



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Zdravotně sociální fakulta
Ústav radiologie, toxikologie a ochrany obyvatelstva

Bakalářská práce

Obsah Cs-137 v lesní zvěři

Vypracovala: Veronika Háková
Vedoucí práce: Mgr. Renata Havránková, Ph.D.

České Budějovice 2016

Abstrakt

Na okolní svět potažmo na celou společnost působí ionizující záření od nepaměti. Nejdříve se jednalo pouze o přírodní zdroje, jako je kosmické a sluneční záření nebo záření zemské, které působí na člověka, na jeho zdraví a na ostatní obyvatele planety přirozeně. Při normálním koloběhu života si takovou skutečnost jedinec ani neuvědomuje. Ozáření z těchto zdrojů není možné ovlivnit, lze pouze regulovat intenzitu jejich působení. S technickým rozvojem společnosti je spojen i objev umělých zdrojů ionizujícího záření. Lidé se zabývali jejich studiem nejdříve s ušlechtilými cíly, jako bylo využití pro léčebné účely nebo v různých průmyslových odvětvích, například v energetice. Nakonec se podařilo objevit i negativní stránku využití štěpení atomu, a sice ve formě jaderných zbraní. Umělými zdroji ionizujícího záření jsou tedy především produkty vznikající při zkouškách jaderných zbraní, které probíhaly převážně v 50. a 60. letech 20. století a dále produkty vznikající při haváriích jaderných elektráren. Na území České republiky měla největší vliv, co se týče kontaminace životního prostředí radionuklidem cesia Cs-137 (dále jen Cs-137) a vlivem na obyvatelstvo, havárie jaderné elektrárny v Černobylu.

Cílem bakalářské práce bylo porovnání množství Cs-137 v mase některých druhů lesní, nebo také divoké, zvěře, pomocí polovodičové spektrometrie gama. Pro potřeby bakalářské práce byla formulována výzkumná otázka: Liší se obsah cesia Cs-137 v závislosti na živočišném druhu?

V úvodu bakalářské práce jsou popsány obecné poznatky o ionizujícím záření. Co vlastně ionizující záření je, co je radionuklid a poločas přeměny. Následuje stručný přehled veličin, které se ionizujícího záření týkají. Jsou to veličiny, které konkretizují vliv ionizujícího záření na člověka. Jelikož je zkoumán obsah Cs-137 v mase lesní zvěře, je v další části práce popsán prvek cesium a jeho izotop Cs-137. Velmi často bývá obsah Cs-137 srovnáván s obsahem přírodního draslíku K-40 (dále jen K-40), který je jedním z nejrozšířenějších radionuklidů v životním prostředí. Proto je v práci také zmíněn. Jak bylo již uvedeno, velký podíl na přítomnosti Cs-137 v našem prostředí mají umělé zdroje ionizujícího záření, zkoušky jaderných zbraní a havárie jaderných

elektráren. Další část bakalářské práce je tedy věnována přehledu vývoje jaderných zbraní, který v podstatě začal v období mezi světovými válkami na počátku 20. století. Druhým nejvýznamnějším zdrojem Cs-137 na našem území byla havárie čtvrtého reaktoru jaderné elektrárny Černobyl 26. Dubna 1986. Mimochodem právě letos uplynulo

30 let od jedné z největších jaderných katastrof vůbec.

V následující části je uveden přehled druhů lesní zvěře, která byla předem vytipována a jejíž maso bylo použito jako vzorků pro měření hmotnostní aktivity Cs-137. Hmotnostní aktivita byla měřena polovodičovou spektrometrií gama na Regionálním centru Státního úřadu pro jadernou bezpečnost v Českých Budějovicích.

Vzhledem k dostupnosti lovné zvěře byla zvolena lokalita Jindřichohradecka. Vzorky masa, které byly k dispozici pro účely měření, byly z následujících druhů lesní zvěře: prase divoké, daněk skvrnitý, srnec obecný, liška obecná a zajíc polní. Počet vzorků byl v podstatě ponechán náhodě, neboť výsledek lovu lesní zvěře nelze předem stanovit. Nejvíce vzorků bylo získáno z prasete divokého. Z každého, legálně uloveného kusu, byl odebrán vzorek o hmotnosti přibližně 500 g. Maso bylo poté očištěno, nakrájeno a vloženo do speciálních Marinelliho měřících nádob a zamrazeno. Ve dvou případech, v důsledku nedostačujícího množství speciálních měřících nádob, byly vzorky umístěny pouze do plastových sáčků. Následně byla stanovena hmotnostní aktivita Cs-137 a pro porovnání také K-40.

Hodnoty naměřené hmotnostní aktivity Cs-137 se pohybovaly v rozmezí od $1,9 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $191 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ a v obou případech se jednalo o vzorek masa z prasete divokého. Hodnoty hmotnostní aktivity K-40 byly v rozmezí od $47,4 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $201 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, kdy nejnižší hodnota byla zjištěna u vzorku masa z prasete divokého a nejvyšší hodnota u vzorku masa ze srnce obecného. Hodnoty hmotnostní aktivity Cs-137 a K-40 u vzorku z masa lišky obecné byly téměř totožné. Hodnota hmotnostní aktivity u žádného vzorku nepřesáhla hranici $600 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, která je stanovena vyhláškou č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně.

Z naměřených hodnot tedy vyplývá, že obsah Cs-137 se v jednotlivých druzích lesní zvěře liší.

Ze statistických údajů bylo zjištěno, že spotřeba masa lesní zvěře je průměrně zhruba 0,7 kg na dospělé osobu za kalendářní rok. V případě naší rodiny se tento údaj pohybuje kolem 7,2 kg na osobu za kalendářní rok, jelikož jsme nadprůměrnými konzumenty tohoto druhu masa. Pro zajímavost byl vypočítán úvazek efektivní dávky pro spotřebu jak 0,7 kg tak odhadovaných 7,2 kg. Při spotřebě 0,7 kg masa z lesní zvěře za rok byl spočítán úvazek efektivní dávky 0,0017 mSv a při spotřebě 7,2 kg masa za rok 0,018 mSv. Bylo zjištěno, že hodnoty efektivních dávek nejsou v těchto případech významné, kontaminace Cs-137 v mase z dostupné lesní zvěře je minimální.

Klíčová slova: cesium-137, ionizující záření, hmotnostní aktivita, lesní zvěř, Černobyl

Abstract

The surrounding world thus the whole society has been influenced by ionizing radiation ever since. From the beginning they were only the natural sources as cosmic and solar rays or earth's radiation, which was natural for men's health and other planet's inhabitants as well. Within usual circumstances any person is unaware of. Such irradiation cannot be controlled, only possibility is to regulate the strength of its influence. Technical development of society brought discovery of artificial sources of ionizing radiation. In the beginning scientists studied them with noble aims, such as medical purpose, or industrial usage, for instance energetics. Eventually the negative side of utilization of nuclear fission was discovered in nuclear weapons. Artificial sources of ionizing radiation are mainly nuclear weapon's testing products from fifties and sixties in last century and nuclear power plant's accidents' products. When it comes to environment's contamination by Cesium radionuclide Cs-137 (further only Cs-137) and by inhabitants influencing, in The Czech Republic territory the biggest effect came from Chernobyl nuclear power plant failure.

The aim of Bachelor Thesis is comparison of Cs-137 amount in meat of some species of forest or wild animals by semiconductor gamma spectrometry. The research question is whether amount of Cs-137 depends on animal species, or not.

In The Thesis's introduction the general findings concerning ionizing radiation are described. What actually the ionizing radiation is and what a radionuclide and a half-life are. The next is a short set of quantities coming with ionizing radiation. These quantities concretize ionizing radiation's impact for people. Whereas the amount of Cs-137 in wild animal meat is examined, next part deals with Cesium and its isotope Cs-137. The amount of Cs-137 is very often compared with amount of natural Potassium K-40 (further only K-40) which is one of the most widely spread radionuclide in environment. That is why it is included in The Thesis as well. As it was mentioned above a big contribution of Cs-137 come from artificial sources of ionizing radiation nuclear weapon's tests and nuclear power plant failure. Other part of The Thesis is devoted to nuclear weapon development. It actually began in between World Wars in

the beginning of 20th century. The second most significant source of Cs-137 in our area was the crash of the 4th reactor of nuclear power plant Chernobyl, which occurred on April 26, 1986. By the way in this year has passed 30 years from one of the biggest nuclear catastrophe ever.

In the next part a summary of wild animal species is given. Such animals were ahead selected and their meat was used as samples for measurement of Cs-137 mass activity. Mass activity was measured by means of semiconductor gamma spectrometry in Regional Centre of State Office for Nuclear Safety in České Budějovice.

Due to availability of game animals was chosen Jindřichův Hradec region. Samples available for measurement reason were taken from the following kinds of hunting game: wild boar, fallow deer, roe deer, fox and hare. The number of particular samples was left to chance, consequently to hunting figures which cannot be set in advance. The highest amount of samples was taken out of wild boar. From each, under permission hunted piece was taken specimen of about 500 grams. After cleaning and cutting meat was put to special Marinelli measurement bowls and frozen. In two cases meat was put only to plastic bags due to insufficient number of special measurement bowls. Later was measured Cs-137 mass activity and for comparison also K-40 one.

Measured values of Cs-137 mass activity oscillated from 1,9 Bq.kg⁻¹ to 191 Bq.kg⁻¹. In both cases it was meat of wild boar. Figures K-40 mass activity were from 47,4 Bq.kg⁻¹ up to 201 Bq.kg⁻¹. Where the lowest value came from meat sample of wild boar, then the highest value came from meat sample of roe deer. The numbers of Cs-137 and K-40 mass activities in meat sample of fox were almost the same. The mass activity values of any sample never reached the threshold value 600 Bq.kg⁻¹, which is given by Announcement about radiation protection no. 307/2002 Sb.

Measured values shows that amount of C-137 vary with the type of wild animals. According to statistic data the average game consumption is about 700 grams per adult per year. In case of our family the consumption is even 7 200 grams per adult per year as we are over average consumers of this kind of meat. Just for interest was calculated committed effective dose for consumption of 700 grams and also for estimated consumption of 7 200 grams. With consumption about 700 grams per adult per year the

committed effective dose is 0,0017 mSv and with consumption about 7 200 grams is 0,018 mSv.

The result is - effective dose values are not of great significance, contamination of hunting game meat by Cs-137 is minimal.

Key words: Cesium-137, ionizing radiation, mass activity, hunting game, Chernobyl

Prohlášení

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

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne: 3. května 2016

.....

Veronika Háková

Poděkování

Děkuji vedoucí bakalářské práce Mgr. Renatě Havránkové, Ph.D. za ochotu, odborné vedení, cenné rady a veškeré informace, které mi velmi pomohly při zpracování bakalářské práce. Dále bych ráda poděkovala Mgr. Jiřímu Havránkovi za odbornou pomoc a spolupráci ve výzkumné části práce.

Obsah

Úvod	13
1 Teoretická část	15
1.1 Obecné informace o ionizujícím záření	15
1.1.1 Vybrané veličiny a jednotky týkající se ionizujícího záření.....	15
1.1.2 Zdroje ionizujícího záření.....	17
1.2 Cesium a draslík.....	19
1.3 Zdroje Cs-137.....	21
1.3.1 Jaderné zbraně	21
1.3.2 Havárie jaderných elektráren.....	25
1.4 Lesní zvěř	33
1.4.1 Prase divoké (<i>Sus strofa</i>).....	33
1.4.2 Srnec obecný (<i>Capreolus capreolus</i>).....	34
1.4.3 Daněk skvrnitý – evropský (<i>Dama dama</i>)	35
1.4.4 Liška obecná (<i>Vulpes vulpes</i>)	36
1.4.5 Zajíc polní (<i>Lepus europaeus</i>).....	37
1.5 Polovodičová spektrometrie gama	37
2 Výzkumná otázka a metodika výzkumu.....	39
2.1 Výzkumná otázka.....	39
2.2 Metodika výzkumu.....	39
2.2.1 Způsob získávání vzorků masa	40
2.2.2 Příprava vzorků masa.....	40
2.2.3 Přehled získaných vzorků masa	41
2.2.4 Měření vzorků masa	43
3 Výsledky.....	44
3.1 Přehled hmotnostní aktivity všech vzorků	45
3.2 Porovnání hmotnostní aktivity u vzorků masa s prasete divokého	46
3.3 Porovnání hmotnostní aktivity dle způsobu stravování lesní zvěře	46
4 Diskuze.....	48
4.1 Vyhodnocení hmotnostní aktivity ve všech vzorcích	48

4.2 Vyhodnocení hmotnostní aktivity ve vzorcích prasete divokého	49
4.3 Vyhodnocení hmotnostní aktivity dle druhu konzumované potravy lesní zvěří...	50
4.4 Výpočet úvazku efektivní dávky.....	51
4.5 Zhodnocení výzkumné otázky	53
5 Závěr	54
6 Seznam informačních zdrojů	55
7 Seznam tabulek	58
8 Seznam obrázků	59
9 Seznam grafů.....	60

Seznam zkratk

ČR	Česká republika
ČSSR	Československá socialistická republika
HPGe	High Purity Germanium
IAEA	International Atomic Energy Agency Mezinárodní agentura pro atomovou energii
INES	The International Nuclear Event Scale
IZ	ionizující záření
OECD/NEA	Organisation for Economic Co-operation/ The Nuclear Energy Agency Organizace pro ekonomickou spolupráci a rozvoj (anglická zkratka)
SSSR	Svaz sovětských socialistických republik
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚRO	Státní ústav radiační ochrany
USA	Spojené státy americké

Úvod

Celá planeta od pradávna podléhá a stále podléhá působení ionizujícího záření (dále jen IZ). Obyčejný člověk v běžném životě ani nezaznamená přítomnost IZ, avšak bylo dokázáno, že IZ má velký vliv na veškerý život, pozitivní i negativní. V roce 1895 Wilhelm Conrad Röntgen poprvé pozoroval záření, které v následujících letech velkou měrou ovlivnilo životy lidí na celém světě.

Postupně byly objevovány a popisovány zdroje IZ. Bylo zjištěno, že IZ pochází ze dvou zdrojů. Prvním jsou přírodní zdroje – jedná se o prvky, které se běžně vyskytují v přírodě, v ovzduší a ve vesmíru. Jejich množství člověk ovlivnit nemůže, ale určitými opatřeními může ovlivnit intenzitu jejich působení. Druhým jsou umělé zdroje, které vznikly jako hlavní nebo vedlejší produkt lidské činnosti. Člověk se začal zabývat IZ z hlediska využití pro jeho pozitivní účinky, zejména ve zdravotnictví (diagnostické a léčebné postupy), v některých průmyslových odvětvích (jaderné elektrárny), ale i za účelem využití IZ negativně, především ve formě jaderných zbraní.

Bakalářská práce se zabývá porovnáním obsahu cesia-137 (dále jen Cs-137) v lesní zvěři. Radioaktivní prvek Cs-137 se v přírodě nevyskytuje přirozeně. Vzhledem ke svému poločasu rozpadu 30 let, je jedním z nejvýznamnějších radionuklidů z hlediska dlouhodobé kontaminace. Jedná se o umělý prvek, který se do prostředí dostal dvojitou cestou. Jednak ze zkušek jaderných zbraní hlavně v 50. a 60. letech 20. století. Druhou cestou Cs-137 do ovzduší a prostředí byla havárie jaderné elektrárny v Černobylu na Ukrajině v dubnu roku 1986, která měla velký podíl na kontaminaci území České republiky. Cs-137 se dostává v přírodě do lesních plodů, hub a ostatních komodit lesního ekosystému. Ty pak mohou kontaminovat lesní zvěř, jejíž maso konzumuje člověk a tak může dojít k vnitřnímu ozáření obyvatelstva.

Cílem práce je porovnání obsahu Cs-137 v různých druzích lesní zvěře pomocí polovodičové spektrometrie gama. Vzhledem k dostupnosti vzorků pro výzkum byla vybrána lokalita Jindřichohradecka.

V první části práce jsou uvedeny základní informace o IZ, potažmo o Cs-137. Dále jsou uvedeny skutečnosti, které měly značný vliv na přítomnost Cs-137 v životním

prostředí. To znamená umělé zdroje IZ. Rovněž je sestaven přehled lesní zvěře, jejíž maso bylo použito k výzkumu a měření obsahu Cs-137. Stručně je popsán způsob měření pomocí polovodičové spektrometrie gama. Získané výsledky měření a jejich porovnání jsou sestaveny do tabulky a grafů pro jednodušší přehled.

1 Teoretická část

Všude kolem nás se vyskytuje **ionizující záření**, které je definováno jako tok hmotných částic nebo fotonů elektromagnetického záření. Částice nebo fotony mají schopnost ionizovat atomy prostředí nebo excitovat jejich jádra. Ionizující záření vzniká jako průvodní jev jaderných procesů (u rentgenového záření procesů odehrávajících se v elektronovém obalu atomů). Při takových procesech se dostává jádro (nebo obal) atomu do excitovaného stavu, stává se energeticky nestabilní. Stav stabilizuje právě vyzářením energie ve formě částic nebo fotonů elektromagnetického záření. (1)

Podstatou IZ je samovolná přeměna prvků s nestabilními jádry některých nuklidů, které se nazývají **radionuklidy**. Každý radionuklid má své charakteristické přeměnové schéma. Přeměna každého radionuklidu, která končí vznikem stabilního nuklidu, je jinak dlouhá. Řádově od několika minut až po roky či desítky nebo stovky let. (Principy a praxe radiační ochrany)

S pojmem radioaktivita je spojen i pojem **poločas přeměny** neboli **poločas rozpadu**. Jedná se o dobu, za kterou se z výchozího počtu atomů přemění právě polovina – $N = N_0/2$, N_0 je počet atomů radionuklidu ve vzorku na počátku, N je počet atomů radionuklidu po přeměně poloviny atomů. (2)

1.1 Obecné informace o ionizujícím záření

Je-li nám známa přítomnost IZ, je důležité získat také informace a údaje, které IZ charakterizují a mají určitou vypovídací hodnotu. To znamená určit množství absorbované energie, případně množství radionuklidu, potažmo určit dávku a účinek na živý organismus.

1.1.1 Vybrané veličiny a jednotky týkající se ionizujícího záření

Pro účely stanovení informací o IZ existuje soustava veličin a jednotek týkajících se oblasti IZ. Vybrala jsem ty, které považuji za nejdůležitější.

Aktivita A – charakterizuje množství radioaktivní látky u radionuklidových zdrojů; aktivita radioaktivní látky je počet radioaktivních přeměn v této látce vztažený na jednotku času a je definována vztahem

$$A = \frac{dN}{dt}$$

A – aktivita; *dN* – střední počet samovolných jaderných přeměn z daného energetického stavu v určitém množství radioaktivní látky; *dt* – časový interval.

Jednotkou aktivity je s^{-1} , becquerel (Bq).

Aktivita A radionuklidu není veličina konstantní, ale klesá s časem. (1, 3)

Absorbovaná dávka D – poměr střední energie *de* sdělené v objemovém elementu dávky o hmotnosti *dm* a hmotnosti tohoto elementu.

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

D – absorbovaná dávka; *dε* – střední energie; *dm* – hmotnost látky.

Jednotkou absorbované dávky je $J.kg^{-1}$, pro který byl zaveden název gray (Gy).

Absorbovaná dávka je energie ionizujícího záření absorbovaná v jednotce hmotnosti ozařované látky v určitém místě. (1, 3)

Dávkový příkon – poměr přírůstku dávky *dD* za čas *dt*.

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

D – dávkový příkon; *dD* – přírůstek dávky; *dt* – časový interval.

Jednotkou je $Gy.s^{-1}$, často se dávkový příkon vyjadřuje v $mGy.h^{-1}$ nebo v $\mu Gy.h^{-1}$ (1).

Ekvivalentní dávka H_T – součin radiačního váhového faktoru w_R a střední absorbované dávky $D_{T,R}$ v orgánu nebo tkáni T pro ionizující záření typu R.

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

H_T – ekvivalentní dávka; *D_{T,R}* – střední absorbovaná dávka ve tkáni či orgánu, způsobená zářením druhu R; *w_R* - příslušný radiační váhový faktor.

Jednotkou ekvivalentní dávky je J.kg^{-1} a má název sievert (Sv). (1, 3)

Efektivní dávka E – je součet ekvivalentních dávek v jednotlivých tkáních či orgánech vážených tkáňovým váhovým faktorem w_T , jež vyjadřuje rozdílnou radiosenzitivitu orgánů a tkání z hlediska pravděpodobnosti vzniku stochastických účinků (zhoubných nádorů a genetických změn). (1, 3)

$$E = \sum_T w_T H_T$$

E – efektivní dávka; H_T – ekvivalentní dávka; w_T – příslušný tkáňový váhový faktor.

Jednotkou efektivní dávky je J.kg^{-1} – 1 sievert (Sv).

Součet všech váhových faktorů příslušných jednotlivým orgánům a tkáním je roven 1 (tabulka 1). Jinými slovy, tkáňové váhové faktory vyjadřují podíl jednotlivých orgánů a tkání na celkovém riziku stochastických poškození při celotělovém ozáření. (1, 3)

Tabulka 1: Doporučené radiační váhové faktory dle ICRP 103 (4)

Tkáň	w_T	Σw_T
Kostní dřevina (červená), tlusté střevo, plíce, žaludek, mléčná žláza, zbytek tkání	0,12	0,72
Gonády	0,08	0,08
Močový měchýř, jícn, játra, štítná žláza	0,04	0,16
Povrch kostí, mozek, slinné žlázy, kůže	0,01	0,04
Celkem		1,00

1.1.2 Zdroje ionizujícího záření

Spolu s objevením radioaktivity a zkoumáním IZ byly postupně objevovány a potvrzovány zdroje IZ. Zkoumáním a studiem IZ bylo zjištěno, že IZ pochází z různých zdrojů, které lze rozdělit na dvě základní skupiny. Podle původu se tedy

zdroje IZ rozdělují na přírodní zdroje, které vznikají bez zásahu člověka a umělé zdroje IZ, které jsou spojeny s lidskou činností.

Přírodní zdroje IZ

- *kosmické záření*, dopadá na Zemi z vesmíru a působí na člověka především zevně v závislosti na nadmořské výšce; kosmické záření se skládá ze tří složek (5):
 - 1) *galaktické záření* – vychází z hlubokých částí vesmíru a je složeno z protonů, jader helia, těžších jader ostatních prvků soustavy a z elektronů;
 - 2) *sluneční kosmické záření* – původcem jsou sluneční erupce a je tvořeno převážně protony;
 - 3) *radiační – van Allenovy pásy* – jsou tvořeny protony a elektrony, které jsou zachyceny magnetickým polem Země v určitých vzdálenostech od jejího povrchu (vnější pás je ve vzdálenosti 20 tis. km nad zemským povrchem a vnitřní 3 tis. km);
- *přírodní radionuklidy*, vznikají činností přírody a podle původu se rozdělují:
 - 1) *kosmogenní radionuklidy* – vznikají průběžně v jaderných reakcích při interakci kosmického záření se stabilními prvky především ve vnějším obalu Země, příkladem jsou uhlík C-14, tritium H-3, berylium Be-7 a sodík Na-22;
 - 2) *terestrální radionuklidy* – radiační zátěž není na různých místech Země konstantní. Rozdíly způsobují hlavně geologické procesy, jejichž následkem došlo k nerovnoměrnému rozdělení radionuklidů v zemské kůře. Terestrální radionuklidy dále rozdělujeme na dvě skupiny:
 - a) *primordiální radionuklidy* – radionuklidy pozemského původu, které vznikly v raných stádiích vesmíru a díky dlouhému poločasu rozpadu se dosud vyskytují na Zemi ve významném množství - izotopy uranu U-238, U-235, thorium Th-232, draslík K-40,.... Mnoho dalších původně přítomných radionuklidů v souvislosti s kratším poločasem rozpadu již vymizelo nebo jsou skoro nedetekovatelné;
 - b) *radionuklidy vznikající v přeměnových řadách* – vznikají přeměnou

nestabilního prvku na prvek stabilnější. Nejvýznamnější je radium Ra-226 (je v řadě počínající uranem U-238) a z něho vznikající plyn radon Rn-222 s řadou dceřiných produktů, které jsou již v pevné formě.

Umělé zdroje IZ

Umělé zdroje jsou zdroje vytvořené činností člověka. Jedná se převážně o rentgenky, umělé radionuklidy, urychlovače a jaderné reaktory. Řada umělých zdrojů je využívána v lékařství k diagnostice i k terapii. (5)

Za další umělé zdroje IZ, které vznikly činností člověka, můžeme považovat radionuklidy, které se nacházejí v životním prostředí v souvislosti se zkouškami jaderných zbraní a haváriemi jaderných elektráren. Na území České republiky měla největší vliv havárie jaderné elektrárny v Černobylu, při které došlo k úniku velkého množství umělých radionuklidů do životního prostředí. (5)

1.2 Cesium a draslík

Cesium je modrobílý, lesklý, na vzduchu nestálý kov, je ze všech kovů nejměkčí. Nachází se v první skupině periodické tabulky prvků, řadí se tedy mezi alkalické kovy, chemická značka je Cs. Ze všech alkalických kovů je nejreaktivnějším chemickým prvkem. Ve sloučeninách cesium vystupuje jako bezbarvý kation Cs^+ .

Většina sloučenin cesia je ve vodě dobře rozpustná, s výjimkou nerozpustných podvojných halogenidů cesia s železem, mědí, kadmiem, antimonem, olovem a bismutem, manganistan cesný CsMnO_4 a terafluoroboritan cesný CsBF_4 . (6)

Na vzduchu má cesium schopnost samovolně se vznítit a hořet za vzniku superoxidu CsO_2 . V atmosféře ozonu hoří za vzniku červeného nestabilního ozonidu cesného CsO_3 . S vodou i s ledem reaguje cesium velmi prudce, až explozivně, za vzniku hydroxidu cesného CsOH , který je ze všech hydroxidů alkalických kovů nejsilnější žíravinou. S vodíkem se slučuje za vzniku tuhého, prudce reaktivního hydridu CsH , který je i na suchém vzduchu samozápalný. S halogeny reaguje již za laboratorní teploty, se selenem a tellurem se slučuje i za teplot hluboko pod bodem mrazu. Se sírou reaguje již za teploty $100\text{ }^\circ\text{C}$. Cesium je silné redukční činidlo. (6)

Cesium objevili v roce 1860 Robert Bunsen a Gustav Kirchhoff ve vodě z minerálních pramenů za využití emisní spektroskopie, cesium bylo prvním chemickým prvkem, který byl detekován touto metodou. Roku 1881 izoloval cesium v kovové formě Carl Sefferberg tavnou elektrolýzou. (6)

V přírodě se elementární cesium nevyskytuje, ve formě sloučenin ve stopových množstvích doprovází ostatní alkalické kovy. Průměrný obsah cesia v zemské kůře je 3 parts per milion. Přírodní cesium je ze 100 % tvořeno stabilním izotopem Cs-133, uměle bylo připraveno dalších 67 nestabilních izotopů cesia s hmotnostními čísly od 112 do 151. Nejvýznamnějšími minerály obsahující cesium jsou polucit a avogadrit a pautovit. (6)

Zpočátku nemělo cesium významnější praktické využití, od roku 1920 se však začalo využívat při výrobě elektronek jako látka sloužící k odstraňování zbytků kyslíku při evakuaci skleněných trubic a baněk. V současnosti se cesium používá k výrobě citlivé vrstvy fotoelektrických článků do přístrojů pro noční vidění. (6)

V přírodě se přirozeně vyskytuje izotop Cs-133. Radioaktivní izotop Cs-137 vzniká štěpením U-235. Do životního prostředí se dostává prostřednictvím zkoušek jaderných zbraní nebo jako produkt při haváriích jaderných elektráren. Cs-137 má poločas rozpadu 30,07 let a poté se rozkládá na Ba-137 metastabilní a při rozpadu dochází k vyzáření beta a gama záření. Radioaktivní izotop Cs-137 se využívá v medicíně a při radiační sterilizaci potravin. (6)

Draslík je stříbřitě bílý, lesklý, velmi měkký nešlechtilý kov, patří mezi alkalické kovy a chemická značka je K. Řadí se mezi nejrozšířenější prvky zemské kůry. V přírodě se volný draslík nevyskytuje, přítomen je vždy vázaný ve sloučeninách, ve kterých vystupuje výhradně jako jednomocný kation K^+ . Mimo významného podílu draslíku v mořské soli, se hojně vyskytuje téměř ve všech podzemních minerálních vodách. Přírodní draslík je zastoupen dvěma izotopy K-39 a K-41. Radioaktivní draslík K-40 s poločasem rozpadu $1,25 \cdot 10^9$ let je nejrozšířenějším radionuklidem na Zemi. Draslík je také důležitým biogenním prvkem, neboť je nezbytný ke správnému metabolismu buněk. (7)

Jak je výše uvedeno, je K-40 jedním z nejrozšířenějších radionuklidů na Zemi. Při měření obsahu Cs-137 v mase lesní zvěře, byl tedy pro informaci a lepší představu měřen i obsah K-40.

1.3 Zdroje Cs-137

Jak bylo již uvedeno, radioaktivní izotop Cs-137 se v životním prostředí přirozeně nevyskytuje. Člověk svou činností vytvořil dva zdroje Cs-137. Jedním zdrojem je provádění zkoušek jaderných zbraní a druhým jsou havárie jaderných elektráren.

1.3.1 Jaderné zbraně

Objevem radioaktivity a následným studiem a zkoumáním radioaktivních látek dospěla řada vědců k poznatku, že se energie získaná štěpením jader může využít nejen k ušlechtilým cílům. Zrodila se myšlenka sestavit jadernou zbraň.

Historie vývoje jaderných zbraní

V minulém, tedy 20. století, se objevily v souvislosti se dvěma světovými válkami nové – moderní zbraně hromadného ničení. Jednou z takových zbraní, jejíž sílu ukrývalo atomové jádro, byla jaderná zbraň. Vlastní název je vypovídající. V druhé světové válce existovala objednávka na takovou novou ničivou jadernou zbraň. Za tímto účelem byly shromážděny nejvýkonnější vědecké kapacity, vytvořeny téměř neomezené lidské, materiálové a finanční zdroje, aby mohla být vyvinuta a vyrobena. Všechny tehdejší světové mocnosti se intenzivně zabývali otázkou využití jaderné energie tímto způsobem. (8)

Vývoj jaderných zbraní nastartovalo nacistické Německo. Některé zdroje tvrdí, že Německo ve svém programu nazývaném „Uranový projekt“ původně ani nechtělo vyvíjet jadernou zbraň, ale pouze efektivně využít jadernou energii pro pohon válečných strojů. Německý jaderný výzkum se na sklonku druhé světové války nacházel v podstatě v počáteční fázi, neboť se neodvratně blížila porážka Německa. (8)

Vědci ve Velké Británii se ještě před začátkem druhé světové války rovněž zabývali problematikou využití jaderné energie ve formě zbraně. Vlášdu tato oblast

zajímala také, ale po vypuknutí války řešila naléhavější otázky. Později bylo vydáno prohlášení, že je možné jadernou zbraň sestrojít, ale nemůže být použita, aniž by nezabila velké množství civilního obyvatelstva. To se zpočátku zdálo Anglii nepřijatelným, ale obavy z možného německého útoku byly silnější. V roce 1940 byl tedy vytvořen vládní výbor, který sjednotil dosavadní britský výzkum v oblasti jaderné energie. Po sérii experimentů došel výbor k závěru, že je možné jadernou zbraň vyrobit a s její výrobou je nutné začít neprodleně, aby Británie nezaostávala zejména za Německem. Vývoj jaderné zbraně od počátku probíhal na bázi vědecké a technické anglicko-americké spolupráce. (8)

I ve Francii probíhaly výzkumy využití atomové energie pro vojenské účely již před druhou světovou válkou. Po začátku války upozornili francouzští vědci na možnost sestrojení jaderné zbraně velké ničivé síly. Za hlavní úkol považovali získat atomovou energii jako první a zabránit fašistům použití jaderné energie k výrobě atomové zbraně. V roce 1940 požádali Francouzi o pomoc při výzkumu britskou stranu. Netajili se skutečností, že odmítne-li USA a Velká Británie pozvat Francii k vývoji atomové bomby, požádají o spolupráci Rusko. Po německém útoku bylo rozhodnuto o evakuaci části vědeckého zařízení do Velké Británie, kde někteří francouzští vědci pokračovali ve výzkumu. S pádem Paříže se pařížská laboratoř dostala pod kontrolu německých úřadů, její ředitel byl opakovaně vyslýchán za účelem odhalení stavu francouzského jaderného výzkumu. Snaha německých úřadů byla neúspěšná, i navzdory nabídkám francouzskému vědci ke spolupráci. (8)

V souvislosti s nástupem fašismu v Evropě přijaly Spojené státy, díky svému ekonomickému potenciálu a velkému počtu univerzit, stovky evropských vědců včetně jaderných fyziků. Během několika let se tak Spojené státy staly světovým centrem přírodních věd. Právě evropští vědci si dobře uvědomovali vojenské aspekty jaderného výzkumu. Tímto výzkumem byla nejdříve pověřena Námořní výzkumná laboratoř ve Washingtonu, za účelem využití atomové energie pro pohon plavidel. V roce 1939 vydal Franklin Roosevelt příkaz k vypracování zprávy o perspektivách vojenského využití jaderné energie. Byla ustanovena Poradní komise pro uran tzv. Uranová komise, která předložila zprávu o reálnosti výroby jaderné zbraně. Do výzkumu a vývoje jaderné

zbraně se zapojila řada špičkových univerzitních pracovišť. Došlo také k prvním pokusům o navázání spolupráce s britskými vědci. V roce 1942 vznikl útvar Manhattan, kterým se celý projekt převedl pod vojenskou správu. Spojené státy získaly téměř polovinu tehdejších světových zásob uranové rudy na výrobu vojensky použitelného, vysoce obohaceného uranu. Objev plutonia učiněný v USA, nezávisle na, německých vědcích, patří mezi rozhodující zvraty ve vývoji jaderné zbraně, který se stal rychlejším a levnějším. Koncem června 1945 byla plutoniová bomba nazvaná Gadget připravena k závěrečné montáži a k ověření kritického množství jaderné výbušniny. Pro zkušební test Trinity byl vybrán prostor vojenské základny v polopoušti Jordana de Muerto nedaleko městečka Alamogordo, na území amerického státu Nové Mexiko. 16. července 1945 byla odpálena první atomová bomba v dějinách lidské existence. Dle údajů měřících přístrojů a pozorování dosáhla mohutnost jaderného výbuchu účinnosti odpovídající 20 tis. tunám běžně používané trhaviny trinitrotoluenu. Pro porovnání běžná bomba, které shazovaly britské bombardéry, obsahovaly maximálně 10 tun trinitrotoluenu. (8, 9)

Rusko, později Sovětský svaz, vytvořilo silné centrum teoretického výzkumu jaderné fyziky a jaderné energie. Výsledky tohoto výzkumu byli schopné konkurovat nejvyspělejšími zemím Západu. Už v roce 1911 se věnovali vědci studiu radioaktivních materiálů průzkumu zdrojů uranových run na Urale, Kavkazu a ve Střední Asii. Sovětská vláda rozhodla o zřízení komise pro řešení problémů atomové energie a v roce 1940 byla jmenována Uranová komise. V období druhé světové války se Rusko také zabývalo řešením problému spojených s válkou a činnost Uranové komise byla prozatímně přerušena. Zároveň však do Ruska pronikaly zprávy o jaderných výzkumech v ostatních mocnostech světa. V roce 1942 se uvažovalo o obnovení výzkumu jaderné energie a byl vydán rozkaz ruským rezidentům v New Yorku, Londýně a Berlíně k získávání informací o jaderných projektech v těchto zemích. V roce 1943 byla založena speciální laboratoř, která se stala centrem jaderného programu. V tomtéž roce byla obnovena činnost Uranové komise, ta zahájila geologický průzkum a ještě do skončení války objevila nová naleziště uranových nerostů. Řešili nejzákladnější vědecké a technologické problémy, jako výroba použitelného uranu a grafitu. Vývoj

pokračoval i po skončení druhé světové války. První zkoušku jaderné pumy uskutečnil SSSR 29. srpna 1949 a první pokus termojaderné zbraně 12. srpna 1953. (8, 9)

V roce 1941 oficiálně zahájily jaderný program letecké síly císařské japonské armády. Byl sestaven tým čítající více než sto mladých fyziků včetně dvou budoucích držitelů Nobelovy ceny. Stěžejní otázkou bylo, je-li vůbec možné jadernou energii využít pro vojenské účely, a pokud ano, je-li Japonsko schopné vyrobit použitelný prostředek ještě v průběhu války. Vzhledem k náročnosti úkolu a nedostatku finančních prostředků a lidských zdrojů nebylo reálné atomovou bombu vyrobit dříve jak za deset let. Navzdory tomu existují zprávy, že byl údajně uskutečněn japonský experimentální jaderný výbuch dne 10. srpna 1945 v severní části okupované Koreje. (8)

Zkoušky jaderných zbraní

Jak již bylo zmíněno, první zkouška jaderné zbraně byla provedena Američany 16. července 1945. Jednalo se o test, nikoliv o použití v boji. I když přípravy USA na vojenské použití nové zbraně začaly už v roce 1944, další pokusy, tentokrát už s určeným cílem zásahu a za účelem použití ve válce, na sebe nedaly dlouho čekat. Konstrukčně byly upraveny letouny, tak aby odpovídaly požadavkům k nesení jaderné bomby, aby byly schopny dosáhnout výšky 12 tis. metrů. Dále proběhl speciální výcvik pilotů, tak aby dokázali z výšky 10 tis. metrů svrhnout bombu na cíl s přesností 150 až 200 metrů a urychleně opustit místo výbuchu. Bylo vydáno doporučení, které obsahovalo tři základní body. Prvním bylo, použít bombu proti Japonsku co nejdříve, druhým použít bombu proti vojenskému objektu, třetí, že bomba má být svržena, aniž se předem upozorní na zvláštní povahu zbraně. Byla vybrána konkrétní města v Japonsku a bylo stanoveno datum na hlavní cíl město Hirošimu a náhradní Kokuru a Nagasaki. (8, 9)

Dle plánu dne 6. srpna 1945 vystartovaly bombardéry na všechny tři cíle, útok byl nakonec uskutečněn na město Hirošima bombou *Little Boy*. Po svržení první bomby bylo japonské území zaplaveno letáky, podložené popisem a fotografickou dokumentací následků bombardování, s výzvou ke kapitulaci. Spojené státy nečekaly na reakci japonské strany a dne 9. srpna 1945 došlo ke svržení druhé jaderné bomby *Fat Man* na

město Nagasaki. Jaderná exploze po svržení obou bomb byla totožná. Objevila se gigantická ohnivá koule, která se začala proměňovat v obrovský fialový sloup, stoupající do výšky několika kilometrů, ze kterého vyrostl hřib, typický pro jaderný výbuch. Následovalo obrovské utrpení obyvatel, velké množství zahynulo v okamžiku výbuchu a bylo sežehnuto nebo se doslova vypařilo, další pro kombinovaná zranění zemřeli po několika měsících, někteří se s trvalými následky dožili dnešní doby. (8)

Od roku 1945 až po současnost bylo provedeno velké množství pokusů jaderných zbraní. Do roku 2000 bylo oficiálně zaznamenáno celkem 2 056 jaderných pokusů. Jednalo se o pokusy jak na zemi, pod zemí, tak ve vodě (na moři, pod vodou) či ve vzduchu a ve vesmíru. Testy provedené na zemi a na moři se spolu se vzdušnými výbuchy považovaly, z hlediska jejich vlivu na okolí, za atmosférické. Atmosférické testy, na které připadá více než 25 % z celkového počtu, představovaly největší nebezpečí a hrozbu. Testování bylo zaměřeno především na zdokonalování konstrukce jaderné munice a nových nosných systémů. Předmětem pozorování následků jaderného výbuchu bylo zjišťování vlivu jaderných zbraní na bojovou techniku, opevnění, průmyslová i městská centra. Dále sledování účinku na morální odolnost vojsk, jejich fyzickou kondici a schopnost plnit bojové úkoly. V roce 1963 byla podepsána Spojenými státy Sovětským svazem a Velkou Británií smlouva o zákazu zkoušek jaderných zbraní v atmosféře, v kosmickém prostoru a pod vodou. (8)

1.3.2 Havárie jaderných elektráren

Jaderná energetika se začala rozvíjet v padesátých letech 20. století. V podstatě navazovala na jaderný výzkum spojený s vývojem jaderné zbraně. První jadernou elektrárnou na světě, která dodávala proud do sítě, byla jaderná elektrárna v Obninsku v bývalém SSSR a byla spuštěna 26. června 1954 (8). Jaderné elektrárny vyrábějí elektrickou energii z tepla, které je produkováno štěpením jader atomů těžkých prvků. Základním palivem jaderných elektráren je uran U-235. (10)

Existence jaderných elektráren dala vznik také haváriím na těchto zařízeních, a to z různých příčin. V roce 1990 vydala Mezinárodní agentura pro atomovou energii (anglická zkratka IAEA) spolu s Agenturou pro jadernou energii Organizace pro

ekonomickou spoluprací a rozvoj (anglická zkratka OECD/NEA) Mezinárodní stupnici hodnocení závažnosti jaderných událostí (INES – The International Nuclear Event Scale) (obrázek 1). Účelem vzniku bylo zjednodušit komunikaci mezi odborným nukleárním společenstvím, sdělovacími prostředky a veřejností v případech vzniku událostí na jaderných zařízeních, i při událostech spojených s radioaktivním materiálem nebo s radiací, včetně přepravy radioaktivních materiálů. Stupnice zařazuje události do sedmi stupňů, kdy stupně 1 až 3 se označují jako nehody, stupně 4 až 7 se označují jako havárie. Situace, které nemají žádný bezpečnostní význam, jsou klasifikovány stupněm 0 a nazývají se odchylky a situace, které nesouvisejí s bezpečností, jsou označovány jako události mimo stupnici. (8, 11)

Při jaderné havárii se do životního prostředí uvolňuje řada radionuklidů, mimo jiné i Cs-137. Na naše území měla největší vliv havárie jaderné elektrárny v Černobylu.



Obrázek 1: Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných událostí (INES - The International Nuclear Event Scale) (11)

Havárie jaderné elektrárny Černobyl

Elektrárna byla vybudována 2 km od města Pripjať, 18 km od města Černobyl, 16 km od hranic s Běloruskem a 110 km severně od Kyjeva (obrázek 2). Stavba elektrárny byla zahájena v roce 1971 a v roce 1983 byly uvedeny do provozu čtyři energobloky s urano–grafitovými reaktory chlazenými vodou. V době havárie produkovala elektrárna asi 10 % elektrické energie na Ukrajině. (8)



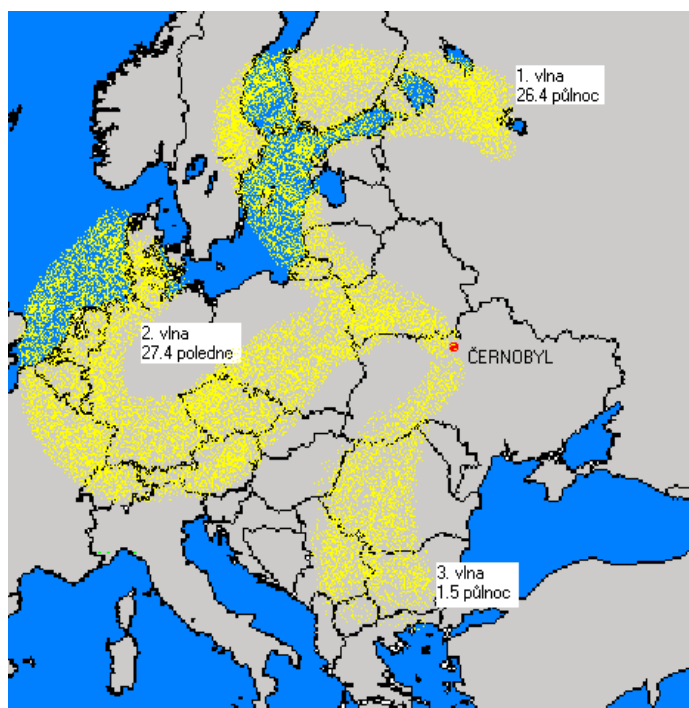
Obrázek 2: Černobyl na mapě Kyjevské oblasti (12)

K havárii na jaderné elektrárně Černobyl došlo 26. dubna 1986. Je charakterizována jako největší jaderná katastrofa v lidské historii (13). K havárii došlo v důsledku experimentu na 4. bloku, který měl ověřit, zda setrvačná energie roztáčející turbínu po havarijním přerušení dodávky páry, dokáže překlenout dobu potřebnou k nastartování záložních dieslových generátorů. Došlo k prudkému přehřátí paliva a praskl jeho ochranný obal paliva. (8)

Exploze, která roztrhla nádobu černobylského reaktoru a způsobila následný požár, který trval deset dnů, měla za následek rozsáhlý únik radioaktivních látek do životního prostředí. Nejen v blízkém okolí ohniska výbuchu, ale i ve vzdálených lokalitách (obrázek 3). Radioaktivní produkty výbuchu se atmosférou šířily do vzdálených oblastí, radioaktivní spad byl zaznamenán na území celé severní polokoule (14). Oblak z hořícího reaktoru vynesl nad velkou část evropského kontinentu radionuklidy vzácných plynů a radionuklidy především jódu a cesia. Radioaktivní jód I-131 s poločasem rozpadu 8 dní, který nejvíce zasahuje štítnou žlázu, se z větší části rozpadl v průběhu několika týdnů po havárii. Radioaktivní cesium Cs-137, s poločasem rozpadu přibližně 30 let, je v mnoha částech Evropy stále měřitelné v půdě a v některých potravinách. (13)

Havárie elektrárny v Černobyli se stala symbolem skutečné jaderné katastrofy. Dalekosáhlé následky na zdraví obyvatel, a to nejen v blízkém okolí elektrárny a dlouhodobý dopad na životní prostředí, je patrný na mnoha místech Evropy dodnes. (14)

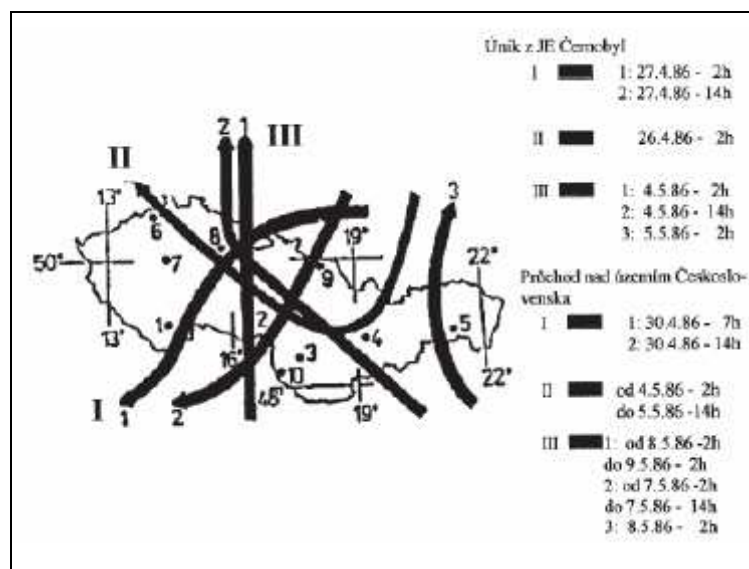
Stupeň ozáření byl vysoký co do počtu ozářených osob, tak z hlediska velikosti dávek záření. Dvě osoby zahynuly při explozi, několik desítek lidí, kteří se podíleli na likvidačních pracích bezprostředně po havárii, bylo zasaženo potencionálně smrtelnými dávkami. Vysokými dávkami bylo ozářeno 237 osob a u 134 z nich se projevíly příznaky akutní nemoci z ozáření, 28 z nich během tří následujících měsíců na nemoc z ozáření zemřelo (14). Skupinu, nejvíce zasaženou radiací, tvořili členové požární jednotky zasahující okamžitě po výbuchu (8). Přibližně 5 % ze 116 tis. osob, které byly evakuovány z pásma třiceti kilometrů kolem elektrárny, bylo ozářeno dávkou vyšší než 100 mSv. V letech 1986-1988 se na likvidaci následků havárie podílelo kolem 200 tis. osob, u nichž byla průměrná ekvivalentní dávka 100 mSv a u 10 % osob z tohoto počtu byla dávka 250 mSv. (14)



Obrázek 3: Atmosférický rozptyl radioaktivních látek po havárii v Černobylu (15)

Situace na území Československa po havárii jaderné elektrárny Černobyl

První záznamy o příchodu vzdušných kontaminovaných mas nad území tehdejšího Československa byly zachyceny v průběhu noci z 29. na 30. dubna 1986. Údaje byly získány v souvislosti s kontrolním měřením radiační situace, kterou běžně prováděly jaderné elektrárny v jednotlivých zemích. Byly zaznamenány celkem tři významné průchody, první právě v noci z 29. na 30. dubna 1986, druhý 3. a 4. května 1986 a třetí 7. května 1986 (obrázek 4). K výraznému poklesu aktivity v ovzduší došlo po přechodu posledních kontaminovaných mas po 10. květnu 1986. Následoval dlouhodobý trend poklesu objemové aktivity Cs-137 v ovzduší. (16)



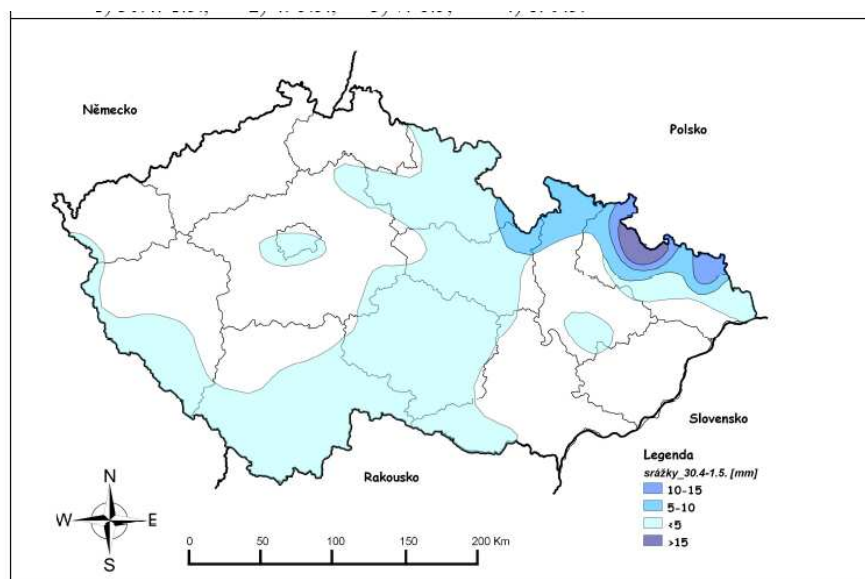
Obrázek 4: Průchod kontaminovaných mas nad územím ČSSR (16)

Krátce po havárii JE Černobyl se uskutečnil podrobný průzkum kontaminace svrchní vrstvy půdy na území ČR. Kontaminace území prostřednictvím spadu a distribuce Cs-137 a dalších radionuklidů byla značně nerovnoměrná, což bylo způsobeno především nerovnoměrností srážek při přechodu jednotlivých vzdušných mas (obrázek 5, 6, 7, 8). Vyšší hodnoty byly naměřeny v oblasti bývalého Severomoravského kraje a Jihočeského kraje. V období mezi 16. a 18. červnem 1986 byl proveden hlavní celostátní průzkum s cílem monitorovat spad a tedy i kontaminaci území celého státu. Místa pro odběr byla volena tak, aby co nejlépe vypovídala o distribuci radioaktivního spadu na území tehdejší ČSSR. (17).

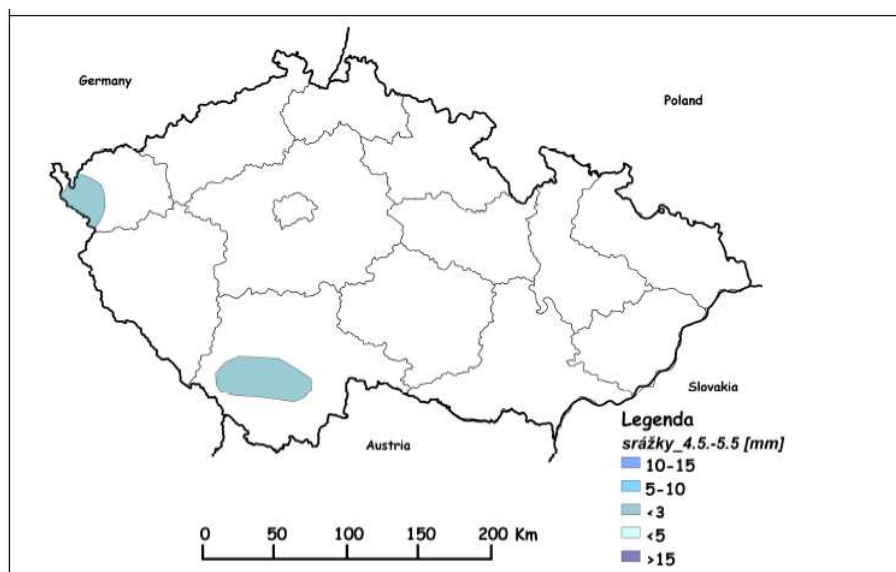
Byl sledován i obsah radionuklidů v potravinách aby se předcházelo, případně zamezilo možnému vnitřnímu ozáření. Ke kontaminaci území ČSSR došlo na začátku vegetačního období, kdy se teprve přecházelo na krmení zeleným krmivem. Hlavní pozornost byla soustředěna nejprve na sledování obsahu radionuklidů v mléce a mléčných produktech, jako největších zdrojů příjmu prostřednictvím potravinového řetězce. Bylo vybráno 25 mlékáren, více méně geograficky rovnoměrně rozložených na území ČSSR, jejichž produkce pokrývala 30 % veškeré přímé spotřeby mléka. V květnu, červnu a prosinci 1986 bylo provedeno několik celostátních průzkumů zahrnující všechny mlékárenské závody ve státě. Dále byly sledovány i další potraviny,

především ty, které byly z hlediska spotřeby nejvýznamnější, tedy zejména maso, obilniny, zelenina a ovoce. Průměrná hmotnostní aktivita Cs-137 v potravinách s občasným kolísáním více méně postupně klesala. Ve druhém roce po nehodě došlo k očekávanému nárůstu aktivity v důsledku použití krmiv kontaminovaných v roce 1986. (17)

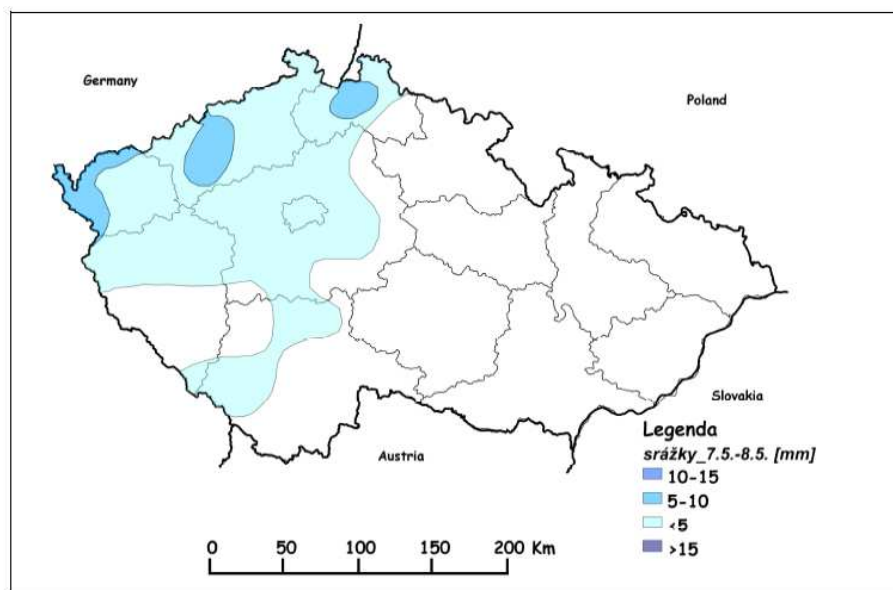
Od roku 1986 probíhá monitorování radiační situace. Jedná se o pravidelné sledování úrovně ionizujícího záření v okolním prostředí, měření obsahu umělých radionuklidů ve složkách životního prostředí a potravních řetězcích a sledování radioaktivity v lidském těle. Cílem monitorování je průběžné zjišťování radiační zátěže obyvatel způsobené inhalací a ingestcí umělých radionuklidů a zevním ozářením z okolního prostředí, ale i včasné zjištění odchylek hodnot monitorovaných veličin od dlouhodobých průměrů.



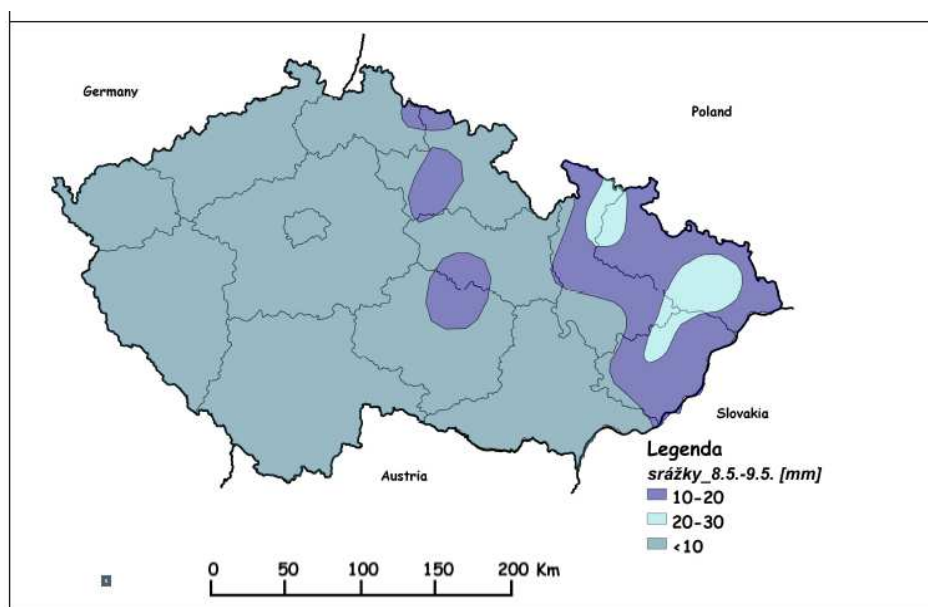
Obrázek 5: Velikost srážek na území ČR v době průchodu kontaminované vzdušiny po havárii JE v Černobylu v období 30.4.-1.5.1986 (17)



Obrázek 6 Velikost srážek na území ČR v době průchodu kontaminované vzdušiny po havárii JE v Černobyli v období 4.5.-5.5.1986 (17)



Obrázek 7: Velikost srážek na území ČR v době průchodu kontaminované vzdušiny po havárii JE v Černobyli v období 7.5.-8.5.1986 (17)



Obrázek 8: Velikost srážek na území ČR v době průchodu kontaminované vzdušiny po havárii JE v Černobylu v období 8.5.-9.5.1986 (17)

1.4 Lesní zvěř

Především vlivem radioaktivního spadu po havárii jaderné elektrárny v Černobylu byla kontaminována Cs-137 půda, potažmo celý lesní ekosystém. Konzumací lesních plodů, hub a ostatních komponentů se Cs-137 dostává do těl lesní zvěře a dále se může potravním řetězcem dostat do těla člověka.

1.4.1 Prase divoké (*Sus strofa*)

Prase divoké má zavalité tělo na nízkých bězích – nohách, klínovitě protáhlou hlavu zakončenou dlouhým ryjem – čumákem, krátký mohutný krk přechází ve snižující se hřbet, zakončený pírkem – ocasem. Na hlavě má krátké vzpřímené slechy – uši a malá světlá – oči. Tělo je pokryté štětinami nebo osinami, vytvářejícími na hřbetě tak zvaný hřeben. Zbarvení srsti je v letním období šedohnědé, v zimním období tmavé, selata jsou rezavá s podélnými bílými pruhy. Délka těla dospělých samců může dosahovat až 200 cm a výška v kohoutku 115 cm. Kňour – samec dosahuje hmotnosti 100-160-200 kg, bachyně – samice 70-110 kg. (18)

Prase divoké obývá značnou část Evropy, Asie a severní Afriky, vyjma severských oblastí a britských ostrovů. Na území našeho státu bylo prase divoké v 18. století ve volné přírodě zcela vyhubeno, byly zachovány pouze chovy v oborách. V polovině 20. století se začalo opět rozšiřovat a v současnosti se vyskytuje na celém našem území. Žije převážně v listnatých a smíšených lesích (porostech), kromě nejvyšších horských poloh a otevřených zemědělských krajín. (19)

Žije v tlupách složených z jedinců obou pohlaví a různého věku, starší kusy – kňouři bývají samotáři. Přes den setrvávají tlupy v úkrytech a za potravou vycházejí především v noci. Tlupy bývají velmi pohyblivé, především při putování za potravou. Za jedinou noc mohou urazit i několik desítek kilometrů. (18, 19)

Prase divoké je všežravec a jeho jídelníček je velmi rozmanitý. Živí se nadzemními i podzemními částmi rostlin, semeny lesních dřevin, drobnými živočichy jako je hmyz, žížaly, menší hlodavci a v neposlední řadě i uhynulými kusy ostatních zvířat. Při hledání potravy často způsobuje značné škody na zemědělských plodinách. (18, 19)

Doba lovu kňoura a bachyně je určena vyhláškou č. 245/2002 Sb., o době lovu jednotlivých druhů zvěře ve znění vyhlášky č. 343/2015 Sb., od 16. srpna do 31. prosince, sele a lončáka je možné lovit celoročně. Prase divoké není chráněným živočišným druhem. (19, 20)

1.4.2 Srnec obecný (*Capreolus capreolus*)

Srnec obecný je naší nejrozšířenější spárkatou zvěří (což znamená, že má na bězích – nohách spárky neboli kopýtko). Srnčí zvěř je typická velmi krátkým ocasem a oválným (u srnců) či okrouhlým (u srn) obřítkem – bíle zbarvená srst okolo řitního otvoru. Parůžky srnců mají jednoduchý tvar. Letní zbarvení srsti dospělého kusu je červenohnědé, zimní šedohnědé, srnčata jsou do věku svou měsíců skvrnitá. Délka těla je až 140 cm, ocasu přibližně 3 cm, výška v kohoutku je 90 cm a dosahují hmotnosti až 35 kg. (19)

Oblastí výskytu srnčí zvěře je téměř celá Evropa, Asie i severní Afrika. Dříve obýval srnec obecný především okraje stepí a lesostepí. Díky své přizpůsobivosti žije srnec obecný na různých stanovištích, v otevřené krajině s menšími křovinami a lesíky,

v obhospodařovaných zemědělských nížinatých krajinách, ale i v souvislých lesích v hornatých oblastech na celém našem území. (19)

Srnčí zvěř žije během léta většinou jednotlivě na poměrně malém území (2–3 ha), individuální teritorium označuje sekretem pachových žláz a příliš se z tohoto teritoria nevzdaluje. V zimě se kusy sdružují do větších tlup, které se často setrvávají v polní krajině. Mají velmi dobře vyvinutý čich a sluch, zrak mají slabší. (18, 19)

Srnec obecný je býložravec, spásá byliny, travní porosty, živý se pupeny, výhonky, plody a kůrou dřevin, ale nepohrdne ani zemědělskými plodinami. (18)

Doba lovu srnce - samce je dle vyhlášky č. 245/2002 Sb., o době lovu jednotlivých druhů zvěře ve znění vyhlášky č. 343/2015 Sb., určena na období od 16. května do 30. září, srny – samice a srnčata na období od 1. září do 31. prosince. U srnců souvisí doba lovu s dobou říje a u srn a srnčat s dobou březosti a péče o mláďata. Srnec obecný nepatří mezi chráněné živočišné druhy. (19, 20)

1.4.3 Daněk skvrnitý – evropský (*Dama dama*)

Tvarem těla připomíná daněk menšího jelena. V létě je zbarvení srsti červenohnědé s tmavším pruhem na hřbetě a s bílými skvrnami po těle, zimní srst je šedohnědá a skvrny nejsou příliš patrné. Obřítek je bělavý s tmavým lemováním a ocas je svrchu rovněž tmavý. Délka těla dosahuje až 150 cm, délka ocasu až 30 cm a výška v kohoutku je 110 cm a hmotnost je až 90 kg. Samice – daněly jsou menšího vzrůstu než samci, obecně váží. Daněk má typické paroží, u dospělých samců vytváří paroží charakteristické lopaty. (19)

Daněk pochází ze Středozeší a jihozápadní Asie, avšak v souvislosti s chovem v oborách a uměle vytvářenými populacemi je jeho současným působištěm velká část Evropy. Na našem území se daněk poprvé objevil v 15. století, kdy byla tato zvěř držena v oborách. Počátkem 17. století byli daňci vypuštěni poprvé do volné přírody. Daňčí zvěř vyhledává především teplejší oblasti s listnatými nebo smíšenými porosty do 500 m n. m. (19)

Žijí v rodinných tlupách samic a oddělených tlupách samců s výjimkou starších samců, kteří jsou samotáři. Jsou aktivní i ve dne, na rozdíl od jelení zvěře. (19)

Daněk skvrnitý – evropský je rovněž býložravec a jeho jídelníček zahrnuje byliny, různé druhy trav, výhonky a listy dřevin, dužnaté plody, ale i zemědělské plodiny. (19)

Doba lovu samce a samice je dle vyhlášky č. 245/2002 Sb., o době lovu jednotlivých druhů zvěře ve znění vyhlášky č. 343/2015 Sb., stanovena na období od 16. srpna do 31. prosince a daňčete od 16. srpna do 31. března. Tento druh není rovněž zvláště chráněn. (19, 20)

1.4.4 Liška obecná (*Vulpes vulpes*)

Patří mezi středně velké psovitě šelmy se štíhlým tělem na vyšších bězích. Má značně proměnlivé zbarvení srsti. Nejčastěji bývá rezavočervená se stříbrným nádechem. Další zajímavá, avšak méně obvyklá barva srsti, je tmavohnědý hřbet a černé břicho, takovému jedinci se říká uhlířka. Konec oháňky zvaný kvítek a prsní a břišní část jsou bílé. Délka těla je až 90 cm a huňatý ocas je dlouhý 50 cm, výška v kohoutku bývá 40 cm. Dospělý jedinec dosahuje hmotnosti 7-12 kg. Liška je značně ostražitá, což souvisí s dobře vyvinutým sluchem a čichem. (18, 19)

Liška obecná je nejpočetnější psovitou šelmou na našem území. Vyskytuje se ve všech nadmořských výškách od nížin po nejvyšší horské polohy. Nezřídka se objevuje i v městské zástavbě či průmyslových aglomeracích. (18, 19)

Žije samotářsky, přes den přespává v noře nebo podobných úkrytech. Aktivní je především ve večerních a nočních hodinách a jen v místech, kde má naprostý klid k lovu. (19)

Potravu lišky tvoří především drobní hlodavci, plazy, hmyz, měkkýši a různá rostlinná potrava. Požíráním slabé, poraněné nebo nemocné zvěře (zdechlin) plní v přírodě důležitou asanační funkci. V zimním období a v době péče o mláďata, kdy potřebuje značné množství masité potravy, loví ve větší míře i bažanty, zajíce, srnčata, kachny, ale i domácí drůbež, čímž může způsobit značné škody v chovech. (18, 19)

Doba lovu není omezena, dle vyhlášky č. 245/2002 Sb., o době lovu jednotlivých druhů zvěře ve znění vyhlášky č. 343/2015 Sb., se může lovit v průběhu celého kalendářního roku. Není chráněným druhem. (19, 20)

1.4.5 Zajíc polní (*Lepus europaeus*)

Má ochranné hnědošedé až rezavošedé zbarvení srsti na hřbetě, břicho má téměř bílé, pířko – ocas je svrchu černý, vespod bílý. Slechy – uši má delší než hlavu, dorůstají 12-14 cm a na koncích mají černé skvrny. Zadní běhy – nohy jsou delší než přední a tlapky jsou zesponu porostlé roztřepenými chlupy, které umožňují rychlý pohyb jak na hladkém povrchu, tak i v hlubokém sněhu. Tělo má dlouhé až 70 cm, ocas 7 cm a váží 3-4-7 kg. Ze smyslů má nejdokonalejší sluch, zrak má slabý, čichem se orientuje na kratší vzdálenosti a hmatovými vousy především v noci v husté trávě a na pěšinách. (18, 19)

Zajíc polní se vyskytuje téměř v celé Evropě, mimo severní Skandinávie, Islandu a Irska, nežije ani v jihozápadní Asii a severozápadní Africe. Na našem území je rozšířen všude, nejhojněji v nížinách, avšak rovněž v pahorkatinách, kde se střídají lesy a lesíky s remízky. (19)

Žije samotářsky převážně nočním životem. Ve dne odpočívá v neupraveném pelechu v mezi, křovinách nebo při kraji lesa a se soumrakem vyráží na pastvu. Pohybuje se v teritoriu o poloměru 1-3 km. V době páření vytvářejí větší skupinky, kde se samci zdržují poblíž samic a navzájem spolu bojují. V tomto období jsou aktivní i ve dne. (19)

V létě se zaječí zvěř živí zelenými částmi rostlin, zřídka různými hlízkami a kořínky. V zimním období, kdy je nedostatek šťavnaté potravy, konzumují zajíci suché části bylin a často okusují a ohryzávají kůru dřevin. Tak mohou způsobovat velké škody v lesních školkách, sadech a na vinicích. (19)

Zajíc patří stále mezi lovnou zvěř a doba lovu je určena vyhláškou č. 245/2002 Sb., o době lovu jednotlivých druhů zvěře ve znění vyhlášky č. 343/2015 Sb., od 1. listopadu do 31. prosince. I tento živočišný druh není zvláště chráněn. (19, 20)

1.5 Polovodičová spektrometrie gama

K určení radioaktivních prvků ve vzorku se používá polovodičová spektrometrie gama. Mechanismem přímého elektrického využití ionizačních účinků záření se polovodičový detektor svým principem podobá ionizační komoře, přičemž citlivým

médium není plyn, ale vhodný polovodičový materiál. Z elektronického hlediska je polovodičový detektor dioda zapojená v elektrickém obvodu s vysokým napětím (cca 1000–2000 V) přes velký ohmický odpor v závěrném (nevodivém) směru, to znamená, že v klidovém stavu, obvodem neprotéká elektrický proud. Vnikne-li do aktivní vrstvy detektoru kvantum ionizujícího záření, ionizační energie způsobí v polovodiči přeskok úměrného množství elektronů do vodivého pásma a vznik elektron-děrových párů. Tyto elektrony se v elektrickém poli okamžitě začnou pohybovat ke kladné elektrodě (a díry k záporné). Polovodičové detektory jsou zhotoveny většinou z monokrystalů germania, buď se stopovým množstvím lithia, tzv. drift – detektory Ge(Li), či nověji ze superčistého germania HPGe (*High Purity Ge*), nebo křemíku Si. (21)

Princip detekce záření polovodičovými detektory spočívá ve vlastnostech polovodivých materiálů, především germania a křemíku. Tyto materiály jsou vodivé pouze za předpokladu, že elektrony z valenčního pásu jsou energeticky vybudeny přes tzv. zakázaný pás do pásu vodivostního. Tam se mohou stát zápornými nosiči elektrického náboje. Nejvíce používaným polovodičovým detektorem pro detekci fotonů gama je detektor zhotovený z velmi čistého germania, tzv. HPGe detektor (High Purity). Detektor má podobnou strukturu jako polovodičová dioda. Celý detektor je i s nábojově citlivým předzesilovačem vakuově zapouzdřen a chlazen tekutým dusíkem, aby se tak zamezilo uvolnění elektronu v důsledku přijaté tepelné energie okolí detektoru. Na elektrodách je vnějším zdrojem vysokého napětí zajištěn potenciální spád řádově několik kV. (22)

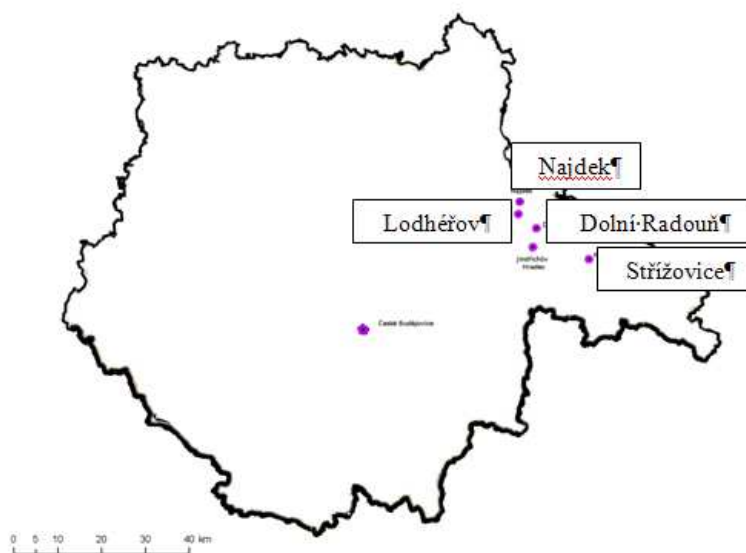
2 Výzkumná otázka a metodika výzkumu

2.1 Výzkumná otázka

Liší se obsah Cs-137 v závislosti na živočišném druhu?

2.2 Metodika výzkumu

Vzhledem k dostupnosti zkoumaných vzorků masa bylo lokalitou pro jejich získávání Jindřichohradecko. Konkrétně se jednalo o místa lovu v katastru obce Lodhěřov, Najdek, Dolní Radouň a Střížovice (obrázek 9). Vzorky byly odebrány z lovné zvěře ulovené v období od srpna 2014 do ledna 2016.



Obrázek 9: Mapa Jihočeského kraje s místy odběru vzorků

Zdroj:autor

Výběr druhu zvěře, ze kterého byl odebrán vzorek masa, byl předem stanoven – tedy prase divoké, srna obecná, daněk skvrnitý, zajíc polní a liška obecná. Výběr se řídil pravidly mysliveckého spolku a harmonogramem lovu daného druhu zvěře. To znamená, že dle vyhlášky č. 245/2002 Sb., o době lovu jednotlivých druhů zvěře ve znění vyhlášky č. 343/2015 Sb., je ustanoveno, kdy (ve kterém období – měsíci) je

možné určitý druh lesní zvěře ulovit. Dále sehrála roli i náhoda, protože myslivec nikdy předem nemůže vědět, jaké zvíře jej překvapí. Může se pouze domnívat, podle pravděpodobného počtu kusů daného druhu zvěře. Informace o počtu kusů daného druhu lesní zvěře vyplývá ze sčítání kusů, které se provádí jedenkrát za rok (v březnu) za denního světla. Počty však nejsou stoprocentně vypovídající, jelikož některé druhy, jako je například prase divoké, žije nočním životem a značně migruje. Za jedinou noc mohou urazit i několik desítek kilometrů.

Zkoumané vzorky, použité pro účely této práce, byly získány ze zvěře srstnaté, mají tedy tělo pokryté srstí. Ve všech případech se jednalo o savce, mláďata se vyvíjejí v těle samice (matky), rodí se živá a po narození do určitého vývojového stádia sají mléko od matky. (17)

2.2.1 Způsob získávání vzorků masa

Vzorky byly odebrány z legálně ulovených kusů lesní zvěře, které ulovili myslivci registrovaní v mysliveckém spolku, respektive ve dvou mysliveckých spolcích. Zúčastnění myslivci jsou majiteli legálně držených střelných zbraní z titulu vykonávání práva myslivosti, jsou držiteli odpovídajícího loveckého lístku dle ustanovení zákona č. 449/2001 Sb., o myslivosti a zbrojního průkazu dle ustanovení zákona č. 119/2002 Sb., o střelných zbraních a střelivu ve znění pozdějších předpisů. (23, 24)

2.2.2 Příprava vzorků masa

Odebrané vzorky přibližně o hmotnosti 500 g masa byly očištěny a připraveny pro umístění do měřících nádob, Marinelliho nádob (obrázek 10). Maso bylo nakrájeno na tenké plátky a vloženo do stěny měřící nádoby. Dva vzorky byly umístěny pouze do plastových sáčků. Poté byl každý vzorek zamražen a přepraven na Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Regionální centrum v Českých Budějovicích (dále jen SÚJB), za účelem změření obsahu Cs-137 pomocí spektrometrie gama.



Obrázek 10: Marinellino nádoby

Zdroj: autor

2.2.3 Přehled získaných vzorků masa

Celkem jsem bylo měřeno následujících 12 vzorků masa z divoké zvěře:

- 6 vzorků z prasete divokého (obrázek 11),
- 2 vzorky ze srnce obecného,
- 2 vzorky z lišky obecné (obrázek 12),
- 1 vzorek z daňka skvrnitého,
- 1 vzorek ze zajíce polního.



Obrázek 11: Vzorek č. 6

Zdroj: autor



Obrázek 12: Vzorek č. 5

Zdroj: autor

V tabulce 2 je uveden přehled všech vzorků masa z lesní zvěře, které byly k dispozici, včetně uvedení místa a data lovu daného kusu.

Tabulka 2: Přehled vzorků masa z divoké zvěře

vzorek č.	druh masa	datum lovu	lokalita	katastr
1	prase divoké	6.8.2014	Farský les	Lodhéřov
2	daněk skvrnitý	16.12.2014	Najdek	Najdek
3	srnec obecný	12.6.2015	Novothého louka	Dolní Radouň
4	srnec obecný	4.8.2015	Najdek	Najdek
5	liška obecná	16.8.2015	Mostečný	Lodhéřov
6	prase divoké	19.8.2015	Najdek	Najdek
7	liška obecná	23.11.2015	Na pastvinách	Dolní Radouň
8	zajíc obecný	23.11.2015	Na pastvinách	Dolní Radouň
9	prase divoké	21.12.2015	Najdek	Najdek
10	prase divoké	28.12.2016	Třešňovka	Lodhéřov
11	prase divoké	16.1.2016	Na Spálený	Střížovice
12	prase divoké	24.1.2016	Na pastvinách	Dolní Radouň

Zdroj: autor

2.2.4 Měření vzorků masa

Měření hmotnostní aktivity A bylo provedeno pomocí polovodičové spektrometrie gama na SÚJB Mgr. Jiřím Havránkem.

Byla změřena hmotností aktivita Cs-137 a dále byla změřena hmotnostní aktivita přírodního K-40, celkem v deseti vzorcích. Jeden vzorek masa z lišky obecné a jeden vzorek masa ze zajíce polního nebyly změřeny. Z důvodu poruchy chladicího zařízení, ve kterém byly vzorky na SÚJB uloženy, byly poškozeny do takové míry, že nebylo možné provést měření.

3 Výsledky

V následující kapitole jsou seřazeny a porovnány hodnoty naměřených hmotnostních aktivit u jednotlivých vzorků masa. V tabulce 3 je uveden přehled všech měřených vzorků a hodnoty hmotnostní aktivity Cs-137. Vedle hmotnostní aktivity Cs-137 byla měřena i hmotnostní aktivita K-40, jelikož se jedná o nejrozšířenější radionuklid v prostředí. Následují grafy, ze kterých jsou patrné rozdíly hmotnostní aktivity Cs-137 a hmotnostní aktivity K-40 v jednotlivých vzorcích. Hmotnostní aktivita je vyjádřena becquerelech na kilogram hmotnosti (Bq.kg^{-1}).

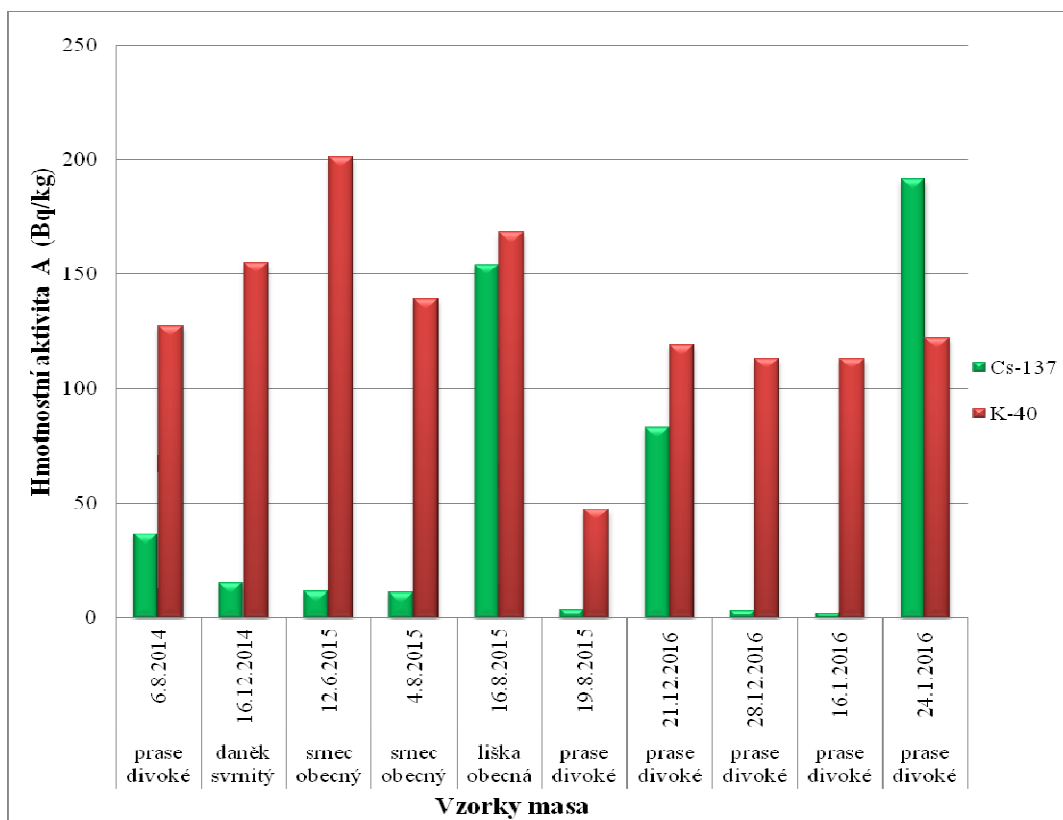
Tabulka 3: Přehled naměřených hodnot hmotnostní aktivity

Vzorek č.	Druh masa	A Cs-137 (Bq.kg^{-1})	Odchylka	A K-40 (Bq.kg^{-1})	Odchylka
1	prase divoké	36,7	1,87	127	6,74
2	daněk skvrnitý	15,1	0,783	155	8,1
3	srnec obecný	11,7	0,615	201	10,4
4	srnec obecný	11,3	0,598	139	7,35
5	liška obecná	154	7,72	168	8,79
6	prase divoké	3,51	0,196	47,4	2,58
7	liška obecná	neměřeno			
8	zajíc polní	neměřeno			
9	prase divoké	83,1	4,19	119	3,31
10	prase divoké	3,1	0,206	113	6,09
11	prase divoké	1,9	0,126	113	5,94
12	prase divoké	191	9,61	122	6,36

Zdroj: autor

3.1 Přehled hmotnostní aktivity všech vzorků

Výsledky hmotnostních aktivit Cs-137 a K-40 naměřených u všech vzorků z masa lesní zvěře jsou znázorněny v grafu 1. Podle zjištěných výsledků byla nejvyšší hmotnostní aktivita Cs-137 naměřena v mase prasete divokého, uloveného 24. ledna 2016 a sice ve výši 191 Bq.kg⁻¹. Nejnižší hodnota hmotnostní aktivity je rovněž v mase prasete divokého, uloveného 16. ledna 2016 a naměřeno bylo 1,9 Bq.kg⁻¹. Nejvyšší hmotnostní aktivita K-40 201 Bq.kg⁻¹ se projevila v mase srnce obecného uloveného dne 12. června 2015 a nejnižší hmotnostní aktivita K-40 47,4 Bq.kg⁻¹ byla změřena ve vzorku prasete divokého uloveného dne 19. srpna 2015. Hodnoty hmotnostní aktivity Cs-137 a K-40 u vzorku z masa lišky obecné ulovené 16. srpna 2015 byly téměř totožné.

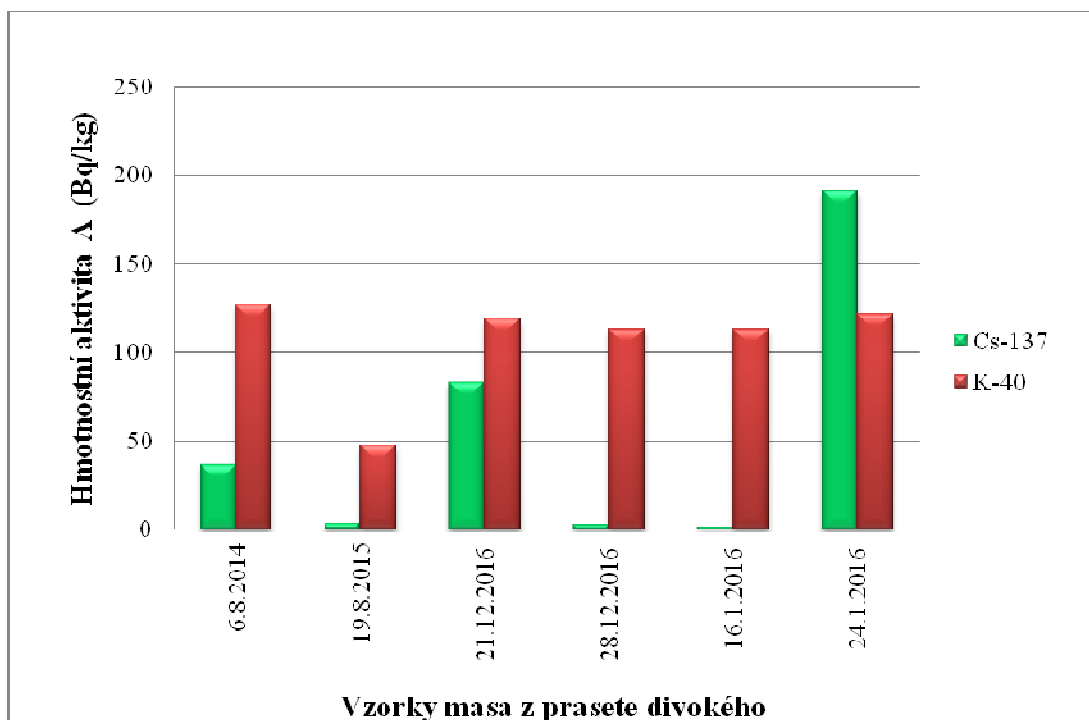


Graf 1: Hmotnostní aktivita Cs-137 a K-40 u všech vzorků zvěře

Zdroj: vlastní výzkum

3.2 Porovnání hmotnostní aktivity u vzorků masa s prasete divokého

Jak již bylo uvedeno, nejvíce vzorků bylo z masa prasete divokého (graf 2). V naměřených hodnotách je patrný značný rozdíl u hodnot hmotnostní aktivity Cs-137. Naměřené hodnoty hmotnostní aktivity K-40 jsou téměř totožné. Nejvyšší hmotnostní aktivitu Cs-137 191 Bq.kg^{-1} měl vzorek z prasete divokého uloveného dne 24. ledna 2016 a nejnižší $1,9 \text{ Bq.kg}^{-1}$ uloveného dne 16. ledna 2016.



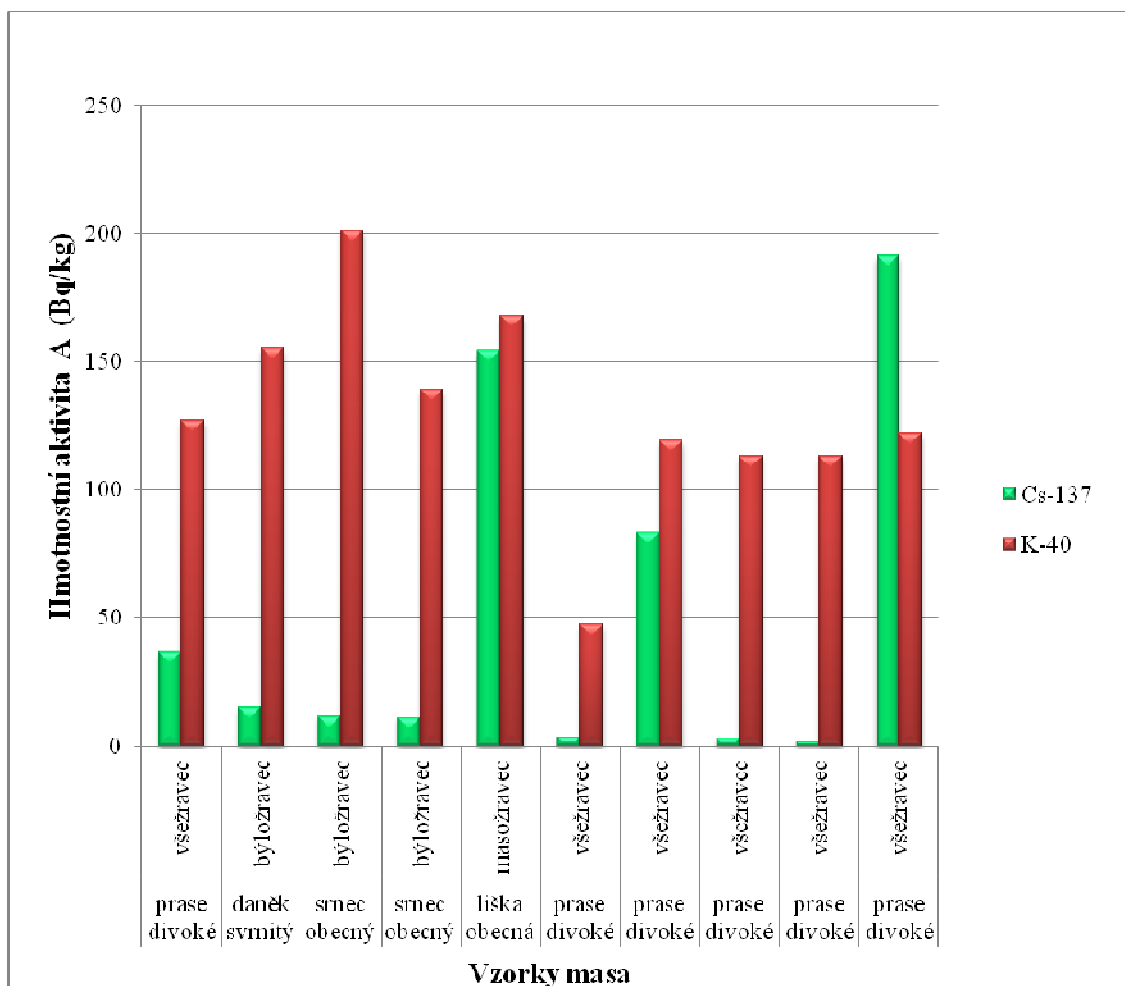
Graf 2: Hmotnostní aktivita Cs-137 a K-40 jen u prasete divokého

Zdroj: vlastní výzkum

3.3 Porovnání hmotnostní aktivity dle způsobu stravování lesní zvěře

Vzhledem k tomu, že dalším kritériem pro porovnávání výsledků měření by mohl být druh stravy, kterou konzumuje lesní zvěř, byla ulovená zvěř rozdělena na býložravce a všežravce. Z grafu 3 je patrné, že největší hmotnostní aktivita Cs-137 byla naměřena u vzorku od zástupce všežravců 191 Bq.kg^{-1} , nižší byla naměřena u masožravce 154 Bq.kg^{-1} , dále následovaly v různém pořadí všežravci a býložravci.

Hmotnostní aktivita K-40 byla nejvyšší u vzorku z býložravce 201 Bq.kg⁻¹, nižší byla u masožravce 168 Bq.kg⁻¹, další byly hodnoty naměřené u býložravců a nejnižší hodnoty hmotnostní aktivity K-40 měly vzorky z masa všežravců.



Graf 3: Hmotnostní aktivita Cs-137 a K-40 podle způsobu stravování lesní zvěře

Zdroj: vlastní výzkum

4 Diskuze

Obsah radionuklidů v lesní zvěři je úzce spojen s kontaminací lesního ekosystému umělými zdroji ionizujícího záření, jimiž byly zkoušky jaderných zbraní a havárie jaderné elektrárny Černobyl v roce 1986. Kontaminace prostředí, která vznikla po přechodu radioaktivních mraků (odcházejících z černobylské oblasti) přes velkou část evropského kontinentu, je na některých místech patrná dosud.

Jelikož poločas rozpadu Cs-137 je přibližně 30 let, přetrvá Cs-137 v půdě, ve vodě, ale i v ostatních produktech lesa rostlinného původu. Do těl lesní zvěře se dostává Cs-137 potravinovým řetězcem, právě konzumací nejrozličnějších komodit lesního ekosystému.

Zkoumané vzorky masa byly z několika druhů lesní zvěře. Kromě vzorku masa z lišky obecné se jednalo o vzorky, které může dále konzumovat člověk a tím může dojít ke kontaminaci. Měřením hmotnostní aktivity Cs-137 v jednotlivých vzorcích masa se potvrdilo, že se tento radionuklid v našem okolí stále nachází.

4.1 Vyhodnocení hmotnostní aktivity ve všech vzorcích

Pokud budeme porovnávat výsledky naměřených hodnot hmotnostní aktivity Cs-137 a K-40 (tabulka 3, graf 1), dojdeme k závěru, že naměřené hodnoty se liší. Jak mezi jednotlivými druhy lesní zvěře, tak i v rámci jednoho druhu. V některých případech je rozdíl značný, v některých je nepatrný. Tento stav vyplývá pravděpodobně z faktu, že lesní zvěř, především prase divoké, nesetrvává stále na jednom místě, ale migruje. Konzumuje potravu pocházející z různých lokalit na našem území, to znamená z různě kontaminovaných, ale i čistých území.

K této skutečnosti je nutné dodat, že v České republice jsou stále oblasti, kde je radioaktivního Cs-137 více. Nejvíce byly zasažené oblasti Novohradských hor, Králického Sněžníku, Orlických hor a Jeseníků. Tam byla podle celostátního monitorování tehdejší ČSSR, koncentrace černobylského radioaktivního spadu nejvyšší, jak uvádí Pavel Müller (25) z brněnské pobočky České geologické služby, která množství radioaktivních látek v půdě v těchto oblastech zkoumala. Na našem území už

není koncentrace Cs-137 alarmující, přesto je stále nutné zvažovat, jak nakládat s pozemky, na kterých byla naměřena vyšší koncentrace. Zda například na takových místech nechat pást dobytek.

4.2 Vyhodnocení hmotnostní aktivity ve vzorcích prasete divokého

V případech hmotnostní aktivity Cs-137 ve vzorcích masa z prasete divokého (viz graf 2), byly zjištěny tři případy blížíící se téměř nulovým hodnotám Bq.kg^{-1} , dále $36,7 \text{ Bq.kg}^{-1}$, $83,1 \text{ Bq.kg}^{-1}$ a nejvyšší hodnota hmotnostní aktivity byla 191 Bq.kg^{-1} . Jedná se opět o různorodé hodnoty, které jsou závislé na lokalitě výskytu či pobytu kusů a souvisejí i s potravou, kterou prasata divoká konzumují. Zmíněná nejvyšší naměřená hmotnostní aktivita 191 Bq.kg^{-1} byla naměřena u vzorku z prasete divokého lončáka (zhruba dva roky starého) uloveného dne 24. ledna 2016 na území katastru obce Dolní Radouň. Naopak hmotnostní aktivita $1,9 \text{ Bq.kg}^{-1}$, tedy stokrát méně, byla zjištěna u vzorku mladého prasete divokého (stáří necelý rok) uloveného na území katastru obce Střížovice dne 16. ledna 2016. Tuto skutečnost lze odůvodnit místem lovu a zejména stářím kusu. Vzdálenost mezi místy lovu těchto dvou prasat divokých byla totiž největší. Stáří ulovené lesní zvěře nebylo pro potřeby bakalářské práce zohledňováno, avšak v těchto dvou případech se jednalo skutečně o nejstarší a o jeden z nejmladších kusů.

V povrchové vrstvě půdy se deponují radionuklidy. Divočáci rozrývají půdu, která je na některých místech kontaminována, požírají její organické součásti a přes jejich maso se dostává Cs-137 do potravinového řetězce. Norma pro povolení konzumace zvěřiny je v rámci Evropské unie maximálně 600 Bq.kg^{-1} masa, stejnou hodnotu uvádí i vyhláška SÚJB č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně. Námi zjištěné hodnoty jsou poměrně nízké, v letech po Černobylu byly u divočáků naměřeny hodnoty až $3\,500 \text{ Bq.kg}^{-1}$. (25)

Ale i v dnešní době se objevují případy významně kontaminovaných kusů prasete divokého. Otázka kontaminace masa prasete divokého byla opět otevřena v souvislosti se zprávami z Německa, kde byl lov prasete divokého omezen právě pro vysoké hodnoty Cs-137. V oblastech přilehlých k Bavorskému lesu jsou ulovené kusy

monitorovány a překračuje-li hodnota hmotnostní aktivity 600 Bq.kg^{-1} jsou tyto kusy na státní náklady likvidovány. (26)

Nedávný případ kontaminace Cs-137 z masa prasete divokého byl odhalen 16. října 2015 v Jaderné elektrárně Temelín. Při průchodu radiačními kontrolními rámy u vstupu do elektrárny byla zaměstnanci externí firmy naměřena hodnota o několik řádů pod limity, které jsou stanoveny pro pracovníky elektrárny. Přesto se zjišťovalo, jak ke kontaminaci došlo. Příčinou byla pečeně z prasete divokého, které pocházelo ze Šumavy. Už v minulosti byla v Národním parku Šumava potvrzena nízká úroveň Cs-137 asi u třiceti kusů prasete divokého. Šetření tehdy ukázalo, že se jedná o pozůstatek havárie z Černobylu. Z tohoto důvodu jsou myslivci, kteří loví prasata divoká v rizikových oblastech, povinni nechat každý kus vyšetřit. (27)

V České republice tedy byla a je obsahu Cs-137 věnována pozornost. Dochází k namátkovému sceeningu prostřednictvím Státní veterinární správy. Pro konzumaci masa z prasete divokého je dodržována již zmíněná hodnota 600 Bq.kg^{-1} .(28)

4.3 Vyhodnocení hmotnostní aktivity dle druhu konzumované potravy lesní zvěří

Jak již bylo uvedeno, naměřené hodnoty hmotnostní aktivity byly porovnávány také z hlediska způsobu konzumace potravy lesní zvěří (graf 3). Konstantní hodnoty Cs-137 a K-40 byly naměřeny u býložravců. Nízké hodnoty hmotnostní aktivity Cs-137 a vyšší hodnoty hmotnostní aktivity K-40. Nižší hodnoty Cs-137 lze vysvětlit faktem, že býložravec neryje v zemi, ale požívá svrchní části rostlin. U všežravců hodnoty hmotnostních aktivit kolísaly a byly velmi rozdílné, což může souviset s konzumací potravy a přesuny divoké zvěře v prostředí.

Z výše popsaného tedy vyplývá, že různé hodnoty hmotnostních aktivit u zástupců různých druhů lesní zvěře, stejně jako i mezi zástupci jednotlivých druhů jsou závislé na dvou hlavních faktorech. Především na lokalitě, kde se dané kusy vyskytují, případně kudy migrují. To znamená, žijí-li v oblasti, kde byla zvýšená míra kontaminace, nebo žijí-li na území bez jakéhokoliv znečištění. S tím je úzce spojen druhý faktor, kterým je způsob a druh konzumované potravy. Jde-li o býložravce, masožravce, či všežravce.

Že má potrava lesní zvěře vliv na hodnotu hmotnostní aktivity Cs-137 v jejich těle potvrzuje i fakt, že prase divoké je konzumentem houby jelenky obecné. Tato houba má vysokou schopnost absorbovat C-137, normálně se nesbírá. Roste pod zemí, prasata divoká ji vyrývají. (28)

4.4 Výpočet úvazku efektivní dávky

Jak již bylo zmíněno, maso ulovené lesní zvěře může způsobit kontaminaci osob konzumujících tento druh potravy. Proto bude ze zjištěných výsledků proveden výpočet úvazku efektivní dávky k posouzení míry možné kontaminace.

Ze statistických údajů z roku 2012 bylo zjištěno, že průměrná spotřeba masa z lesní zvěře je 0,7 kg na dospělou osobu za kalendářní rok (viz tabulka 4). Na základě vlastní zkušenosti je možné konstatovat, že spotřeba masa z lesní zvěře může být různá, v naší rodině je přibližně 7,2 kg na dospělou osobu za kalendářní rok. Z tohoto důvodu byl vypočítán úvazek efektivní dávky pro spotřebu 0,7 kg a 7,2 kg za rok.

Tabulka 4: Vývoj celkové spotřeby masa v ČR (kg) na jednoho obyvatele za rok (29)

rok	1936	1950	1970	1990	2000	2011
spotřeba celkem (kg)	38,1	48,6	77,3	90,3	79,4	78,6
hovězí	15,2	15	26,2	28	12,3	9,1
telecí	3,1	3	2,1	0,4	0,2	0,1
vepřové	14,6	25,1	36,5	50	40,9	42,1
skopové, kozí a koňské	0,7	0,7	0,5	0,6	0,3	0,4
drůbež	2,2	2,4	7,7	13,6	22,3	24,5
zvěřina	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,7
králiči	-	-	3,8	3,4	3	1,8
ryby	2,1	3,5	6	5,4	5,4	5,4

Z tabulky 3 byl vybrán vzorek s nejvyšší hodnotou hmotnostní aktivity Cs-137, tedy vzorek z prasete divokého uloveného dne 24. ledna 2016 s hodnotou 191 Bq.kg⁻¹. Dále byl zjištěn z vyhlášky SÚJB č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně konverzní faktor

h_{ing} (příjem radionuklidů požitím) potřebný pro přepočítání příjmu radionuklidu Cs-137.
(30)

Souhrn údajů potřebných pro výpočet:

konverzní faktor h_{ing} (Cs-137) – $1,3 \times 10^{-8} \text{ Sv.Bq}^{-1}$
naměřená hmotnostní aktivita Cs-137 – 191 Bq.kg^{-1} .
spotřeba masa z divoké zvěře – 0,7 kg a 7,2 kg

Výpočet pro roční spotřebu 0,7 kg masa:

$$E = 1,3 \times 10^{-8} \text{ Sv.Bq}^{-1} \times 0,7 \text{ kg} \times 191 \text{ Bq.kg}^{-1} = 173,81 \times 10^{-8} \text{ Sv} = 0,0017 \text{ mSv}$$

Výpočet pro roční spotřebu 7,2 kg masa:

$$E = 1,3 \times 10^{-8} \text{ Sv.Bq}^{-1} \times 7,2 \text{ kg} \times 191 \text{ Bq.kg}^{-1} = 1\,787,76 \times 10^{-8} \text{ Sv} = 0,018 \text{ mSv}$$

Z výsledků je patrné, že pokud bude konzumace za kalendářní rok celkem ve výši 0,7 kg, dosáhne úvazek efektivní dávky hodnotu 0,0017 mSv. Bude-li konzumace masa za kalendářní rok celkem ve výši 7,2 kg, dosáhne úvazek efektivní dávky 0,018 mSv. Ve vyhlášce SÚJB č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně je stanoven obecný limit pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření ve výši 1 mSv za kalendářní rok. Výpočtem tedy bylo zjištěno, že dávka způsobená konzumací masa z lesní zvěře s danou hodnotou hmotnostní aktivity Cs-137 zdaleka nedosahuje uvedené hodnoty. Konzumace masa z lesní zvěře může být tedy z hlediska obdržené dávky považována za bezpečnou a významně nepřispívá k radiační zátěži obyvatelstva.

Srovnáme-li vypočítané hodnoty s dávkami, které člověk obdrží při lékařských vyšetřeních jako například rentgenovém vyšetření vnitřních orgánů (pro oblast břicha 0,6 mSv) nebo CT vyšetření v oblasti břicha a pánve (10 mSv) nebo s průměrnou hodnotou efektivní dávky za rok z přírodních zdrojů v ČR (3,4 mSv) (31), jsou vypočítané dávky zanedbatelné

4.5 Zhodnocení výzkumné otázky

V rámci bakalářské práce byla hledána odpověď na otázku: Liší se obsah Cs-137 v závislosti na živočišném druhu?

Na základě výsledků měření je možné konstatovat, že obsah Cs-137 se v závislosti na živočišném druhu skutečně liší.

5 Závěr

Při zkouškách jaderných zbraní a při haváriích jaderných elektráren jsou do prostředí uvolňovány radionuklidy, které mohou mít značný vliv na kontaminaci masa lesní zvěře. Do těla lesní zvěře se tedy radionuklidy dostanou konzumací kontaminovaných komodit, jako jsou lesní plody, houby, lišejníky a podobně. Potravním řetězcem se dále mohou dostat do těla člověka.

Cílem bakalářské práce bylo stanovit obsah Cs-137 v různých druzích lesní zvěře a naměřené hodnoty mezi sebou porovnat. U vzorků byl stanovován obsah Cs-137 pomocí gamaspektrometrie a pro porovnání také obsah K-40. Cíl bakalářské práce byl tedy splněn.

Naměřené hodnoty hmotnostní aktivity Cs-137 se pohybovaly v rozmezí od $1,9 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $191 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ a v obou případech se jednalo o vzorek masa z prasete divokého. Hodnoty hmotnostní aktivity K-40 byly v rozmezí od $47,4 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ do $201 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, kdy nejnižší hodnota patřila vzorku masa z prasete divokého a nejvyšší hodnota vzorku masa ze srnce obecného. Hodnota hmotnostní aktivity u žádného vzorku nepřekročila povolený limit $600 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, který je stanoven ve vyhlášce č. 307/2002 Sb. Z naměřených hodnot tedy vyplývá odpověď na výzkumnou otázku, že obsah Cs-137 v jednotlivých druzích lesní zvěře se skutečně liší.

Na závěr byl vypočítán úvazek efektivní dávky Cs-137 pro roční spotřebu masa z lesní zvěře. Výpočtem s použitím nejvyšší naměřené hmotnostní aktivity Cs-137 ve vzorku masa z prasete divokého bylo potvrzeno, že tato dávka je z hlediska kontaminace obyvatelstva zanedbatelná. Z naměřených hodnot je patrné, že konzumací masa z lesní zvěře nedochází k významnému vnitřnímu ozáření obyvatelstva, jak v souvislosti s hodnotami naměřenými ve vzorcích, tak s množstvím spotřebovaného masa z lesní zvěře.

6 Seznam informačních zdrojů

- (1) KOLEKTIV AUTORŮ: *Radiobiologie*. [online] 2014 [cit. 2016-01-15]. Dostupné z WWW: <http://fbmi.sirdik.org/>
- (2) VACÍK, Jiří. *Přehled středoškolské chemie*. 2. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1993. Kostka (Státní pedagogické nakladatelství). ISBN 80-04-26388-7.
- (3) KLENER, Vladislav (ed.). *Principy a praxe radiační ochrany*. 1. vyd. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2000. ISBN 80-238-3703-6.
- (4) Doporučené radiační váhové faktory dle ICRP 103: In: ICRP Publication 103[online].[cit.2016-04-16]. Dostupné z WWW: <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRPPublication103>
- (5) KUNA, Pavel a Leoš NAVRÁTIL. *Klinická radiobiologie*. 1. vyd. Praha: Manus, 2005. ISBN 80-86571-09-2.
- (6) Cesium. *Periodická tabulka* [online]. 2012 [cit. 2016-03-19]. Dostupné z: WWW <http://www.prvky.com/55.html>
- (7) Draslík. *Periodická tabulka* [online]. 2012 [cit. 2016-03-19]. Dostupné z: WWW z: <http://www.prvky.com/55.html>
- (8) PITSCHMANN, Vladimír. *Jaderné zbraně: nejvyšší forma zabíjení*. 1. vyd. Praha: Naše vojsko, 2005. Historie a vojenství. ISBN 80-206-0784-6.
- (9) MATOUŠEK, Jiří, Jan ÖSTERREICHER a Petr LINHART. *CBRN: jaderné zbraně a radiologické materiály*. 1. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2007. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-029-6.
- (10) *Jaderná energetika, životní prostředí a člověk: z anglického originálu "Nuclear Power, Environment and Man"*. v ÚSTŘEDNÍM INFORMAČNÍM STŘEDISKU PRO ATOMOVOU ENERGIÍ: Československá komise pro atomovou energii, 1986.

- (11) Obecná informace o stupnici INES. In: *Státní úřad pro jadernou bezpečnost* [online]. 2008 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z WWW: <https://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/ines/stupnice-ines/>
- (12) MICHAJLOV. *Černobyl na mapě Kyjevské oblasti*[online]. [cit. 2016-04-16]. Dostupné z WWW: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Cernobyl>
- (13) *Dědictví Černobylu: zdravotní, ekologické a sociálně ekonomické dopady: a, Doporučení vládám Běloruska, Ruské federace a Ukrajiny*. 1. vyd. Praha: ČSVTS, 2006. ISBN 80-02-01806-0.
- (14) HÁLA, Jiří. *Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie*. 1. vyd. Brno: Konvoj, 1998. ISBN 80-85615-56-8.
- (15) KOSTKA, Tomáš. *Havárie v jaderné elektrárně ČERNOBYL* [online]. [cit. 2016-04-16]. Dostupné z WWW: <http://chernobyl.euweb.cz/>
- (16) HŮLKA, Jiří a Irena MALÁTOVÁ. Radiační situace v České republice, přehled hlavních výsledků měření a opatření. In: *Státní ústav radiační ochrany Praha* [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: WWW https://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/radiacni_situace_v_cr_po_cernobylu.pdf
- (17) RULÍK, Petr a Jan HELEBRANT. Mapa kontaminace půdy České republiky 137-Cs po havárii JE Černobyl. In: *Státní ústav radiační ochrany* [online]. 2011 [cit. 2016-04-21]. Dostupné z WWW: <https://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/plosna-aktivita-radionuklidu-zjistena-ve-vzorcich-odebranych-pud>
- (18) HROMAS, Josef. *Myslivost*. Ilustrace Lubomír Dědek. Praha: Českomoravská myslivecká jednota, 2000. Učebnice (Matice lesnická). ISBN 80-86271-04-8.
- (19) ČERVENÝ, Jaroslav. *Encyklopedie myslivosti*. Vyd. 1. Praha: Ottovo nakladatelství v divizi Cesty, 2004. ISBN 80-7181-901-8.
- (20) *Vyhláška č. 245/2002 Sb., o době lovu jednotlivých druhů zvěře*, 2002. In: Sbíрка zákonů České republiky, částka 52, s. 5216-5217, ve znění vyhlášky č. 343/2015 Sb., 2015. In: Sbíрка zákonů České republiky, částka 145, s. 4546.
- (21) ULLMANN, Vojtěch. 2. *Detekce a spektrometrie ionizujícího záření* [online]. [cit. 2016-04-23]. Dostupné z WWW: <http://astronuklfyzika.cz/DetekceSpektrometrie.htm>

- (22) MATZNER, Jan. *Praktika z dozimetrie*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zdravotně sociální fakulta, 2004. ISBN 80-7040-707-7.
- (23) *Zákon č. 449/2001 Sb., o myslivosti*, v platném znění, 2001. In: Sbírnka zákonů České republiky, částka 168, s. 9747-9770.
- (24) *Zákon č. 119/2002 Sb., o střelných zbraních a střelivu*, v platném znění, 2002. In: Sbírnka zákonů České republiky, částka 52, s. 3038-3070.
- (25) BŘEŠŤAN, Robert. Pozůstatky černobylské katastrofy: Radioaktivita je stále v nás. In: *Ekonom* [online]. 2011 [cit. 2016-04-23]. Dostupné z WWW: <http://ekonom.ihned.cz/c1-51632260-pozustatky-cernobylske-katastrofy-radioaktivita-je-stale-v-nas>
- (26) Problematika kontaminace prasete divokého v ČR. In: *Státní úřad pro jadernou bezpečnost* [online]. 2012 [cit. 2016-04-23]. Dostupné z WWW: <https://www.suro.cz/cz/publikace/aktuality/problematika-kontaminace-prasete-divokeho-v-cr-1>
- (27) VÁCHA, Vladimír. Černobyl stále škodí, šumavští divoáci v sobě mají radioaktivní cesium. In: *Novinky.cz* [online]. 2012 [cit. 2016-04-23]. Dostupné z WWW: <http://www.novinky.cz/domaci/287351-cernobyl-stale-skodi-sumavsti-divocaci-v-sobe-maji-radioaktivni-cesium.html>
- (28) VENTUROVÁ, Jitka a Vojtěch LOSKOT. Radioaktivní kanci žijí i v Česku. In: *IDNES.cz* [online]. 2014 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z WWW: <http://zpravy.idnes.cz/radioaktivniho-kanciho-ze-sumavy-se-bat-nemusime-ujistil-odbornik>
- (29) RYSOVÁ, Lucie. Spotřeba masa v ČR. In: *AGROPRESS.CZ* [online]. 2015 [cit. 2016-04-23]. Dostupné z WWW: <http://agropress.cz/spotreba-masa-v-cr/>
- (30) *Vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně*, v platném znění, 2002. In: Sbírnka zákonů České republiky, částka 113, s. 6362-6544.
- (31) Stručný přehled biologických účinků záření. In: *Státní úřad pro jadernou bezpečnost* [online] Dostupné z WWW: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/imgs/aktualne/Davky_a_limity_CR.png

7 Seznam tabulek

Tabulka 1: Doporučené radiační váhové faktory dle ICRP 103 (4)	17
Tabulka 2: Přehled vzorků masa z divoké zvěře	43
Tabulka 3: Přehled naměřených hodnot hmotnostní aktivity	44
Tabulka 4: Vývoj celkové spotřeby masa v ČR (kg) na jednoho obyvatele za rok (29)	51

8 Seznam obrázků

Obrázek 1: Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných událostí (INES - The International Nuclear Event Scale) (11)	26
Obrázek 2: Černobyl na mapě Kyjevské oblasti (12)	27
Obrázek 3: Atmosférický rozptyl radioaktivních látek po havárii v Černobylu (15).....	29
Obrázek 4: Průchod kontaminovaných mas nad územím ČSSR (16)	30
Obrázek 5: Velikost srážek na území ČR v době průchodu kontaminované vzdušiny po havárii JE v Černobylu v období 30.4.-1.5.1986 (17)	31
Obrázek 6 Velikost srážek na území ČR v době průchodu kontaminované vzdušiny po havárii JE v Černobylu v období 4.5.-5.5.1986 (17)	32
Obrázek 7: Velikost srážek na území ČR v době průchodu kontaminované vzdušiny po havárii JE v Černobylu v období 7.5-8.5.1986 (17)	32
Obrázek 8: Velikost srážek na území ČR v době průchodu kontaminované vzdušiny po havárii JE v Černobylu v období 8.5-9.5.1986 (17)	33
Obrázek 9: Mapa Jihočeského kraje s místy odběru vzorků	39
Obrázek 10: Marinellino nádoby	41
Obrázek 11: Vzorek č. 6	42
Obrázek 12: Vzorek č. 5	42

9 Seznam grafů

Graf 1: Hmotnostní aktivita Cs-137 a K-40 u všech vzorků zvěře.....	45
Graf 2: Hmotnostní aktivita Cs-137 a K-40 jen u prasete divokého	46
Graf 3: Hmotnostní aktivita Cs-137 a K-40 podle způsobu stravování lesní zvěře	47