pozemské záření vychází z hornin v zemské kůře. Radioaktivní materiály se vyskytují ve vegetaci, vodě a půdě a to nízké hladiny uranu, thoria a produkty po rozpadu. Některé látky jsou člověkem požitý s jídlem a vodou a jiné jsou vdechovány. Dávky radioaktivity se liší v různých částech světa. Podstatný podíl na přírodní radioaktivitě životního prostředí má radon, který je uvolňován se zemské kůry a samovolně se přeměňuje na další radioaktivní atomy.

¹⁸ ČVUT fakulta jaderné fyziky [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.fjfi.cvut.cz>



Obr. 4 Geologická prognózní mapa radonového rizika¹⁹

Lidská radioaktivita

Lidské tělo a každý biologický organismus obsahuje radionuklidy. Neustále radionuklidy vdechujeme, vydechujeme a přijímáme v potravě a nápojích. Člověk má v těle asi 30 mg draslíku ^{40}K a přibližně 10 ng uhlíku ^{14}C .²⁰

¹⁹ SÚRO [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.suro.cz>

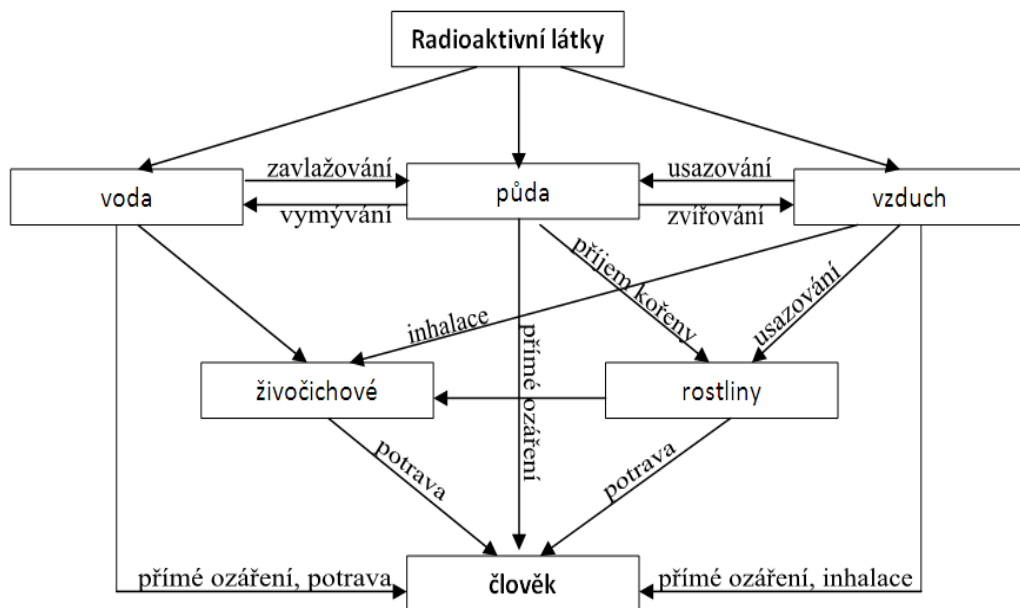
²⁰ Český svaz vědeckotechnických společností [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.csvts.cz/cns/news11/radio2.pdf>

3.2 Transport radionuklidů v životním prostředí

Nejvýznamnější je šíření radioaktivity vodou a to jak povrchovou tak podzemní, vzduchem a v potravních řetězcích.

Vzduchem - radionuklidy jsou navázány na vodní kapky a prachové částičky. Jedná se o radioaktivní spad, který se dostává na zem s deštěm a vlivem gravitace. Míra kontaminace závisí na meteorologických podmínkách.

Vodou - vznikají různé modely šíření v různých prostředích a podmínkách. Povrchová voda může být kontaminovaná spadem či splachem z kontaminovaného terénu. Velká pozornost by měla být věnována tam, kde jsou povrchové vody používány jako zdroje pitné vody. Na šíření radionuklidů v oceánu má vliv proudění vody.



Obr. 5 Šíření radionuklidů v životním prostředí²¹

²¹ HÁLA, J. *Radioaktivita ionizující záření, jaderná energie*. Brno: Konvoj, 1998, 310 s. ISBN 80-856-1556-8.

V potravinách – vše co jíme a pijeme je radioaktivní. Radioizotop přírodního draslíku K^{40} je zastoupen v potravinách a jeho výskyt je ve všech biologických materiálech. Radioaktivita se přenáší do plodin z minerálů a hornin přítomných v půdě. Koryšci a ryby akumulují radioaktivitu z mořského dna a vody. Umělá radioaktivita se dostává do potravin z životního prostředí. Hlavní producenti radioaktivního odpadu jsou povinni monitorovat životní prostředí, kolem svého působiště. Sekundární kontroly jsou prováděny pověřeným orgánem. Sledují se hladiny radioaktivity ve vybraných potravinách.

3.2.1 Radionuklidy v životním prostředí

Svoji aktivitou se v životním prostředí projevují radionuklidy. Složky v pitné vodě, v povrchové vodě, říčních sedimentech, vodárenských kalech, v ovzduší a potravinových řetězcích jsou monitorovány. Z aerosolů jsou v ovzduší sledovány objemové aktivity aerosolů ^{137}Cs , ^7Be (kosmogenní původ), dále ^{210}Pb , což je produkt přeměny ^{222}Rn . Dále je stanovována objemová aktivita ^{90}Sr , ^{238}Pu , ^{239}Pu a ^{240}Pu . Z plynů jsou monitorovány objemové aktivity ^{85}Kr a ^3H . Ve srážkách a spadech pak ^{137}Cs , ^7Be , ^{210}Pu a ^3H . Ve vzorcích pitné a povrchové vody ^{137}Cs , ^{90}Sr a ^3H , v říčních sedimentech a vodárenských kalech ^{137}Cs .²²

V potravních řetězcích jsou zkoumány lesní plody, houby, ovoce, zelenina, brambory, med, vzorky ryb, zvěřina, mléka a masa. Aktivita je aditivní veličina, proto je při porovnávání různých objektů nutné vztahovat tuto veličinu na jednotkové množství. Vliv dané potraviny na člověka tak nezávisí pouze na její objemové nebo hmotnostní aktivitě, ale především na jejím celkovém zastoupení v potravě.²¹

Shromažďování radionuklidů v organismech závisí na metabolismu, stavbě těla a fyziologických pochodech. Z hlediska morfologie akumulují větší množství radionuklidů z vody, půdy a ze vzduchu ty organismy, které mají velký povrch těla vzhledem k jejich hmotnosti.²¹

²² HÁLA, J. *Radioaktivita ionizující záření, jaderná energie*. Brno: Konvoj, 1998, ISBN 80-856-1556-8.

Do lidského těla přijímáme radioaktivitu inhalací, potravou i resorpcí – sliznicemi a povrchem kůže. Dechem prostupují radionuklidy ve formě aerosolů a plynů do plic a horních cest dýchacích, kde zůstávají dlouhý čas. Radionuklidy mohou přestupovat přes plicní alveoly do krve a dostávají se též do trávicího traktu. Při porušení povrchu kůže jsou radionuklidy rychle vstřebány do krve, povrchem nepoškozené kůže pronikají radionuklidy minimálně.²³

Tab. 4 Rozdělení radionuklidů dle radiotoxicity a potenciálního nebezpečí vnějšího záření²⁴

Třída	Radionuklidy
1	^{241}Am , ^{239}Pu , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{60}Co
2	^{210}Po , ^{131}I , ^{106}Ru , ^{90}Sr , ^{59}Fe
3	^{144}Ce , ^{125}I , ^{144}Ce
4	^{99}Tc , ^{90}Y , ^{89}Sr , ^{32}P , ^{14}C
5	^{147}Pm , ^{45}Ca , ^3H

Vnitřní ozáření lidského organismu je dáno přijatou dávkou radioaktivního záření a také aktivitou v lidské tkáni. Radiotoxicita vyjadřuje úhrn chemických, fyzikálních a biologických vlastností radionuklidu. Celkové riziko vyjadřuje kombinaci rizika radiotoxicity a vnějšího záření. Nejvíce jsou nebezpečné nuklidy řazené do třídy jedna a existuje pět tříd celkového rizika ozáření.

²³ HÁLA, J. *Radioaktivita ionizující záření, jaderná energie*. Brno: Konvoj, 1998, ISBN 80-856-1556-8.

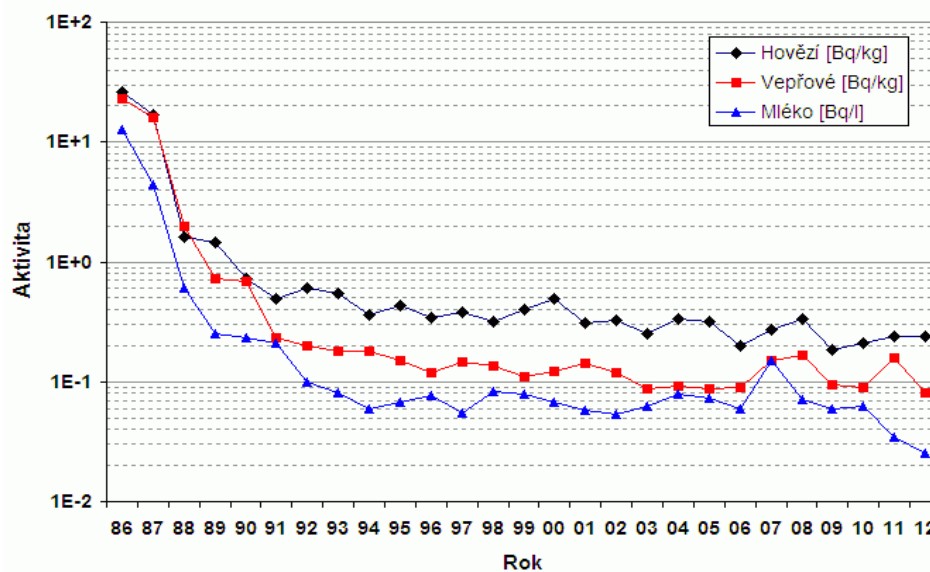
²⁴ HOLCMANOVÁ, Z., RYZÁKOVÁ, R. *Jaderné zbraně* [online]. [cit. 2015-04-30]

Dostupné z: <http://www.2zskolin.cz/jadfyz/zbr/zbrane.html#tragedie>

Tab. 5 Vzorkování a měření²⁵

Složka	Jednotka	Rozpětí hodnot	Počet měření	
			Celkem > MVA	
Mléko sušené	Bg/kg	$< 1,1 \cdot 10^{-1} - 4,7 \cdot 10^{-1} >$	15	13
Mléko	Bg/l	$< 3,0 \cdot 10^{-3} - 7,4 \cdot 10^{-2} >$	20	10
Hovězí	Bg/kg	$< 6,0 \cdot 10^{-3} - 4,9 \cdot 10^{-1} >$	7	6
Vepřové	Bg/kg	$< 5,4 \cdot 10^{-2} - 9,8 \cdot 10^{-2} >$	7	7
Drůbež	Bg/kg	$< 1,4 \cdot 10^{-2} - 1,9 \cdot 10^{-1} >$	7	6
Zvěřina	Bg/kg	$< 6,7 \cdot 10^{-2} - 4,9 \cdot 10^{+3} >$	13	12
Ryby	Bg/kg	$< 4,5 \cdot 10^{-2} - 5,6 \cdot 10^{-1} >$	8	4
Med	Bg/kg	$< 1,2 \cdot 10^{-1} - 1,3 \cdot 10^{00} >$	2	2
Ovoce	Bg/kg	$< 4,7 \cdot 10^{-3} - 6,2 \cdot 10^{-3} >$	17	4
Zelenina	Bg/kg	$< 5 \cdot 10^{-3} - 7 \cdot 10^{-2} >$	29	6
Brambory	Bg/kg	$< 8 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-1} >$	15	10
Lesní plody	Bg/kg	$< 8,8 \cdot 10^{-2} - 2,2 \cdot 10^{+1} >$	11	8
Houby lesní	Bg/kg	$< 1,3 \cdot 10^{-1} - 2,2 \cdot 10^{+3} >$	26	25

MNA- minimální významná aktivita

Obr. 6 Průměrné roční hodnoty hmotnostní aktivity ¹³⁷Cs v hovězím a ve vepřovém a objemové aktivity ¹³⁷Cs v mléce od roku 1986²⁶²⁵ SÚRO [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.suro.cz>²⁶ SÚRO [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.suro.cz>

Tab. 6 Účinky radiace na člověka²⁷

Účinky radiace na člověka v milisievertch (mS)	
500-1 000	Dochází k narušení imunitních buněk, roste riziko infekce i dočasné mužské sterility
1 000-2 000	Těhotné ženy, spontánně potrací, dostavuje se nevolnost a zvracení, do měsíce umírá 10% postižených
2 000-4 000	Krvácení z kůže, úst a ledvin, do měsíce umírá ½ zasažených
8 000	Dochází k trvalému poškození kostní dřeně, rekonvalescence v případě přežití trvá roky, většina umírá po dvou týdnech
10 000 - 50 000	Léčba je nemožná, zasažení umírají do jednoho týdne
Více než 80 000	Během několika sekund nastává smrt

3.2.2 Ozařování potravin

Ozařování potravin se provádí pomocí ionizujícímu záření, kterému jsou potraviny vystaveny. Záření je vysoké energie, které je schopna vyrážet elektrony z atomového obalu a tím se potravina ionizuje. Ionizace se provádí pomocí paprsků α , β , γ , protonového a rentgenového záření.

Mikroorganismy jsou vůči záření různě odolná a liší se podle složení potravin. Ozařování musí být na obalu vyznačeno.

²⁷ Novinky [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://tema.novinky.cz/sievert-milisievert>

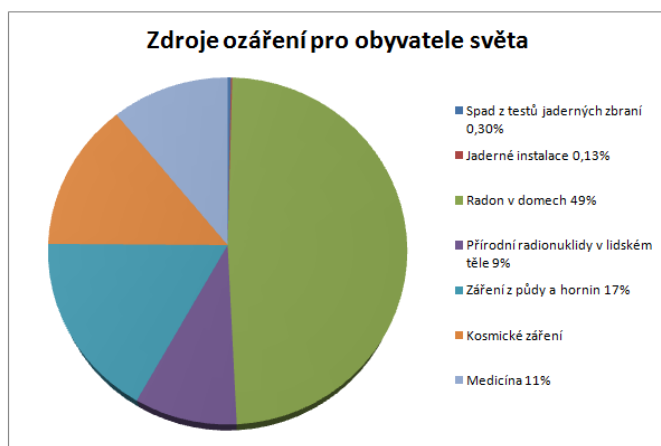
4 ZMAPOVÁNÍ UMĚLÝCH ZDROJŮ IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ DETEKOVANÝCH V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ

4.1 Umělé zdroje radioaktivity

Na radioaktivním pozadí životního prostředí se podílejí zdroje vytvořené člověkem.

Zdroje:

- spalování uhlí v tepelných elektrárnách. V průběhu spalování uhlí dochází k uvolňování příměsí uranu a thoria, spolu s radiem, poloniem a radonem přecházejí do atmosféry,
- popílek z tepelných elektráren, které spalují uhlí,
- rentgenové snímkování,
- jaderné havárie,
- ukládání jaderného odpadu.



Obr. 7 Zdroje ozáření pro obyvatele světa²⁸

²⁸ SÚRO [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.suro.cz>

Tab. 7 Radionuklidy produkované lidmi²⁹

Nuklid	Symbol	Poločas přeměny	Zdroj
Tritium	${}^3\text{H}$	12,3 let	Výpusti jaderných zařízení a průmyslových podniků, testy jaderných zbraní
Jod 131	${}^{131}\text{I}$	8,04 dní	Testy jaderných zbraní, výpusti jaderných zařízení a medicína
Jod 129	${}^{129}\text{I}$	$1,57 \cdot 10^7$ let	Testy jaderných zbraní a výpusti jaderných zařízení
Cesium 137	${}^{137}\text{C}$	30,17 let	Testy jaderných zbraní a výpusti jaderných zařízení
Stroncium 90	${}^{90}\text{Sr}$	28,78 let	Testy jaderných zbraní a výpusti jaderných zařízení
Technecium 99	${}^{99}\text{Tc}$	$2,11 \cdot 10^5$ let	Používá se v medicíně
Plutonium 239	${}^{239}\text{Pu}$	$2,41 \cdot 10^4$ let	Vzniká z ${}^{238}\text{U}$ působením neutronů

4.2 Vliv radioaktivního záření na lidský organismus

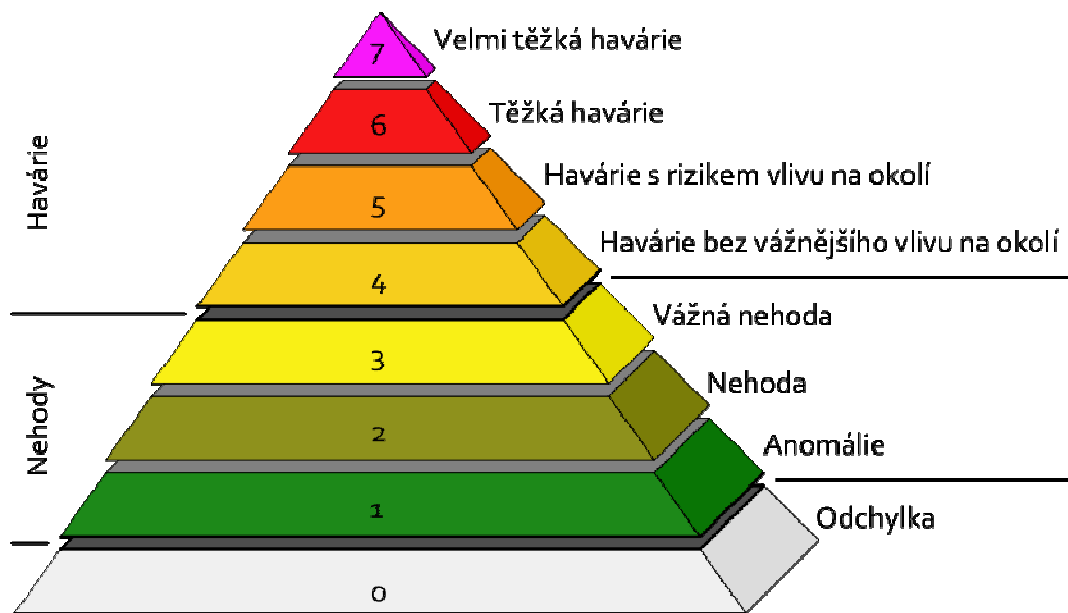
Vzhledem k tomu, že účinky radioaktivního záření jsou škodlivé, je snahou zamezit působení tohoto faktoru, proto je třeba rozlišit postupy a možnosti ochrany v kontaktu s radioaktivním zářením.

Do styku přicházíme s 80 % ozáření z přírodních zdrojů radioaktivity. Vliv přírodního ionizujícího záření nejsme schopni redukovat ani ovlivnit, až na výjimku radonu, kde jsme schopni dávky snížit.

²⁹ Radioaktivita [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: www.fyzweb.cz/materialy/fukusima/radioaktivita.ppt

5 NEJVĚTŠÍ JADERNÉ UDÁLOSTI A HAVARIE

Mezinárodní agentura pro atomovou energii a Agentura pro jadernou energii v roce 1990 zavedli Mezinárodní stupnici jaderných událostí INES. Jde o osmistupňovou stupnici, která určuje důsledky a závažnost havárií a poruch jaderných zařízení.



Obr. 8 Mezinárodní stupnice závažnosti jaderných událostí³⁰

Stupně 7 INES bylo dosaženo pouze jednou za dobu provozu jaderné energetiky a to v JE Černobyl, stupeň 6 INES byl dosáhnout ve Fukušime. V JE Three Mile Island a JE Winscale havárie dosáhly stupně 5 INES.

³⁰ Mezinárodní stupnice závažnosti jaderných událostí [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Mezin%C3%A1rodn%C3%ADstupnice_jadern%C3%BDch_ud%C3%A1lost%C3%A1
D

Jaderná energetika v České republice zatím nepoužila vyšší klasifikaci než 2 INES. JE Temelín a JE Dukovany jsou zajištěna proti událostem jako je požár, zátopa, vichřice, zemětřesení, pád letadla a porucha na JE.

Tyto nešťastné události způsobily uvolnění radioaktivních prvků do životního prostředí a to zejména:

- jód (^{131}I) s poločasem rozpadu $T_{1/2} = 8$ dnů,
- stroncium (^{90}Sr) s poločasem rozpadu $T_{1/2} = 28$ let,
- cesium (^{137}Cs) s poločasem rozpadu $T_{1/2} = 30$ let.

5.1 16. 7. 1945, Nové Mexiko, Trinity

Trinity byl název prvního jaderného testu plutoniové jaderné zbraně. Zbraň Trinity vyvinuli vědci v Los Alamos a testovala se efektivnost a funkčnost nové zbraně, pro použití ve druhé světové válce. Místo testu bylo vybráno v části Alamogordo Bombing Range.



Obr. 9 Jaderný test Trinity – nálož³¹

³¹ Atomicarchive.com [online]. [cit. 2015-04-30].

Dostupné z: http://www.atomicarchive.com/History/trinity/g3_p1.shtml

Výbuchem byla přeměněna písčité zem na skalnatou kůru a vznikl kráter široký 330 metru a hluboký 3m.

Po náletu, na Hirošimu byli zveřejněny výsledky a průběh testu. Trinity dosáhla ekvivalentu 20 kilotun TNT.

5.2 6. 8. 1945, Japonsko, Hirošima

Na Hirošimu dopadla bomba s názvem Little Boy s ničivou silou 20 kilotun TNT. Bomba na místě usmrtila 75 000 osob a na následky ozáření umřelo dalších 200 000 lidí.³²



Obr. 10 Hirošima po náletu³³

5.3 9. 8. 1945, Japonsko, Nagasaki

Exploze dosahovala 22 kilotun TNT, vzhledem k hornatému terénu zahynulo oproti Hirošimě pouze 30 000 osob. Atomová zbraň nesla název Fat Man.

³² PANCHARTEK, R. *Hirošima a Nagasaki: Pohledem té doby* [online]. [cit. 2015-04-30].

Dostupný z: http://www.valka.cz/clanek_10813.html

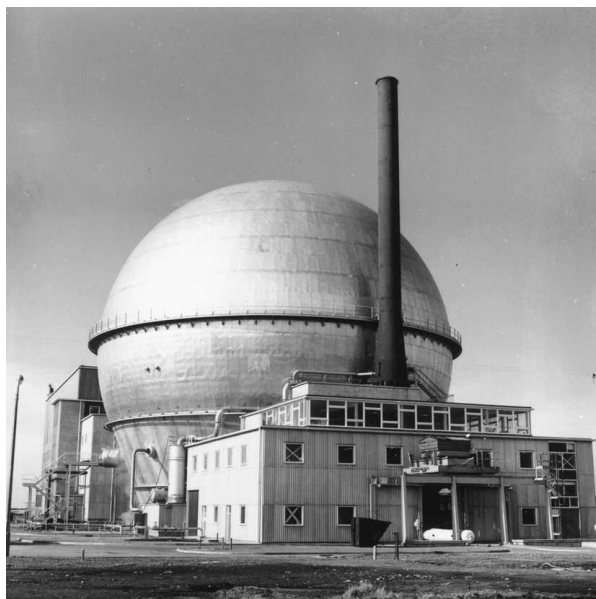
³³ *O čem se mluví* [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://ocemsemluvi.cz/je-uz-68-po-utoku-na-hirosimu/>

5.4 29. 9. 1957, Čeljabinská oblast, Majak

Dnes je považován ze třetí, nejvýznamnější havárie. Majak je zpracovatelský závod na zpracování jaderného materiálu, kde vybuchla podzemní nádrž s radioaktivním odpadem. Únik radioaktivního záření kontaminoval plochu cca 1 000 km². Celá událost se dlouze utajovala, oficiálně byla přiznána Moskvou a nahlášena Mezinárodní agentuře pro atomovou energii v roce 1989.

5.5 8. 10. 1957, Velká Británie, Windscale (Sellafield)

Jaderná elektrárna v Anglii, která vyráběla plutonium a recyklovala jaderný odpad, měla problémy s únikem radioaktivity do okolí. V roce 1957 požár narušil aktivní zónu reaktorového bloku. Havárie je značena stupněm 5 INES a na následky zahynulo 200 osob na rakovinu.



Obr. 11 Windscale – jaderná elektrárna³⁴

³⁴ Enformable [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://enformable.com/2011/12/former-chief-of-british-nuclear-fuels-and-windscale-development-advocate-dies-at-91/>

Radioaktivitou tato oblast byla následně zamořena roku 1973 a událost je na stupnici 4 INES. Další únik plutonia následoval na jaře roku 2011 a byly objeveny závažné bezpečnostní nedostatky.

5.6 26. 4. 1986, Černobyl

Na stupnici č. 7 INES se nachází největší jaderná havárie v jaderné energetice. Únik trval 10 dnů. Jednalo se o únik izotopu kryptonu a xenonu, jód ve formě plynné, organické, dále cesium, telur, zirkonium, cer, stroncium a barium. Zprávy z Černobyly uvádí i americium a plutonium.



Obr. 12 JE Černobyl po výbuch³⁵

³⁵ *Turismo* [online]. [cit. 2015-04-30]. Kamil Porembiński.

Dostupné z: <http://www.turismo.cz/ukrajina/mesta-a-mista/cernobyl/>

5.7 11. 3. 2011, Japonsko, Fukušima

Na stupnici č. 6 INES se nachází jaderná havárie ve Fukušimě na Japonských ostrovech, po zásahu vlnou tsunami. Při zemětřesení zasáhla elektrárna vlna tsunami a poté selhalo chlazení reaktoru. Nepodařilo se všechny reaktory dostatečně uchládit a později došlo k výbuchům vodíku a požárům.



Obr. 13 JE Fukušima před a po havárii³⁶

³⁶ *Aktuálně* [online]. [cit. 2015-04-30]. Reuters, luk. Dostupné z: <http://aktualne.centrum.cz/zahranici/asia-a-pacifik/clanek.phtml?id=693972>

6 ANALÝZA VÝSKYTU RADIOAKTIVNÍCH PRVKŮ

Jaderná energetika se vyznačuje ultračistým provozem, avšak bývá opomíjeno na těžbu a zpracování uranové rudy, jak již byl popsán palivový cyklus. Uranová ruda bývá v ložiskách rozptýlena. Z jedné tuny uranové rudy získáme jeden kilogram uranu. Bylo rozhodnuto, že analýza radioaktivity se provede v okolí uranového dolu v Dolní Rožná. 3. 4. 2014 byla změřena cesta (přepravní trasu rudy), která vede do lomu a shromážděny vzorky mechu a písku v okolí příjezdové cesty.

6.1 Měření příjezdové cesty do dolu Dolní Rožná

K měření byl použit měřicí přístroj DOZIMETR Rad Eye B20-ER, používá se pro všestranné radiační měření povrchové kontaminace α , β a γ zářením. Přístroj měří obdrženou dávku v Sv/h.



Obr. 14 Dozimetr Rad Eye B20-ER³⁷

³⁷ Department of Electrical Power Engineering [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.ueen.feec.vutbr.cz/cz/index.php/laboratore/liz>



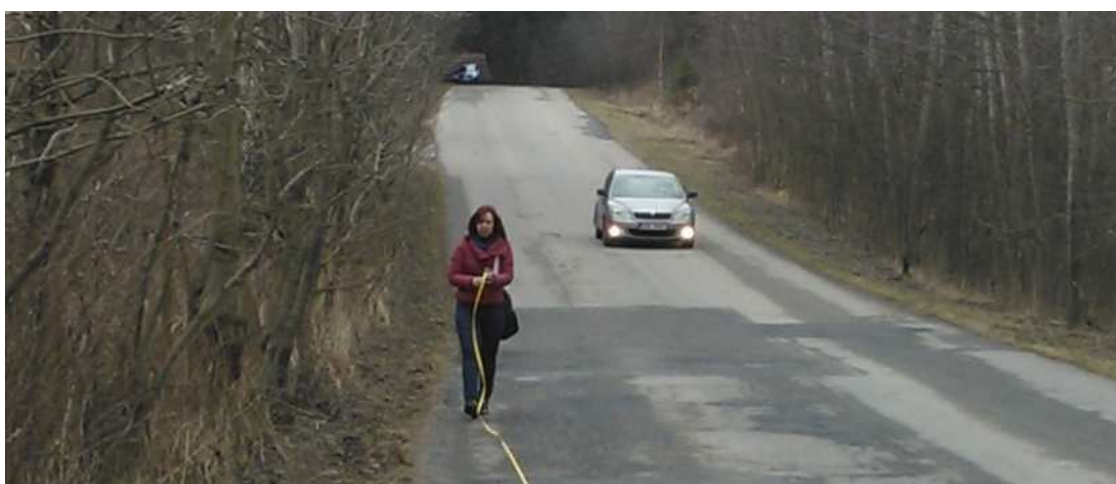
Obr. 15 Mapa měření příjezdové cesta do dolu Dolní Rožná

Tab. 8 Dávkový příkon záření gama [$\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$]

Měření v bodě	1m od levé krajnice	0,5m od pravé krajnice	Levá krajnice	¼ silnice od levé krajnice	střed silnice	¼ silnice od pravé krajnice	Pravá krajnice	0,5 m od pravé krajnice	1m od pravé krajnice
1	1,3	1,41	1,5	0,31	0,31	0,37	1,44	151	0,9
2	1,25	1,38	1,59	0,37	0,4	0,53	1,45	1,5	1,23
3	1,25	1,44	1,59	0,39	0,51	0,55	0,63	1,58	1,27
4	3,01	1,73	1,62	0,62	0,43	0,47	1,05	0,93	0,97
5	1,82	1,98	1,09	0,54	0,49	0,72	1,032	2,02	1,81
6	1,24	1,26	1,18	0,52	0,41	0,5	0,87	0,87	2,17
7	1,74	2,27	2,01	0,51	0,43	0,49	1,08	1,09	1,09
8	2,32	2,32	2,24	0,57	0,34	0,47	1,34	1,15	1,35
9	1,34	1,34	1,63	0,47	0,39	0,42	1,29	1,29	1,22
10			1,37	0,5	0,4	0,37	0,93	1,37	1,4
11	0,79	0,46	0,36	0,34	0,3	0,21	0,22	0,24	0,29
12	0,5	0,6	0,49	0,23	0,19	0,45	0,46	1	1,17



Obr. 16 Příjezdové cesta k dolu Dolní Rožná



Obr. 17 Měření příjezdové cesty k dolu Dolní Rožná

Celkem bylo provedeno 108 měření a průměrný dávkový příkon byl **1,1 $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$** , což překročilo hodnoty, které jsou uvedené ve Zprávě o výsledcích monitoringu a stavu složek životního prostředí o. z. GEAM z roku 2012. Hodnoty jsou překročeny, protože pro naše měření byl zvolen den, kdy je přepravována uranová ruda do chemického závodu a nebylo deštivo, tudíž prach uranové rudy z nákladních vozidel ležel na silnici a nebyl opláchnut dešťovou vodou.

6.2 Měření vzorků mechu a písku



Obr. 18 Detektor RadEye³⁸

³⁸ Department of Electrical Power Engineering [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.ueen.feec.vutbr.cz/cz/index.php/laboratore/liz>



Obr. 19 Měřený vzorek mechu

Tab. 9 Měření detektorem vzorků α a β záření RadEye HEC

Datum měření	Měřený vzorek	Počet α částic za sekundu	Počet β částic za sekundu
7. 4. 2014	pozadí	0,005	7,377
7. 4. 2014	mech	0,029	7,224
15. 4. 2014	pozadí	0,007	7,231
15. 4. 2014	písek z cesty	0,164	10,518

Z tabulky č. 9 je patrný pohyb částic α a β záření u vzorku mechu a písku, shromážděny na příjezdové cestě do dolu Dolní Rožná. Písek byl pravděpodobně smíchan s uranovou rudou, protože hodnoty měření jsou o poznání vyšší než vzorek mechu.

7 ZÁVĚR

Ionizující záření má zvláštní vlastnosti, které určují jeho využití ve vědeckém výzkumu, technických oborech a zdravotnictví. V lékařství se nejvíce používá v rentgenové diagnostice, výpočetní tomografii, pozitronové tomografii a u gama nože. Využití je rovněž v jaderné energetice.

Všechny radionuklidy způsobují vnitřní nebo vnější ozáření v závislosti na jejich vlastnostech. Lidské tělo obsahuje prakticky neměnné koncentrace radioaktivity, protože vznikla rovnováha mezi přijímáním a vylučováním. Vnitřní ozáření je závislé na přijaté dávce záření a aktivitou lidské tkáně.

Až 80 % radioaktivity, se kterou přijde lidské tělo do styku, je z přírodních zdrojů radioaktivního záření. Vliv přírodního radioaktivního záření nelze příliš ovlivňovat ani redukovat. Výjimku tvoří možnost snížit dávku způsobenou nadměrnou koncentrací radonu. Radioaktivní záření není viditelné a proto k jeho detekci je zapotřebí použít měřicí přístroje.

V potravních řetězcích jsou zkoumány především lesní plody, houby, ovoce, zelenina, brambory, med, vzorky ryb, zvěřina, mléka a masa. Aktivita je aditivní veličina, proto je při porovnávání různých objektů nutné vztahovat tuto veličinu na jednotkové množství. Vliv dané potraviny na člověka tak nezávisí pouze na její objemové nebo hmotnostní aktivitě, ale především na jejím celkovém zastoupení v potravě.³⁹ Dle průzkumu bylo nejvíce radioaktivity obsaženo ve zvěřině, houbách, lesních plodech a medu.

Výsledky, které jsou uvedeny v mé práci, mají víceméně informativní charakter, neboť pro objektivní zhodnocení je nutno měření vícekrát opakovat. I tak je možno poukázat na zvýšené hodnoty v místě měření oproti jiným měřením.

³⁹ HÁLA, J. *Radioaktivita ionizující záření, jaderná energie*. Brno: Konvoj, 1998, ISBN 80-856-1556-8.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- 3pól Magazín plný pozitivní energie.* [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://3pol.cz>
- BĚHOUNEK, F. *Lidé a radioaktivita.* 1. vyd. Praha: Nakladatelství České akademie věd, 1960, 118 s. Nové obzory vědy, věd. populární edice ČSAV, 7.
- BĚLOUSOVA, I., ŠTUKKENBERG, J. *Přirozená radioaktivita.* Praha: Státní zdravotnické nakladatelství, 1963, 168 s.
- ČVUT fakulta jaderné fyziky [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.fjfi.cvut.cz>
- E-ChemBook.eu.* [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.e-chembook.eu>
- Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/>
- FRANKOVÁ, Z. *Radionuklidy produkované energetickými jadernými reaktory v ČR a jejich vliv na životní prostředí.* Bakalářská práce. Brno: MENDELU Brno, 45 s. 2013.
- HÁLA, J. *Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie.* Brno: Konvoj, 1998. 207 s. ISBN 80-85615-56-8.
- Halliday, D.; Resnick, R.; Walker, J.: *Fyzika. Vysokoškolská učebnice obecné fyziky. Část 5: Moderní fyzika.* Brno a Praha: VUTIUM a Prometheus, 2000, ISBN 80-214-1868-0
- HOLCMANOVÁ, Z., RYZÁKOVÁ, R. *Jaderné zbraně* [online]. Cit.[2015-04-30] Dostupný z: <http://www.2zskolin.cz/jadfyz/zbr/zbrane.html#tragedie>
- L'ANNUNZIATA, M. F. *Radioactivity: introduction and history.* Amsterdam: Elsevier, 2007. 609 s. ISBN 978-0-444-52715-8.
- MATOUŠEK, A. *Výroba elektrické energie.* Brno: VUT v Brně, Fakulta elektrotechniky a informačních technologií, 2007, 139 s. ISBN 987/80/214/3317/5.
- PANCHARTEK, R. *Hirošima a Nagasaki: Pohledem té doby* [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupný z: http://www.valka.cz/clanek_10813.html
- RAČEK, J. *Jaderná zařízení.* Brno: Novpress, 2009, 239 s. ISBN 978-80-214-3961-0.
- SÚRO [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.suro.cz>
- Zdravotnictví, medicína* [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://zdravi.e15.cz>