

**Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava  
Hornicko-geologická fakulta  
INSTITUT ENVIRONMENTÁLNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

# **Současná černobylská radioaktivita vybraných rostlin a hub na území Moravskoslezského kraje**

**Current chernobyl radioactivity of selected plants and mushrooms in the MS region**

diplomová práce

**Autor:**

**Bc. Petra Količová**

**Vedoucí diplomové práce:**

**Mgr. Petr Jandačka, Ph.D.**

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Hornicko-geologická fakulta  
Institut environmentálního inženýrství

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petra Količová**  
Studijní program: N2102 Nerostné suroviny  
Studijní obor: 3904T022 Zpracování a zneškodňování odpadů  
Téma: **Současná černobylská radioaktivita vybraných rostlin a hub na území  
Moravskoslezského kraje**  
**Current Chernobyl Radioactivity of Selected Plants and Mushrooms in  
the MS Region**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíl diplomové práce
2. Teoretická část
  - 2.1. Černobylská havárie, šíření a složení radioaktivního mraku, základy jaderné fyziky.
3. Experimentální část
  - 3.1. Popis měřených rostlin a hub
  - 3.2. Metoda měření radioaktivity
  - 3.3. Vlastní výsledky měření
4. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:


1. MECHLOVÁ, E, KOŠTÁL, K. Výkladový slovník fyziky pro základní vysokoškolský kurz. Prometheus, Praha 1999.
2. KALAC, P. A review of edible mushroom radioactivity. Food Chemistry 75 (2001) 29–35.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Mgr. Petr Jandačka, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2011

Datum odevzdání: 30.04.2012



prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.  
vedoucí institutu



prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.  
děkan fakulty

## Prohlášení

Celou diplomovou práci včetně příloh jsem vypracovala samostatně a uvedla všechny použité podklady a literaturu. Ve své programové aplikaci jsem použila pramenů uvedených v bibliografii.

- Byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 18.04.2012

.....

Petra Količová

## **Poděkování**

Především bych chtěla poděkovat vedoucímu diplomové práce panu Mgr. Petru Jandačkovi, Ph.D. za vedení při zpracování mé diplomové práce. Za ochotu a pomoc při měření a vyhodnocení výsledků děkuji Doc. Dr. RNDr. Petru Alexovi, Mgr. Radimu Uhláři, Ph.D. Dále bych ráda poděkovala panu doc. Ing. Vladimíru Čablíkovi, Ph.D. za praktické rady, které nám poskytoval během celého semestru. Panu RNDr. Janu Borovičkovi, Ph.D. děkuji za poskytnutí potřebných informací k problematice radioaktivity hub a mykologům paní Ing. Heleně Deckerové a panu RNDr. Vítu Balnerovi za pomoc při určování hub. V neposlední řadě děkuji zaměstnancům dílny Institutu fyziky VŠB – TU Ostrava.

## **Anotace**

Práce se zabývá radioaktivitou vybraných druhů hub, mechu a půdy na území Moravskoslezského kraje po 26 letech od jaderné havárie v Černobyli. Pro sběr vzorků byly vybrány rozdílné lokality z Opavska a Beskyd. V práci je popsána příprava vzorků lisováním do tablet pro měření v germániovém polovodičovém detektoru. Jednotlivé vzorky biologického materiálu byly vyhodnoceny na základě vypočítaných relativních hmotnostních aktivit. Porovnávány byly vzorky jednotlivých částí hub, mechu a půdy v rámci každé lokality i navzájem mezi lokalitami. Měření potvrdila, že izotopy  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{137}\text{Cs}$  jsou i v roce 2012 přítomny v životním prostředí sledovaných lokalit. Z porovnání vzorků vyplývá, že výrazně více zamořená je lokalita na Opavsku. Z biologických materiálů obsahuje nejvíce izotopů cesia suchohřib hnědý (*Xerocomus badius*).

## **Klíčová slova**

Radioaktivita, havárie jaderné elektrárny Černobyl, izotopy  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{137}\text{Cs}$ , houby, půdy, mech.

## **Summary**

The dissertation deal with radioactivity of varios kinds of fungus, moss and soil on the territory of Moravskoslezský region after 26 years since nuclear accident in Chernobyl. Sampling was made in various areas of Opavsko and Beskydy. In the dissertation is described preparation of samples, their pressing to tablets for gauging in germanium semi - conductor detector. The individual samples of biological material were appraised on the base of relative mass activity. Each sample was compared for each locality. The gauging confirmed that isotopes  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  are attend in environment of studied localities in present 2012. The most contaminate is the locality of Opavsko. According to gauging *Xerocomus badius* contain the most isotopes of cesia.

## **Keywords**

Radioactivity, Chernobyl accident, isotopes  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$ , mushrooms, soil, moss.

## Obsah

Prohlášení.....	2
Prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Anotace.....	5
Klíčová slova.....	5
Summary.....	5
Keywords.....	5
1. Úvod a cíl práce.....	1
1.1 Úvod.....	1
1.2 Cíl práce.....	1
2. Teoretická část.....	2
2.1 Základní pojmy a poznatky jaderné fyziky.....	2
2.2 Cesium.....	16
2.2.1 Fyzikální a chemické vlastnosti, výskyt.....	16
2.2.2 Výroba a použití.....	16
2.2.3 Izotopy cesia.....	17
2.2.4 Kontaminace organismu cesiem.....	17
2.3 Houby, půdy, mechy.....	18
2.3.1 Houby.....	19
2.3.2 Půdy.....	20
2.3.3 Mechy.....	20
2.3.4 Radioaktivita rostlin.....	20
2.4 Popis černobylské jaderné havárie.....	21
2.4.1 Příčiny vzniku havárie.....	21
2.4.2 Průběh jaderné havárie.....	21
2.4.3 Složení a šíření radioaktivního mraku.....	22
2.5 Příčiny spadu radioaktivity na Opavsku a v Beskydech.....	27
3. Experimentální část.....	29
3.1 Metoda práce.....	29
3.1.1 Lokality.....	29
3.1.2 Materiál.....	30
3.1.3 Odběr materiálu.....	34
3.1.4 Příprava vzorků.....	34
3.1.5 Popis měřicího přístroje.....	42
3.2 Vyhodnocení výsledků.....	45
3.2.1 Tabulky, výpočty, graf.....	45
3.2.2 Porovnání výsledků.....	51
4. Závěr.....	53
Seznam použité literatury.....	55
Seznam obrázků a grafů.....	59

# 1. ÚVOD A CÍL PRÁCE

## 1.1 Úvod

Jaderná energie je stále, i přes časté protesty ekologických aktivistů poukazujících na její nebezpečí, jedna z čteně využívaných zdrojů energie.

V roce 1986 se stala největší jaderná havárie v dějinách lidstva, havárie černobylského reaktoru. Došlo k zamoření velké části Evropy radioaktivním odpadem, nesoucím rozpadající se jádra radioaktivních prvků. Některé typy radioizotopů se rozpadly za velmi krátkou dobu, jiné mají poločas rozpadu delší a zamořují krajinu po dlouhou dobu. Takovým prvkem je hlavně  $^{137}\text{Cs}$  s poločasem rozpadu cca 30 let. Jeho přítomnost v naší krajině je způsobena téměř výhradně černobylskou havárií.

Přestože je známo, že radioaktivita zůstává v místě zamoření a radioaktivního spadu i několik desetiletí, bylo zkoumáno, zda i v oblasti bydliště autorky, Moravskoslezském kraji, jsou stopy radioaktivity černobylské havárie po více než 26 letech.

Výběr tématu pro diplomovou práci byl výsledkem spojení autorčina studijního oboru, odpadové hospodářství, s oborem aplikovaná fyzika. Jelikož se odpadové hospodářství zabývá také životním prostředím, myšlenka spojení tohoto oboru se stavem přírody v našem kraji se stala hlavním motivem realizace práce.

Jelikož je všeobecně známo, že jedny z největších rostlinných absorbentů radioaktivních látek a těžkých kovů jsou houby, byly vybrány jako vhodný materiál pro měření. Dalšími měřenými materiály byly půda a mech.

Součástí diplomové práce je také seznámení s germániovým polovodičovým detektorem, který je schopen zachytit záření gama emitované materiály a velmi přesně určit jeho energii. Podrobný popis přístroje a samotného měření je zaznamenán v této práci.

## 1.2 Cíl práce

Cílem diplomové práce je naměřit a vyhodnotit současnou míru zamoření Moravskoslezského kraje radioaktivním odpadem z havárie jaderné elektrárny Černobyl, na vybraných houbách, mechu a půdě.

## 2. TEORETICKÁ ČÁST

Teoretická část se zabývá základními pojmy a poznatky jaderné fyziky a dále pojednává o houbách, půdách a mechu (vlastnosti, stavba atd.). V této části je zmíněna černobylská havárie, popis, příčiny a důsledky jaderné katastrofy a zároveň i pohyb radioaktivního mraku a s ním spojená radioaktivita na území České republiky.

### 2.1 Základní pojmy a poznatky jaderné fyziky

**Jaderná fyzika** – „*oblast fyziky zabývající se studiem atomového jádra a jeho přeměn [1].*“

**Atom** – elektricky neutrální systém složený z atomového jádra a elektronového obalu. Počet protonů v jádře je roven počtu elektronů v elektronovém obalu. Tímto je zajištěna elektronegativita atomu. Velikost atomu je asi  $10^{-10}$  m. [1]

**Atomové jádro** – v něm je soustředěna téměř celá hmotnost atomu. Jádro má kladný náboj a sestává se ze dvou druhů částic – protonů a neutronů. Tyto částice se dohromady nazývají nukleony. Velikost jádra je přibližně  $10^{-15}$  m. [2]

**Proton** – částice vyskytující se v jádře atomu. Má kladný náboj. [1]

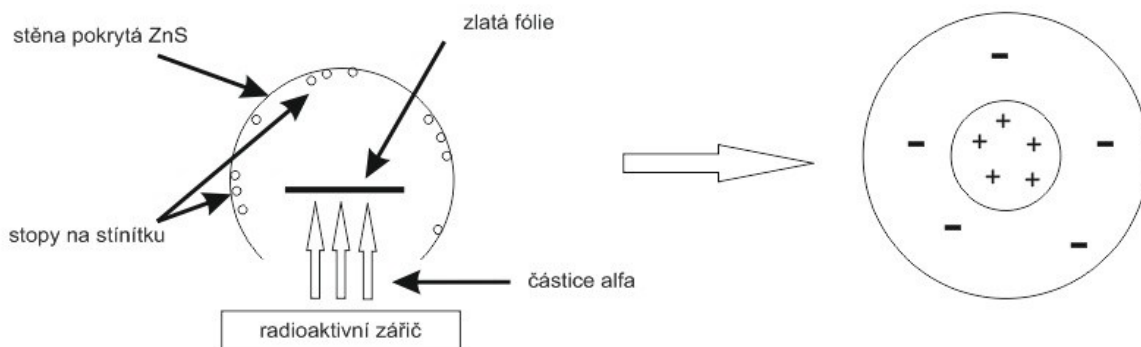
**Neutron** - částice vyskytující se v jádře atomu. Elektricky neutrální částice. [1]

**Elektron** – tvoří elektronový obal atomů a molekul. Je stabilní částicí se záporným nábojem. [1, 2]

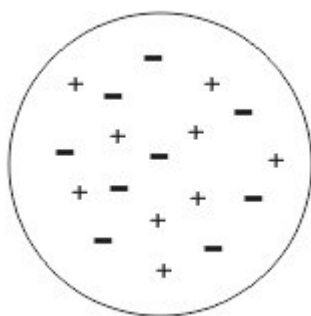
**Elektronový obal atomu** – soustava elektronů v atomu. Má záporný náboj. Počet elektronů je roven počtu protonů v jádře. [1]

**Rutherfordův experiment** – prokázal existenci atomového jádra. Tenká zlatá fólie byla ostřelována částicemi alfa (rychle letící kladné částice – viz níže). Většina částic proletěla beze změny směru, některé se odchýlily od původního směru více, některé méně. Malý počet částic se vracel zpět. Z tohoto Rutherford usoudil, že musíme rozlišovat mezi dvěma částmi atomu. Do té doby platil pudinkový model atomu. Ten spočíval v představě, že kladný náboj je rozložen rovnoměrně v objemu atomu a záporné elektrony jsou náhodně rozloženy v atomu jako rozinky v anglickém pudinku. Tento experiment a pudinkový model atomu znázorňují obrázky č. 2.1 a č. 2.2. [1, 2]





Obrázek č. 2.1 – Rutherfordův experiment [3]



Obrázek č. 2.2 – Pudinkový model atomu [3]

**Značení atomů (prvků)** – ke značení jsou užívány dvě čísla, protonové ( $Z$ ) a nukleonové ( $A$ ). Pro označení atomu (prvku) se využívá písmen, obecně  $X$ . Značka  ${}^A X$  pro nukleonové číslo,  ${}_Z X$  pro protonové číslo. [2]

**Protonové číslo** – také atomové číslo, značka  $Z$ . Počet protonů v atomovém jádře. [1, 2]

**Nukleonové číslo** – také hmotnostní číslo, značka  $A$ . Počet nukleonů v atomovém jádře.  $A = Z + N$ , kde  $N$  je neutronové číslo (počet neutronů v jádře). [1, 2]

**Prvek** – rozumíme chemický prvek, jehož atomy mají stejný počet protonů. [1, 2]

**Nuklid** – jádro se stejným protonovým i nukleonovým číslem. [1]

**Izotop** – nuklidy téhož prvku. Mají shodné protonové číslo, ale mohou mít odlišné nukleonové číslo (jiný počet neutronů). [1]

**Vazební energie jádra** – energie, která by se uvolnila při vzniku jádra atomu z volných nukleonů nebo také energie potřebná k rozbití jádra na jednotlivé nukleony. Rozpad nebo vznik jádra je prakticky možný jen přes řadu meziprocesů (jaderných reakcí). [1]

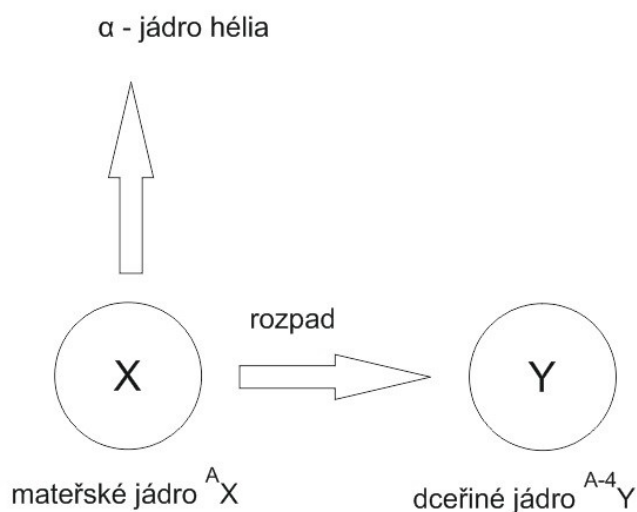
**Radioaktivita** – jaderná přeměna radionuklidu. Přeměna je doprovázena emisí radioaktivního záření  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , záchytem elektronů, emisí protonů. [1]

- a) *přirozená* – schopnost některých atomů se samovolně přeměňovat na jiné atomy [1, 4]
- b) *umělá* – uměle vyvolaná nestabilita atomového jádra. Většinou vyvolána jadernou reakcí nebo působením urychlených částic. [5]

**Radioaktivní rozpad** – také radioaktivní rozklad. Samovolně probíhající jednorázová jaderná přeměna, při níž dochází k emisí radioaktivního záření. Známe radioaktivní rozpad  $\alpha$ ,  $\beta$ , spontánní emisí záření  $\gamma$ . Přeměna je nezávislá na vnějších podmínkách (tlak, teplota, vlhkost...). Její rychlost se nedá nijak ovlivnit, zpomalit nebo zastavit. [1, 5, 6]

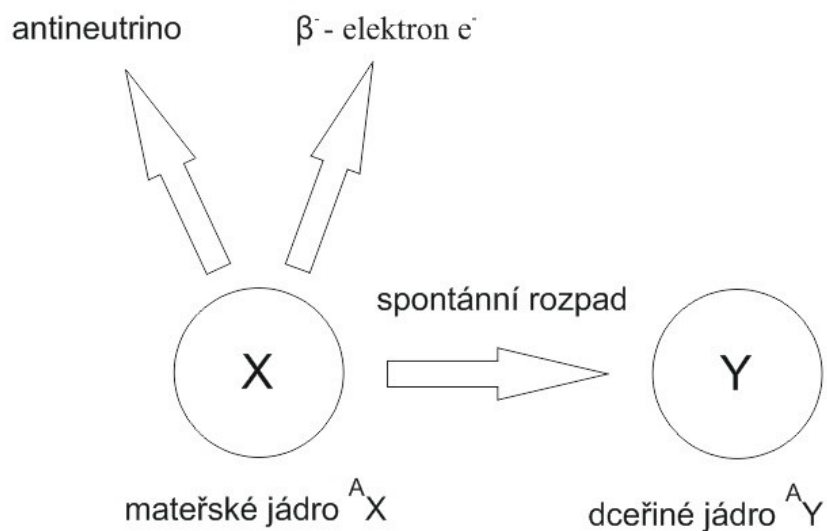
**Radionuklid** – nestabilní nuklid. Přeměňuje se některým z typů radioaktivní přeměny za emise radioaktivního záření. Známe přirozený (běžně se vyskytuje v přírodě) a umělý (připraven uměle pomocí jaderných reakcí). [1]

**Rozpad  $\alpha$**  – radioaktivní přeměna charakteristická emisí záření  $\alpha$  (jádra hélia). Velice častý případ spontánní emise těžké částice z jádra (pouze u těžkých přirozených radionuklidů (bismut, radium, thorium...). Přeměnu  $\alpha$  znázorňuje obrázek č. 2.3. [1, 5, 6]

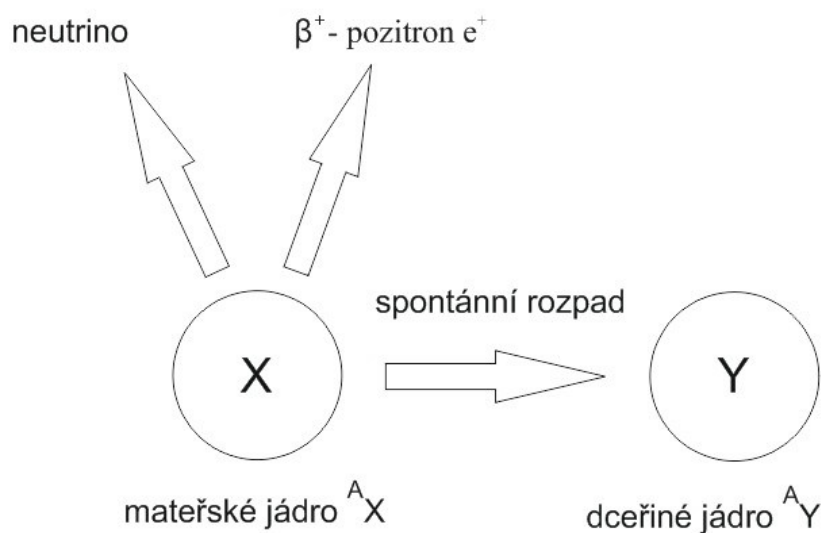


Obrázek č. 2.3 - Radioaktivní rozpad  $\alpha$  [6]

**Rozpad  $\beta$**  - radioaktivní přeměna charakteristická emisí záření  $\beta$  ( $\beta^-$ ,  $\beta^+$ ). Jedná se o vyzáření elektronů nebo pozitronů. Přeměnu  $\beta$  znázorňuje obrázek č. 2.4 a 2.5. [1, 5, 6]

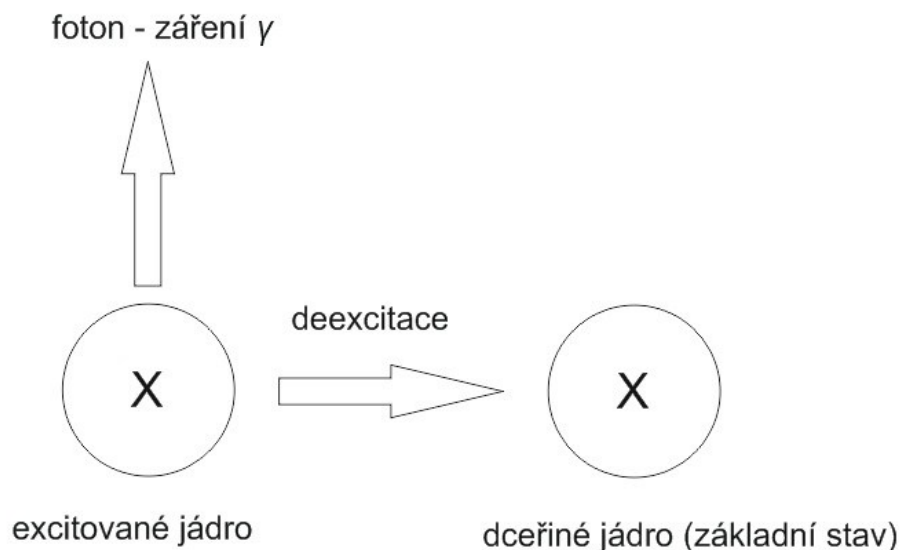


Obrázek č. 2.4 – Radioaktivní rozpad  $\beta^-$  [6]



Obrázek č. 2.5 – Radioaktivní rozpad  $\beta^+$  [6]

**Přechod  $\gamma$**  – jedná se o proces deexcitace atomového jádra emisí fotonu záření  $\gamma$ . Nedochozí ke změně atomového jádra. Přeměnu  $\gamma$  znázorňuje obrázek č. 2.6. [1, 5, 6]



Obrázek č. 2.6 – Přechod  $\gamma$  [6]

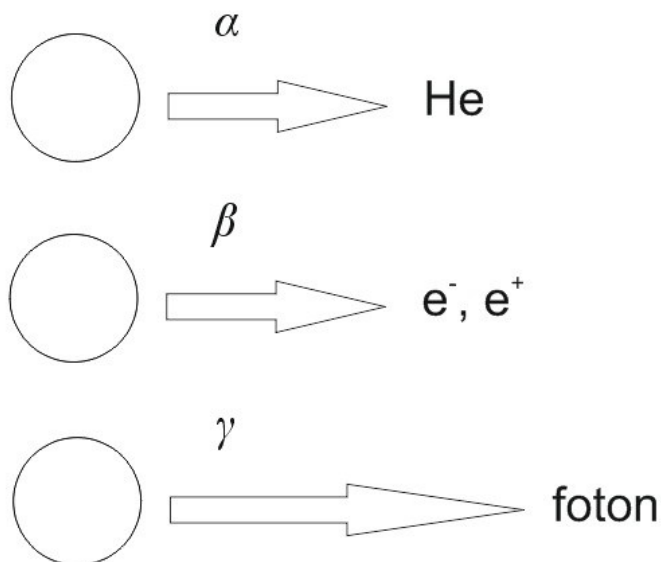
**Částice  $\alpha$**  – skládá se ze dvou protonů a dvou neutronů (jádro hélia) viz obrázek č. 2.3. Všechny čtyři nukleony mají velkou vazebnou energii, tudíž se chovají jako jedna částice. Tok těchto jader tvoří záření  $\alpha$ . Viz obrázek č. 2.7. [1, 5]

**Částice  $\beta^-$**  – jedná se o elektron vyzářený jádrem mateřského radionuklidu. Tuto reakci znázorňuje obrázek č. 2.4. Elektrony se však v jádře nenacházejí, proto předchází rozpadu  $\beta^-$  přeměna neutronu na proton, elektron a antineutrino (stabilní částice bez náboje, s okolním prostředím v podstatě nereagují, velmi špatně detekovatelné). Viz obrázek č. 2.7. [5]

**Částice  $\beta^+$**  - jedná se o pozitron, který emituje jádro daného radionuklidu. Pozitron vzniká přeměnou protonu v jádře na neutron, pozitron a neutrino. Pozitronem rozumíme antičástici elektronu s kladným elementárním elektrickým nábojem a stejnou hmotností, jako má elektron („kladně nabitý elektron“). Viz obrázek č. 2.5 a 2.7. [5]

**Částice  $\gamma$**  – jadernou reakcí nevzniká výsledné jádro ve svém nejnižším energetickém stavu. Nadbytečné energie se jádro zbavuje při přímém nebo

postupném návratu do základního stavu mimo jiné emisí jednoho nebo více fotonů (záření  $\gamma$ ). Viz obrázek č. 2.6 a 2.7. [5]



Obrázek č. 2.7 – Radioaktivní přeměna [6]

**Foton** – kvantum energie, které si může elektromagnetické pole o dané frekvenci vyměnit s látkou (např. s detektorem). Velikost kvanta je definována součinem  $h\nu$ , kde  $\nu$  je frekvence a  $h$  je Planckova konstanta ( $h = 6,626\ 075\ 5 \cdot 10^{-34}$  J·s). [1]

**Fotoelektrický jev** – také fotoefekt. Jedná se o uvolnění elektronů z látky (možno také uvnitř látky, tzv. vnitřní fotoefekt) působením elektromagnetického záření (fotonů). Nemůže k němu dojít na volném elektronu, nebyly by splněny současně oba zákony zachování energie a hybnosti. K fotoefektu dochází u elektronu vázaného v obalu atomu. Energie fotonu bývá vyšší než energie vazební, roste tedy s atomovým číslem  $Z$ . Fotoefekt se více projevuje u těžších atomů. [1, 7]

**Comptonův jev** – jedná se o pružný rozptyl fotonů na volných elektronech. Vlnová délka rozptýleného záření (fotonů) je větší než vlnová délka záření dopadajícího. Tento jev se pozoruje při rozptylu rentgenového záření nebo záření  $\gamma$  v látkách s volnými nebo slabě vázanými elektrony (kovy). Compton studoval průchod fotonů o téže energii, které příslušely k rentgenovému elektromagnetickému záření, fóliemi různých látek. Výsledkem bylo zjištění,

že fotony po průchodu fólií postupují dále ve stejném směru, ale také v dalších směrech odchýlených od původního. Fotony zde byly brány jako částice. Ty fotony, které dopadají na fólii jí buď projdou beze změny nebo se srazí s některým z elektronů v obalech atomů. Je-li jejich energie dostatečně velká, dochází při srážce k vyražení elektronu z atomu i fólie a foton změni směr i svou energii. [1, 7]

**Záření  $\alpha$**  – tok jader hélia (částice  $\alpha$ ) emitovaných jádrem při jaderných přeměnách. Malý dolet částic  $\alpha$  (několik cm). Mohou za to velké ionizační ztráty. Záření  $\alpha$  může být odstíněno listem papíru. [1, 5]

**Záření  $\beta$**  – tok elektronů (částice  $\beta^-$ ) nebo pozitronů (částice  $\beta^+$ ) emitovaných jádrem při jaderných přeměnách. Větší dolet částic než u záření  $\alpha$ . Může za to menší hmotnost a náboj elektronů.  $\beta$  částice jsou relativně malé a lehké, proto při průchodu prostředím jsou často rozptylovány jen s malou ztrátou energie a jejich dráha může být klikatá. Pokud je absorbující záření složeno z lehkých prvků, nezávisí dolet záření na chemickém složení prostředí.  $\beta$  záření s maximální energií 2 MeV má dolet ve vzduchu cca 8 m, ve vodě cca 1 cm a v hliníku 4 mm. Záření  $\beta$  může být odstíněno hliníkovou deskou. [1, 5]

**Záření  $\gamma$**  – elektromagnetické záření krátkých vlnových délek (fotony s vysokou energií). Vzniká při jaderných přeměnách přechodem jádra z vyššího do nižšího energetického stavu. Velice pronikavé záření. Toto záření obvykle doprovází záření  $\alpha$ ,  $\beta$ . Nejčastěji používané zdroje jsou kobalt  $^{60}\text{Co}$ , cesium  $^{137}\text{Cs}$  a iridium  $^{192}\text{Ir}$ . Při průchodu prostředím uvolňují fotony elektricky nabitě částice a předávají jim energii dostačující k ionizaci prostředí. Záření  $\gamma$  může být odstíněno pomocí betonu nebo olova. [1, 5]

**Samoabsorpce** – při emitujícím záření o nízkých energiích (zejména záření  $\beta$ ), může být určitý počet částic absorbován v samotné hmotě vzorku. Je snaha tento faktor co nejvíce eliminovat. [9]

**Jaderný rozpad** – proces, při němž dochází samovolně nebo vnějším zásahem buď ke změně ve složení atomového jádra (změna protonového nebo neutronového čísla) nebo ke změně vnitřního pohybového stavu jádra (klidové energie jádra). Transmutací prvku se rozumí změna protonového čísla. [1]

**Zákon radioaktivního rozpadu** – aktivita zářiče  $A$  (viz níže) je přímo úměrná počtu dosud nepřeměněných jader  $N$  daného radionuklidu. Zákon můžeme definovat vztahem:

$$A(t) = \lambda N(t)$$

kde  $\lambda$  je přeměnová konstanta pro daný radionuklid. Rovnici zákona radioaktivní přeměny můžeme také vyjádřit v diferenciálním tvaru:

$$-\frac{dN(t)}{dt} = \lambda N(t).$$

Zákon lze použít při jednoduchém rozpadu (mateřské  $\rightarrow$  dceřiné jádro) a pro velký soubor nuklidů, má totiž statistický charakter. [1]

**Aktivita** – značka  $A$ . Úbytek počtu dosud nepřeměněných jader za časovou jednotku. Též vyjádření počtu radioaktivních přeměn daného radionuklidu za jednotku času. Aktivita definována vztahem:

$$A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} \text{ [Bq]}$$

kde  $N(t)$  je počet dosud nepřeměněných jader. „Úbytek počtu dosud nepřeměněných jader je roven přírůstku produktů radioaktivní přeměny [1].“ Aktivita určuje také počet částic radioaktivního záření ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) emitovaných zářičem za časovou jednotku. Jednotkou aktivity je becquerel [Bq]. [1]

**Becquerel** – značka [Bq], rozměr jednotky je  $s^{-1}$ . Aktivitu 1 Bq má látka, ve které dochází k jednomu radioaktivnímu rozpadu za sekundu. [1, 4]

**Poločas rozpadu** – značka  $T$ ,  $T_{1/2}$ . Poločasem rozpadu rozumíme dobu, za níž se přemění polovina z počátečního počtu nepřeměněných jader  $N(0)$ . Používá se také jako charakteristika radionuklidu místo přeměnové konstanty  $\lambda$ , s níž je ve vztahu:

$$T\lambda = \ln 2. \text{ [1]}$$

**Radioaktivní přeměnová řada** – „řada radionuklidů, ve které každý radionuklid (člen řady) s výjimkou prvního vzniká radioaktivní přeměnou předešlého radionuklidu v řadě. Přeměnová řada končí vždy stabilním nuklidem, který se již dále nepřeměňuje. Radionuklidy řady se postupně přeměňují přeměnami  $\alpha$  a  $\beta$ . V případě, že se daný radionuklid může přeměnit více způsoby, dochází ke vzniku „větvi“ řady, které se ale opět spojují u některého dalšího radionuklidu v řadě, takže řada končí u jediného stabilního nuklidu. [1]“ Radioaktivní řada se pojmenovává podle prvního radionuklidu v řadě nebo podle svého typického členu. Existují jen čtyři řady (tři přirozené a jedna umělá – první člen řady je umělý radionuklid).

Přeměnové řady:

a) přirozené přeměnové řady

- uranová  $^{238}_{92}\text{U} \dots \rightarrow \dots \dots ^{226}_{88}\text{Ra} \dots \rightarrow \dots \dots ^{206}_{82}\text{Pb}$
- aktiniová  $^{235}_{92}\text{U} \dots \rightarrow \dots \dots ^{227}_{89}\text{Ac} \dots \rightarrow \dots \dots ^{207}_{82}\text{Pb}$
- thoriová  $^{238}_{92}\text{U} \dots \rightarrow ^{232}_{90}\text{Th} \dots \dots \dots \rightarrow ^{208}_{82}\text{Pb}$

b) umělá přeměnová řada

- neptuniová  $^{237}_{93}\text{Np} \dots \rightarrow \dots \dots \rightarrow ^{209}_{82}\text{Pb} \dots \rightarrow ^{209}_{83}\text{Bi} [1]$

**Jaderná reakce** – „*jaderná přeměna vyvolaná vnějším zásahem – zpravidla interakcí s další částicí (např. lehké jádro, proton, neutron, foton). Může docházet jak ke změně struktury zúčastněných jader (změna nukleonového či protonového čísla), tak ke změně pohybového stavu zúčastněných částic (změna klidových a kinetických energií).* [1]“ Mezi významné jaderné reakce patří jaderné štěpení a jaderná syntéza.

a) jaderné štěpení

- jaderná reakce, při níž dochází k rozštěpení původního atomového jádra na nejméně dvě částice nebo nová lehčí jádra. Ke štěpení může docházet samovolně, nejčastěji však reakcí vyvolanou vnějším zásahem (interakcí štěpeného jádra s jinou částicí – foton, proton, neutron, částice  $\alpha$ ). Využívá se v jaderné elektrárně a v jaderné bombě.

c) jaderná syntéza

- „*jaderná reakce, při níž dochází ke slučování lehčích jader na jádra těžší [1].*“ Aby došlo k syntéze, musí se jádra dostat do vzdálenosti působení jaderných sil. Tomu brání odpudivé elektrostatické síly mezi kladnými náboji. Zahřátím materiálu na velmi vysokou teplotu (asi  $10^8$  K) lze dodat soustavě potřebnou energii pro překonání elektrostatických sil. Přeměnu jader syntézou nazýváme termojadernou reakcí. Tyto reakce probíhají ve Slunci a v ostatních hvězdách a jsou hlavním zdrojem energie ve vesmíru. [1]



**Řetězová reakce** – „sled na sebe navazujících jaderných reakcí stejného typu, u kterých vstupuje část produktů (částic) uvolněných při předchozí jaderné reakci opět do reakce [1].“

**Štěpná řetězová reakce** – „jaderné štěpení, které může současně probíhat jako řetězová reakce [1].“

**Neřízená řetězová reakce** – řetězová reakce, během které dochází k uvolnění více než jedné částice, která iniciuje další reakce s jádrem. Dochází tak k nárůstu počtu reakcí s časem geometrickou řadou. U exoenergetických reakcí má závěrečná fáze charakter výbuchu (výbuch jaderné bomby). [1]

**Řízená řetězová reakce** – reakce, při níž je počet jednotlivých reakcí současně probíhajících v daném okamžiku kontrolován. U neřízené řetězové reakce můžeme od určitého okamžiku začít vhodným materiálem pohlcovat část částic vzniklých při jaderné reakci tak, aby další reakci mohla vyvolat pouze jediná vzniklá částice. Počet reakcí v daném čase se ustálí na konstantní hodnotě. Nastává řízená reakce. Využití v jaderných elektrárnách. [1]

**Ionizující záření** – tok hmotných částic nebo fotonů elektromagnetického záření. Ty mají schopnost ionizovat atomy prostředí nebo excitovat jejich jádra. Vzniká při původních jevech jaderných procesů. Při těchto procesech se dostává jádro atomu do excitovaného stavu, je tedy energeticky nestabilní. Stabilním se stává až při vyzáření energie ve formě částic nebo fotonů.

- d) přímo ionizující záření – nabitě částice (elektrony, pozitrony, protony, částice  $\alpha$ ,  $\beta$ ), které mají dostatečnou kinetickou energii k vyvolání ionizace
- e) nepřímo ionizující záření – nenabitě částice (fotony, neutrony), které samy prostředí neionizují. Při interakci s prostředím uvolňují sekundární, přímo ionizující částice, ty ionizují prostředí. [5]

**Zářič** – „objekt, který je zdrojem ionizujícího záření. V praxi se za zářič považuje až ten objekt, jehož aktivita, respektive měrná aktivita přesáhne určitou mez. Tuto mez určují v jednotlivých státech normy, jež se mohou měnit dle nových poznatků o účincích ionizujícího záření [1].“

- a) uzavřený zářič – zářič uzavřený v obalu. Obal zabraňuje za určitých podmínek úniku radionuklidů do okolí. Těsnost uzavřeného zářiče je ověřována zkouškami. [1]

- b) otevřený zářič – zářič, který nesplňuje požadavky na zářič uzavřený [1]

**Radioaktivní záření** – „záření emitované atomovým jádrem při radioaktivní přeměně. Mezi radioaktivní záření patří záření  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  [1].“

**Dozimetrie ionizujícího záření** – „obor fyziky zabývající se definicí, měřením, výzkumem a modelováním takových parametrů ionizujícího záření, které charakterizují jeho účinky v živých a neživých objektech [1].“ Využívá se v biologii, medicíně či ekologii. [1]

**Dávka** – podíl střední hodnoty energie, kterou ionizující záření předalo látce, a hmotností této látky. Záleží, o kterou látku se jedná, proto je nutné ji uvádět. Dávka je veličinou charakterizující energetický účinek ionizujícího záření. Jednotkou je gray [Gy],  $\text{Gy} = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Dávka je vyjádřena vztahem:

$$D = \frac{W_D}{m} \text{ [Gy]}$$

kde  $D$  je dávka,  $W_D$  je energie ionizujícího záření absorbovaná nějakým objemovým elementem a  $m$  je hmotnost látky obsažené v tomto elementu. [1, 10]

**Dávkový ekvivalent** – jedná se o zohlednění faktu, že každý druh ionizujícího záření má při stejné dávce jiný účinek na lidský organismus. Dávkový ekvivalent označen  $D_{\text{ekv}}$  je v podstatě součin absorbované látky  $D$  a koeficientu relativní biologické účinnosti  $k$ . Jednotkou je sievert [Sv],  $\text{Sv} = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Dávkový ekvivalent je dán vztahem:

$$D_{\text{ekv}} = D \cdot k \text{ [Sv]}$$

kde  $k$  souvisí s faktorem tkáňové citlivosti, kde jsou zahrnuty nejen biologické vlastnosti organismu, ale také účinky jednotlivého druhu záření. [1, 10]

**Ekvivalentní dávka** – v současnosti se využívá této veličiny. Jedná se o součet ekvivalentních dávek jednotlivých druhů záření  $H_{TR}$ , kterým je organismus vystaven. Ekvivalentní dávka je součin radiačního váhového faktoru  $w_R$  a dávky daného typu záření absorbovaného organismem  $D_R$  podle vzorce:

$$H_T = \sum H_{TR} = \sum w_R \cdot D_R \text{ [Sv]}.$$

Od dávkového ekvivalentu se liší jinou metodou určování hodnot faktorů vyjadřujících vliv různých druhů záření na organismu. [10]

**Efektivní dávka** – značena  $E$ , je součtem vážených středních hodnot ekvivalentních dávek v různých tkáních organismu. Efektivní dávka se vypočítá podle vztahu:

$$E = \sum w_T \cdot H_T \text{ [Sv]}$$

kde  $H_T$  je ekvivalentní dávka v dané tkáni a  $w_T$  je tkáňový váhový faktor, ten udává relativní příspěvek dané tkáně k celkové zdravotní újmě způsobené při rovnoměrném ozáření celého těla. [10]

**Dozimetr** – přístroj k určování absorbovaných dávek ionizujícího záření. Dělení:

- a) podle časového průběhu detekce
  - *kontinuální* – poskytují průběžné informace o okamžité intenzitě záření či počtu kvant ionizujícího záření. Není-li detektor ozařován, signál na jeho výstupu klesne k nule nebo k hodnotě pozadí. Tyto přístroje jsou téměř vždy elektronické.
  - *kumulativní* – postupně shromažďují svou rostoucí odezvu během expozice. Odezva zůstává v detektoru uchována i po skončení expozice a může se vyhodnotit dodatečně. Řadíme zde fotografické a materiálové detektory.
- b) podle principu detekce
  - *fotografické* – založeny na fotochemických účincích záření nebo využívají fotografické zobrazení stop částic v určitém látkovém prostředí.
    - *filmový dozimetr* – detekuje dávku pomocí speciální fotografické emulze (vyšší obsah bromidu stříbra než běžná fotografická emulze) citlivé na ionizující záření. Po vyvolání emulze se vyhodnotí její zčernání, které je závislé na absorbované dávce. Používají se pro osobní dozimetrii (dozimetr slouží ke kontrole dávky, již byla vystavena osoba, která jej nosí; je připevněn v blízkosti těla)

- materiálové – využívají dlouhodobější změny vlastností určitých látek (složení, barva) působením ionizujícího záření. Mají nízkou citlivost, jsou tedy použitelné jen pro vysoké intenzity záření nebo dlouhou kumulativní detekci.
- termoluminiscenční dozimetr – ionizujícím zářením uvolněné elektrony (z valenční vrstvy) se zachycují na energeticky vzbuzených hladinách atomu a dlouhodobě zde setrvávají. Z těchto hladin se nemohou elektrony dostat samovolně, musí jim být dodána energie (teplo nebo světlo). Zahřátím (termoluminiscence) nebo ozářením viditelným světlem (OSL – opticky stimulované světlo) dochází k deexcitaci a elektrony se vrací zpět do nižší energetické hladiny. Uvolněná energie se vyzáří ve formě fotonů viditelného světla, většinou v modrozeleném světle – luminiscence (světélkování). Čím větší dávkou byl materiál ozářen, tím více je vyzářeno fotonů.
- elektronické – část absorbované energie ionizujícího záření se převádí na elektrické proudy nebo impulsy, které jsou vyhodnocovány na elektronických aparaturách. Nejdůležitější skupina dozimetrů.
- ionizační komora – komora tvořena dvěma elektrodami umístěnými v plynném prostředí a připojenými v elektrickém obvodu na napětí řádově stovky voltů. Plyn mezi elektrodami je nevodivý, tudíž systémem za normálních okolností neprochází proud. Dostane – li se do plynu ionizující záření, začnou vzniklé elektrony a kladně nabitě ionty putovat k příslušným elektrodám, systémem začne protékat slabý elektrický proud. Tento proud je měřen mikroampérmetrem. Ionizační komora není vhodná pro detekci slabého záření. Nejčastěji se používá při měření dávky ionizujícího záření.

c) detektory ionizujícího záření

- Geigerův-Müllerův detektor – plynový detektor pracující při nebo nad napětím, při kterém začíná lavinová ionizace v důsledku vniknutí ionizačního záření. Napětí je již tak velké, že částice jsou schopny ionizovat více atomů a může tak dojít k lavinovitému rozrůstání procesu ionizace. „*Při průletu částice se zažehne v plynu trvalý výboj a ionizační proud prudce vzroste. Aby mohl detektor detekovat další částice, musí být naplněn též zhášedlem, které výboj po určitém čase utlumí.* [1]“ Jako zhášedlo se používají nejčastěji organické plyny (páry methylalkoholu, bromu apod.). Byl to první typ detektorů, který uměl registrovat jednotlivá kvanta ionizujícího záření, a nejen pouhou intenzitu nebo tok záření. Dnes se používají jako měřiče kontaminace, hlásiče radiace, monitorovací systémy atd. Pro přesnější a náročnější měření byly vytlačeny scintilačními a polovodičovými detektory.
- scintilační detektor – založen na vlastnosti některých látek reagovat světelnými záblesky (scintilacemi) na pohlcení kvant ionizujícího záření. Světelné záblesky se následně detekují pomocí fotonásobičů (jsou to speciální opto-elektronické součástky pro citlivou detekci slabých světelných toků a jejich přeměnu na elektrické signály; převádí světlo na elektrický signál). Látky mající tuto vlastnost se nazývají scintilátory. Scintilátory mohou být anorganické krystaly, organické plastické materiály, kapalné roztoky organické látky (např. ZnS, NaI, LiI). Téměř ideální přístroj pro detekci a spektrometrii ionizujícího záření, především záření  $\gamma$ . Scintilační detektor má široké rozmezí detekovatelných intenzit ionizujícího záření. Jeho nevýhodou je nižší rozlišovací schopnost energie detekovaného ionizujícího záření oproti polovodičovému detektoru. [1, 8]

**Polovodičový detektor** – detektor částic pracující na bázi polovodičů. Svým principem se podobá ionizační komoře, médiem ovšem není plyn, ale vhodný polovodičový materiál (Ge, Si). Je to v podstatě dioda zapojená v elektrickém obvodu s vysokým napětím (1000 – 5000 V) přes velký odpor v závěrném (nevodivém) směru. To znamená, že v klidové fázi obvodem neprotéká elektrický proud. Až při vniknutí ionizujícího záření vzniká elektrický proud vlivem pohybu elektronů k anodě. Výhodou germániových polovodičových detektorů je vysoká rozlišovací schopnost energie detekovaného ionizujícího záření. Nevýhodou je nutnost chlazení detektoru kapalným dusíkem. [1, 8]

## 2.2 Cesium

Cesium bylo objeveno v roce 1860 R.W. Bunsenem (německý chemik) a G.R. Kirchhoffem (německý fyzik). Svůj název dostalo podle dvou modrých čar ve spektru jako modrošedé – caesius. Do organismu se dostává s minerálními solemi.

### 2.2.1 Fyzikální a chemické vlastnosti, výskyt

Cesium řadíme mezi alkalické kovy. Jsou to prvky první skupiny periodické soustavy prvků, mimo vodíku. Alkalické kovy jsou velmi reaktivní, proto se v přírodě vyskytují pouze ve sloučeninách a jsou uchovávány jen pod bezvodnými roztoky. Cesium je měkký, lehký, zlatostříbrný kov, lze jej krájet nožem (je měkčí než vosk). Často doprovází rubidium. Oba prvky jsou těžší než voda. Cesium je dobrým vodičem elektrického proudu i tepla, je paramagnetickým kovem. Má poměrně nízký bod tání a varu, viz tabulka č. 2.1. Kovové cesium lze uchovávat pod vrstvou nafty nebo petroleje (s nimi nereaguje). S kyslíkem reaguje velice rychle a explozivně za vzniku superoxidu cesného  $\text{CsO}_2$ , s vodou vytváří hydroxid cesný  $\text{CsOH}$  při velké exotermické reakci (vodík samovolně explozivně vzplane díky vysokému reakčnímu teplu). Soli cesia barví plamen fialově. [11, 12, 13, 14, 15]

Je to velice vzácný prvek jak na Zemi, tak ve vesmíru. V zemské kůře se pohybuje přibližně v množství 1 – 7 mg/kg, průměrný obsah v mořské vodě je cca 0,5  $\mu\text{g/l}$ , ve vesmíru se předpokládá výskyt jednoho atomu cesia na 100 miliard atomů vodíku. V přírodě cesium najdeme v minerálu polucit, rhodizit nebo lepidolit. Cesium se v přírodě vyskytuje jako 100% přírodní nuklid 133 ( $^{133}\text{Cs}$ ). [11, 12, 13, 14, 15]

### 2.2.2 Výroba a použití

Průmyslově se Cs vyrábí elektrolýzou roztavené směsi 60% chloridu vápenatého  $\text{CaCl}_2$  a 40% chloridu cesného  $\text{CsCl}$  při teplotě 750 °C. Chemickou cestou vysrážíme

cesium Cs spolu s rubidiem Rb. Jedná se o srážení chloristanu cesného  $\text{CsClO}_4$  z kyseliny chloristé  $\text{HClO}_4$  přidavkem alkoholu. [11, 12, 13, 14, 15]

Uplatnění cesia najdeme ve fotočláncích (pro přímou přeměnu energie světelné na elektrickou). Používá se také jako médium pro iontové motory, jako pohonné motory kosmických plavidel a pro výrobu elektronek a fotonek (jako jediný kov vyzařuje elektrony při osvětlení světlem všech barev). Připravují se z něho velice husté výplachy pro hlubinné vrtání. Dále se cesium nachází v přístrojích pro noční vidění či v televizních přijímačích. [11, 12, 13, 14, 15]

### 2.2.3 Izotopy cesia

Izotop  $^{137}\text{Cs}$  je nejznámější a nejpoužívanější radionuklid. Poločas rozpadu je 30,08 let, tabelová hodnota energie  $\gamma$  je  $E = 661,49$  keV. Tento izotop se rozpadá  $\beta$  rozpadem na  $^{137}\text{Ba}$ . Izotop  $^{137}\text{Cs}$  se používá jako hlavní etalon pro gama-spektroskopii, k ozařování v radioterapii (rakovinné nádory), defektoskopii (nedestruktivní zkoušení materiálu) a v řadě měřících a technických aplikacích. Dále se využívá při sterilizaci lékařských pomůcek nebo potravin (prodlužování trvanlivosti, zpomalení zrání ovoce). Je známo, že v 85% případů se při rozpadu  $^{137}\text{Cs}$  vyzáří foton s energií gama 661,49 keV [17]. [11, 12, 13, 14, 15]

Další známý izotop  $^{134}\text{Cs}$  má poločas rozpadu 2,06 let. Tento izotop se rozpadá  $\beta$  rozpadem na  $^{134}\text{Ba}$ . Izotop  $^{134}\text{Cs}$  lze tedy detekovat pomocí tabelové hodnoty energie přechodu  $\gamma$  (604,61 keV) v  $^{134}\text{Ba}$  [16]. 99% rozpadu  $^{134}\text{Cs}$  doprovází vyzáření fotonu [17]. Ve vesmíru se také vyskytuje izotop  $^{135}\text{Cs}$ . Ten má však poločas rozpadu  $2,3 \cdot 10^6$  let [18]. V článku H.W. Taylora a kolektivu Post – Chernobyl  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  levels at some localities in Northern Canada byly uvedeny dvě hodnoty poměrů aktivit  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{137}\text{Cs}$  uvolněných z reaktoru při výbuchu jaderné elektrárny Černobyl. Tento poměr byl v jednom případě 0,54 a ve druhém 0,57 (na základě odlišných měření) [17]. [11, 12, 13, 14, 15]

Veškeré informace použité v této podkapitole a další veličiny jsou souhrnně sepsány v tabulce č. 2.1.

### 2.2.4 Kontaminace organismu cesiem

*„Chemická příbuznost některých radioaktivních izotopů s biogenními prvky ovlivňuje míru jejich nebezpečnosti pro lidský organismus [19].“* Biologicky nejnebezpečnější jsou  $^{90}\text{Sr}$  a  $^{137}\text{Cs}$ . Cesium je alkalickým prvkem, jak již bylo zmíněno výše. Objevuje se jako jednomocný kationt, ten velice dobře proniká buněčnými blanami. V lidském těle sleduje draslík, je proto rovnoměrně rozloženo v měkkých tkáních. Záření cesia postihuje hlavně gonády, je tedy nebezpečné z genetického hlediska. Jako kritický

orgán se udává svalová tkáň. Ve svalech se cesium zadržuje ze 40%, v játrech okolo 8% a v kostech cca 4%. [19]

Tabulka č. 2.1 – Informace o Cs

Značka	Cs
$Z$	55
$A_r$	132,90545
ox. číslo	1
$T_{1/2}^{137}\text{Cs}$	30,08 r
$T_{1/2}^{134}\text{Cs}$	2,06 r
$T_{1/2}^{135}\text{Cs}$	$2,3 \cdot 10^6$ r
$A$	$^{133}\text{Cs}$
$t_t$ [°C]	28,4
$t_v$ [°C]	760
druh záření	$\beta^-$ , $\gamma$
$E_B$ [MeV]	1118

$Z$  – protonové číslo

$A_r$  – relativní atomová hmotnost

$T_{1/2}^{137}\text{Cs}$  – poločas rozpadu izotopu cesia [20]

$T_{1/2}^{134}\text{Cs}$  – poločas rozpadu izotopu cesia [21]

$T_{1/2}^{135}\text{Cs}$  – poločas rozpadu izotopu cesia [18]

$A$  – stabilní izotop vyskytující se v přírodě ve 100%

$t_t$  – teplota tání

$t_v$  – teplota varu

$E_B$  – vazební energie

## 2.3 Houby, půdy, mechy

Práce je orientována na měření radioaktivity v biologickém materiálu. Jedná se především o houby, méně pak půdu a mech. Níže jsou uvedeny charakteristiky jednotlivých sledovaných materiálů. Upřesnění a náležitý popis jednotlivých komponent bude zařazen níže v textu v praktické části.



### 2.3.1 Houby

Houby jsou eukaryotické heterotrofní organismy. To znamená, že se jedná o buněčné organismy s jádrem, které nejsou schopny samy vytvářet organické látky z anorganických. Jsou tedy závislé na existenci autotrofních organismů (ty dokáží pomocí fotosyntézy tyto látky přetvářet). Buňka hub je tvořena samostatným jádrem a biomembránovými strukturami s organely, s výjimkou chloroplastů. Nepřítomnost těchto organel zapříčiňuje nemožnost fotosyntézy, tedy neschopnost vytvářet organické látky. Na povrchu buňky je buněčná stěna složená z chitinu. [22, 23]

Houby tvoří vlastní říši mezi rostlinami a živočichy. Jsou zastoupeny jednobuněčnými i mnohobuněčnými organismy. Od rostlin a živočichů se odlišují například tím, že organické látky rozkládají vně své stélky. Samotné houby, respektive plodnice, jsou tvořeny kloboukem, výtrusnou částí, třením a podhoubím. O jednotlivých částech se zmiňuji níže. [22, 23]

Houby jsou tvořeny houbovými vlákny (hyfy), které se mohou rozlišit v podhoubí (mycelium) a v plodnici. Propletené hyfy tvoří podhoubí, ze kterého velmi často vyrůstají plodnice. Ty jsou nadzemní částí houby, možné označení také jako tělo (není tvořeno jednotlivými orgány, takovéto tělo se nazývá stélka). Hlavním úkolem plodnice je rozmnožování hub (pohlavní, nepohlavní). To probíhá pomocí výtrusů (spor), které jsou rozšiřovány pomocí větru na značné vzdálenosti a po vyklíčení vznikají nová podhoubí. Výtrusy se nachází na spodní straně klobouku a to buď v lupenech (bedla) nebo v rourkách (hřib). Nejjednodušším způsobem nepohlavního rozmnožování je rozpad vláknité stélky na dva jedince. Dalším způsobem je pučení (např. u kvasinek), v neposlední řadě také produkce nepohlavních výtrusů. Běžným rozmnožováním hub je však pohlavní rozmnožování. To je spojeno se splýváním buněčných jader a meiotickými děleními za vzniku výtrusů (spor). Meiotické dělení je buněčné dělení, při kterém dochází k produkci buněk se zredukovaným počtem chromozomů, to je základní proces pro pohlavní rozmnožování. [22, 23]

Využívají-li houby ke zdroji organických látek rozkladu živočišných nebo rostlinných těl, nazýváme je saprofyty (časté označení jako rozkladači, dekompozitoři). Dalším zdrojem těchto látek je jejich získávání z živých organismů. Takové houby nazýváme parazitické. Mykorrhiza je symbióza houby s hostitelem a jedná se o další způsob získávání potřebných látek. Nejčastěji prospěšné je soužití hub s kořeny stromů. Kořeny jsou obaleny myceliem a dochází k vzájemné výměně látek. Houby získávají z kořenů organické látky, které samy nedokáží vytvořit, a zároveň stromy zásobují minerálními látkami a vodou, díky rozlehlému myceliu. [22, 23]

### 2.3.2 Půdy

Půdy tvoří část zemského povrchu – pedosféru. Vznikají zvětráváním hornin a činností mikroorganismů, vegetace (tzv. edafon). Půda se s časem vyvíjí a mění působením biologických, chemických a fyzikálních pochodů. Již zmíněný edafon dělíme na bakteriální, rostlinný (plísňě, houby, řasy, kořenový systém) a živočišný. Edafonem se také indikuje stav půdy. V kontaminované půdě je jeho funkce potlačena. „*Odhaduje se, že na 1 m<sup>2</sup> připadá 200 tisíc jedinců makrofauny a miliardy jedinců mikrofauny [24].*“ Půdu také můžeme vnímat jako třífázový systém a to jako tuhou, tekutou a plynnou fázi. Tuhá fáze je složena z anorganických a organických sloučenin a prvků. Zemská kůra, která je zdrojem anorganického podílu, obsahuje prvky jako O, Si, Al, Fe, Ca, K, Na, Mg. Rostliny však potřebují další živiny, které dělíme na makroživiny (C, O, H, N, P) a mikroživiny (S, Fe, B, Mo). Organický podíl v půdě zajišťují humusové látky a pochody spojené s humifikací. Samotné humusové látky jsou výsledkem složitých syntéz organických látek vznikajících ze zplodin rozkladem ligninu, celulózy, bílkovin a tuků. Tekutá fáze je tvořena půdní vodou a roztoky. Plynnou fází tvoří z velké části vzduch, CO<sub>2</sub> a zplodiny metabolismu edafonu. Centimetr ornice se vytváří až 200 let. [24, 25]

U půd se velice často určuje např. barva, struktura, zrnitost, vlhkost atd. Podle těchto vlastností jsou půdy dále členěny do půdních typů. Pomocí zrnitosti rozeznáváme půdy podle Nováka na lehké (písčité, hlinitopísčité), střední (písčitohlinité, hlinité) a těžké (jílovitohlinité, jílovité, jílové). Půdními typy rozumíme např. černozem, šedoze, hnědozem, podzoly, nivní půdy. [24, 25]

### 2.3.3 Mechy

Mechy jsou vyšší, zelenovýtrusné rostliny bez vyvinutých cévních svazků. Nejsou příliš vysoké, spíše přízemní s velkou schopností zadržovat vodu. Vyhledávají stinná a vlhká místa. Rostliny jsou schopny fotosyntézy a jejich tělo má složitou stavbu. Tělo (stélka) je rozlišeno na kořínky, přichytná vlákna, lodyžku a lístky. [26]

Rozmnožování je pohlavní. Pohlavní orgány se vytvářejí buď na jedné rostlině oboje na stejné větévce nebo na různých větévkách, anebo na jedné rostlině jen samičí (produkují nepohyblivé vaječné buňky) nebo samčí (produkují spermatozoidy). Oplození probíhá jen v dostatečně vlhkém prostředí, kdy se spermatozoidy dostávají pomocí vody k nepohyblivým vajíčkům. Mohou se rozmnožovat také vegetativně. Mechy jsou citlivé na kvalitu ovzduší i srážek. Často se tak využívají jako bioindikátory znečištění. [26]

### 2.3.4 Radioaktivita rostlin

Rostliny jsou velkým rezervoárem radioaktivity. Do rostlin se radioizotopy dostávají všemi nadzemními částmi nebo kořenovým systémem. Přes listy se dostávají

radionuklidy v plynném skupenství přímo do procesů látkové výměny. Radioizotopy v pevné fázi ulpívají na listech. Buď jsou přímo vstřebávány listy, nebo jsou smyty deštěm do půdy v okolí rostlin. [19]

Z půdy se radioizotopy dostávají do rostlin kořenovým systémem. Na kvantitu přijatých radioizotopů má vliv typ rostliny, půda, podzemní vody a typ rostlinné tkáně.  $^{137}\text{Cs}$  je nejvíce koncentrováno v nadzemních částech rostlin. [19]

Obsah  $^{137}\text{Cs}$  v půdě se vyhodnocuje v poměru k obsahu draslíku. Je snaha potlačit postup radionuklidů z půdy do rostlin. Ty přijímají z půd tím méně  $^{137}\text{Cs}$ , čím více je půda bohatší na draslík (to ovšem neplatí vždy). Zabránění prostupu radionuklidů z půdy do rostliny lze také převedením těchto izotopů na těžkorozpustné sloučeniny nebo jejich přemístěním do spodních horizontů půd, kde se již kořenový systém rostlin vyskytuje jen zřídka. [19]

## 2.4 Popis černobylské jaderné havárie

Dosud největší jaderná havárie se stala 26.4. roku 1986 v nočních hodinách. Jednalo se o jadernou elektrárnu Černobyl, která byla postavena na území dnešní Ukrajiny nedaleko hranic s Běloruskem. V té době byly oba státy součástí Svazu sovětských socialistických republik.

### 2.4.1 Příčiny vzniku havárie

Za celou tragédií stojí bezpečnostní zkouška, která byla prováděna ve 4. bloku elektrárny. Paradoxem je, že typ této zkoušky má být proveden před spuštěním reaktoru do provozu. Při výstavbě 4. bloku na tuto zkoušku nezbyl čas. Havárie jaderné elektrárny se nestala za plného provozu, ale v mimořádném režimu, při odstavení reaktoru z provozu. Na tuto dobu byl naplánován experiment, který měl ověřit setrvačný doběh turbogenerátoru těsně před odstavením reaktoru z provozu. Mělo se zjistit, zda bude generátor jaderného reaktoru schopen po rychlém uzavření přívodu páry do turbíny při svém setrvačném doběhu ještě minimálně 40 sekund napájet proudem čerpadla havarijního chlazení. Havárii zapříčinilo selhání jak lidského tak politického faktoru. [27, 28, 29, 30]

Začátek experimentu a odstavení reaktoru se muselo neočekávaně odložit o devět hodin. Tím nastal posun ve směnách. To mělo za následek, že reaktor byl obsluhován jinou směnou, než která byla na daný experiment připravována. Samotný experiment byl brán jen jako elektrotechnická záležitost. [27, 28, 29, 30]

### 2.4.2 Průběh jaderné havárie

Jedním z problémů bylo dlouhodobé odpojení systému havarijního chlazení. To bylo odpojeno těsně po zahájení snižování výkonu reaktoru. Pokles výkonu reaktoru

nadále pokračoval, až rychlým poklesem došlo téměř k zastavení reakce v reaktoru. Tím se stal reaktor velice nestabilním. Následoval pokles tlaku a zvyšování výkonu. Další chybou bylo pokračování v testu i po zjištění, že v aktivní zóně jaderného reaktoru byla spuštěna jen polovina regulačních tyčí. Test pokračoval dál, kde byl operátory vypnut nouzový systém, aby zabránili havarijnímu odstavení reaktoru. Následně byl uzavřen přívod páry do turbíny, tím se snížil průtok chladicí vody, teplota a tlak stále rostly. S vyšším množstvím páry se zvyšovala rychlost štěpné reakce, tím se zvyšovala teplota i množství páry a havárie byla nevyhnutelná. Během jedné minuty došlo ke dvěma výbuchům. [27, 28, 29, 30]

Dvě krátce za sebou jdoucí exploze rozmetaly část aktivní zóny reaktoru i s palivem a hořícím grafitem. Reaktor byl tak natlakován parou, že při první explozi pára odstranila horní betonovou desku reaktoru, která vážila 1000 t. Druhá exploze následovala 2-5 sekund po první. K té došlo vniknutím vzduchu do reaktoru a následnou reakcí vodní páry s rozžhaveným grafitem. Vznikl požár. Výbuchem se dostal radioaktivní grafit do areálu elektrárny a z rozbitého 4. bloku začala unikat radioaktivita do ovzduší. V žádném případě nešlo o nukleární (jaderné) výbuchy. [27, 28, 29, 30]

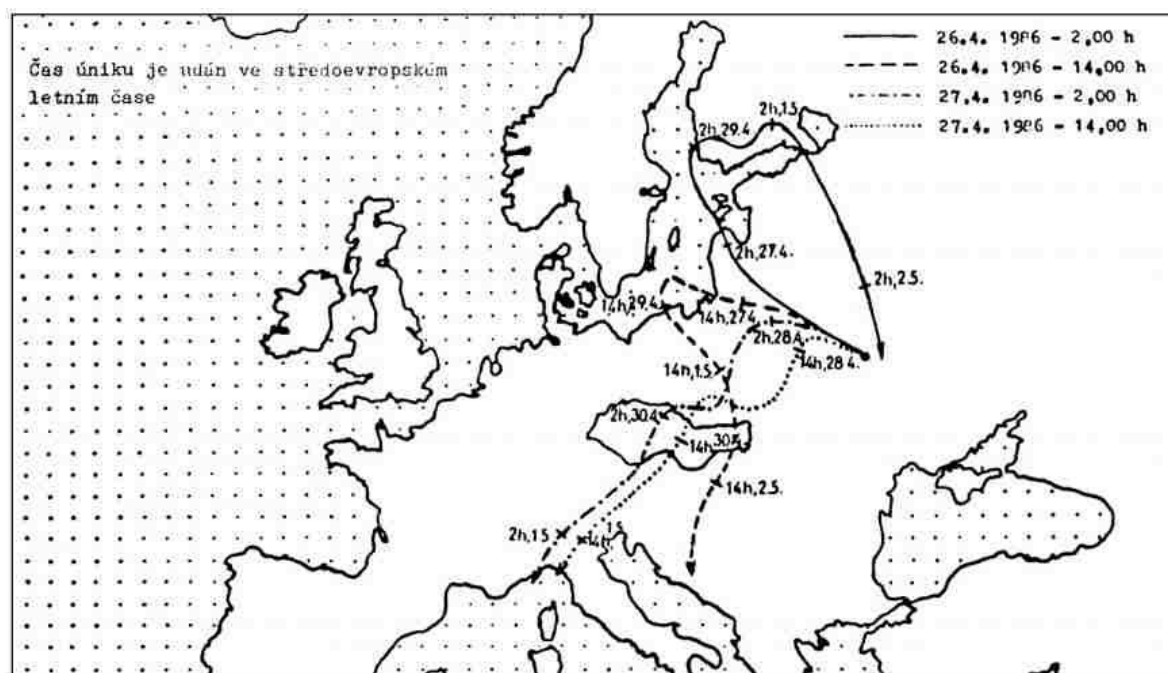
Prvním krokem likvidace havárie bylo hašení požáru. Ten se povedlo částečně zlikvidovat za 3 hodiny (grafit ale stále hořel uvnitř reaktoru). Hasiči neseznámeni s příčinou požáru hasili prvně vodou. Tím docházelo k dalším malým explozím a většímu úniku radioaktivity do ovzduší. Po tomto neúspěchu se rozhodlo o zasypání reaktoru pískem, olovem a karbidem boričitým. Všechny tyto komponenty byly shazovány na reaktor z vrtulníků. Celkem se použilo 5000 t materiálu. Přesněji 800 t dolomitu, který dusí plameny uvolňováním oxidu uhličitého, 2400 t olova, které pohlcuje teplo a záření, 1800 t písku a jílu, který zabraňuje přístupu vzduchu, karbid boričitý, ten pohlcuje neutrony a zabraňuje štěpení uranu. Dva týdny po havárii se rozhodlo o zakonzervování celého bloku reaktoru do sarkofágu z betonu s vestavěným chladícím systémem. [27, 28, 29, 30]

### **2.4.3 Složení a šíření radioaktivního mraku**

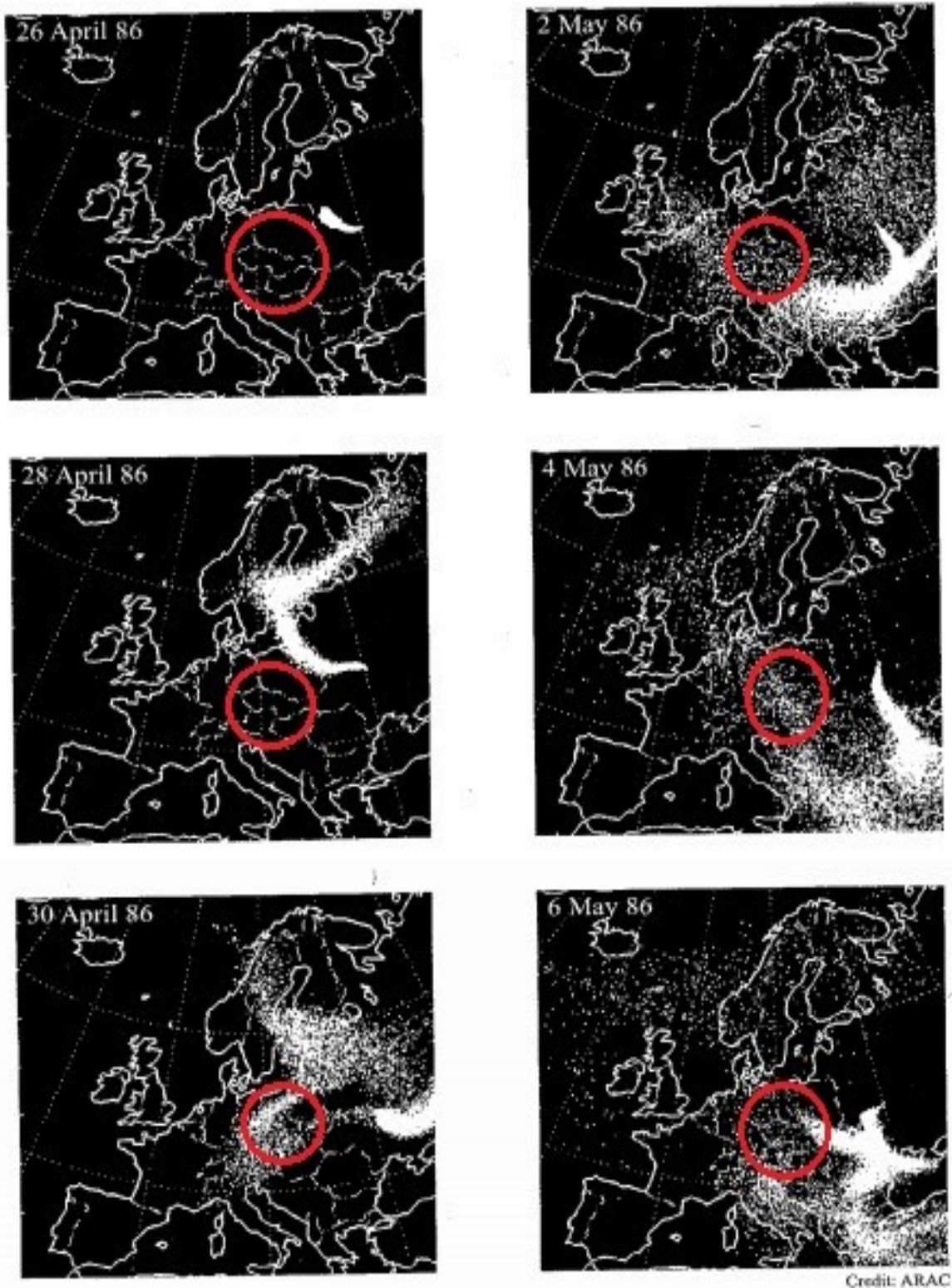
Do ovzduší se při výbuchu dostalo velké množství radioaktivních látek. Ze začátku se jednalo především o izotopy vzácných plynů jako je xenon Xe a krypton Kr. Množství těchto izotopů uniklé z reaktoru bylo téměř 100%. Dále unikly izotopy jódu  $^{131}\text{I}$  v různých formách. V plynné fázi, ve formě aerosolů a organicky vázaný. Dohromady uniklo z paliva asi 50 – 60% jódu. Další byly těkavé prvky a sloučeniny cesia Cs ( $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) a teluru  $^{132}\text{Te}$ . Ty se do ovzduší dostaly formou aerosolů nebo s částicemi rozprášeného paliva. Odhad úniku těchto radionuklidů je 20 – 60%. V malém zastoupení se dostaly do ovzduší s rozprášeným palivem štěpné produkty (radioizotopy) málo

těkavých prvků jako je cér Ce, zirkonium Zr, baryum Ba a stroncium  $^{90}\text{Sr}$ . Podíl těchto radioizotopů byl nejvýznamnější v blízkém okolí havarovaného reaktoru. [27, 28, 30]

Radioaktivní látky byly výbuchem vyneseny až do výšky 1500 m. Proudění vzduchu mělo jihovýchodní směr a vítr v této výšce dosahoval rychlosti 8 – 10 m/s. Radioaktivní mrak byl prouděním nejprve hnán nad Skandinávií, kde se následně otočil a putoval zpět k místu vzniku. Poté (v den havárie) se změnilo proudění vzduchu nad Ukrajinou a radioaktivní mrak putoval směrem přes Polsko, Československou republiku až k Rakousku. Tam se část mraku odrazila zpět od Alp a část putovala dále na jihozápad Evropy, již v menších koncentracích. Postup radioaktivního mraku je patrný z družicového obrázku č. 2.8 převzatého z prezentace paní Ing. Dany Drábové Ph.D. a z obrázku č. 2.9 ze zprávy o radiační situaci na území ČSSR po havárii jaderné elektrárny Černobyl vydané institutem hygieny a epidemiologie v Praze roku 1987. Na obrázcích č. 2.8 – 2.12 jsou červeně vyznačena zájmová území. [27, 28, 30, 31]

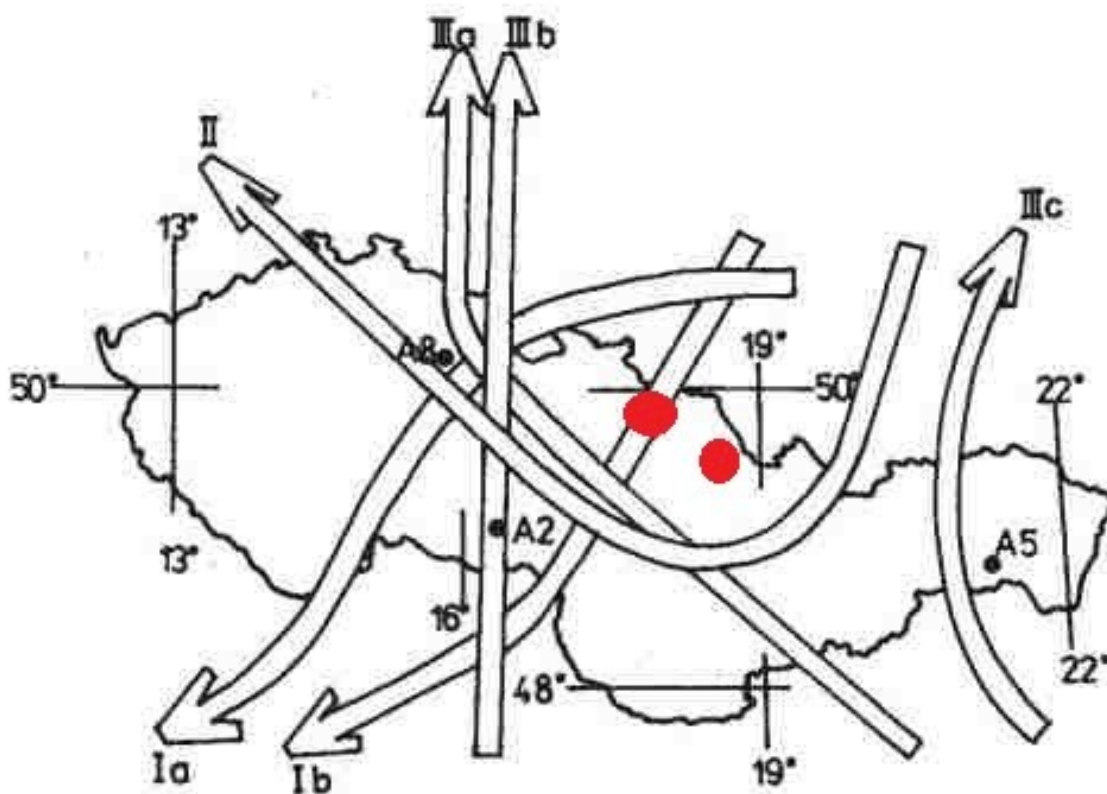


Obrázek č. 2.8 – Únik radioaktivity z Černobylu dne 26.4.1986 [32]



Obrázek č. 2.9 – Postup černobylského radioaktivního mraku nad Evropou [31]

Československá komise pro atomovou energii vydala v roce 1988 zprávu nazvanou - Některé výsledky monitorování následků černobylské havárie v ČSSR. Kapitola - Radionuklidy z černobylské havárie v půdě na území ČSSR: jejich původ, depozice a distribuce z této zprávy objasnila průchod radioaktivního mraku nad územím tehdejší Československé republiky. Zpráva vychází z trajektorií středů kontaminovaných vzdušných hmot a z údajů o rychlosti a směru větru v přízemní vrstvě atmosféry a na hladině 850 hPa. Trajektorie byly vypočteny Slovenským hydrometeorologickým ústavem z dat poskytnutých jadernou elektrárnou v Jaslovských Bohunicích a jsou znázorněny na obrázku č. 2.10. Postup radioaktivního mraku byl rozdělen do tří průchodů značených římskými číslicemi. Časy úniku z havarovaného reaktoru a průchodu nad územím ČSSR jsou uvedeny v tabulce č. 2.2. [27, 28, 30, 31, 33]

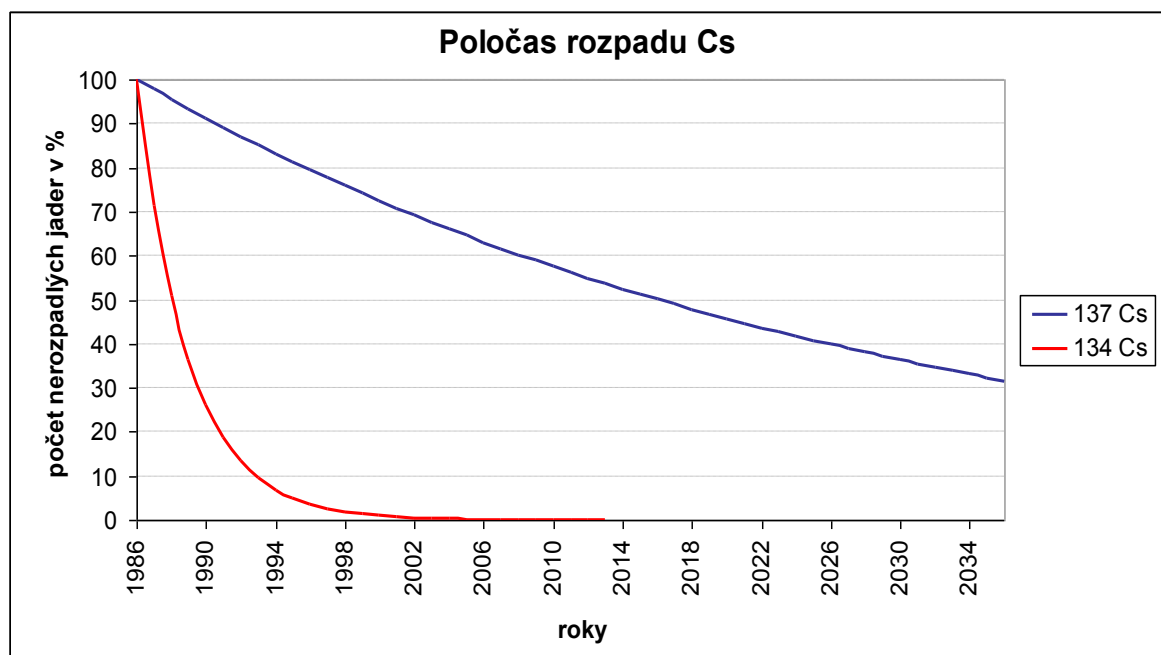


Obrázek č. 2.10 – Trajektorie středů kontaminovaných hmot (označení trajektorií viz tabulka č. 2.2) [33]

Tabulka č. 2.2 – Přibližné časy úniků radioaktivity z reaktoru a průchody mraku nad územím ČSSR [33]

Průchod	Složka	Únik z Černobylu	Průchod nad ČSSR
I	a	27.4. 02hod	30.4. 02 h
	b	27.4. 14hod	30.4. 14 h
II		26.4. 02hod	od 4.5. 02 h do 5.5 02 h
III	a	4.5. 02hod	od 8.5. 02 h do 9.5. 02 h
	b	4.5. 14 hod	od 7.5. 02 h do 7.5. 14 h
	c	5.5. 02 hod	8.5. 02 h

V dnešní době je stále Moravskoslezský kraj zamořen jaderným odpadem z Černobylu, a to konkrétně  $^{137}\text{Cs}$ . Z výše uvedených hodnot poločasů rozpadů izotopů  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{137}\text{Cs}$  byl vytvořen graf č. 2.1 vyjadřující jejich časově závislou aktivitu. Z grafu vyplývá, že jádra  $^{134}\text{Cs}$  jsou již dnes (rok 2012) téměř všechna přeměněna. Zato u  $^{137}\text{Cs}$  je patrné, že dodnes se nepřeměnila ani polovina původních jader.



Graf č. 2.1 – Poločas rozpadu izotopů cesia

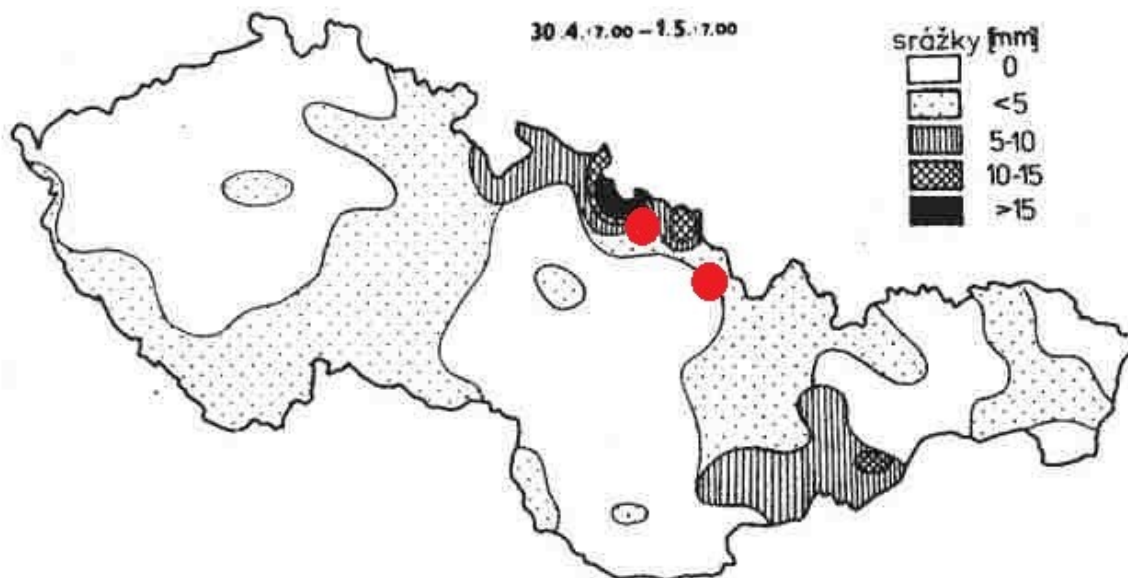


## 2.5 Příčiny spadu radioaktivity na Opavsku a v Beskydech

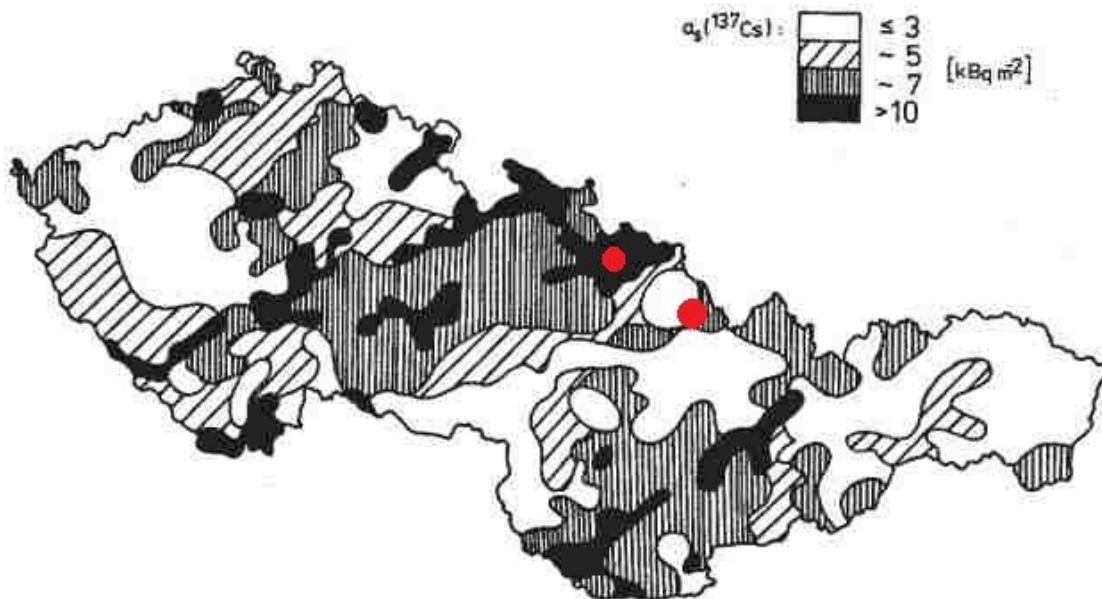
Jak je patrné z obrázku č. 2.10, námi zkoumaných lokalit se týká průchod Ib. Tato trajektorie středů kontaminovaných hmot zasáhla Opavsko, přes Beskydy se mrak přehnal jen v malé koncentraci, takže nebyl v podstatě zaznamenán. Tabulka č. 2.2 udává přibližné časy úniku radioaktivního mraku z reaktoru a průchodu nad ČSSR. Průchod Ib unikl tedy z reaktoru přibližně 27.4. 1986 ve 14 hodin, nad tehdejší území ČSSR se vlivem proudění dostal 30.4. 1986 ve 14 hodin. V tuto dobu nastala inhalační expozice. Data Českého hydrometeorologického ústavu udávají, že v tento čas se také vyskytly lokální srážky nemalé intenzity nad Opavskem, znázorněno na obrázku č. 2.11. Inhalační expozice byla přerušena deštěm a radioaktivní látky byly mokrou cestou dopraveny do půdy. V Beskydech se tou dobou déšť nevyskytoval. Důkazem jsou naměřené hodnoty radioaktivních látek zobrazené v tabulce č. 2.3, kde červeně jsou znázorněna zkoumaná území. Tato tabulka pochází z dokumentu s názvem Plošná aktivita  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{103}\text{Ru}$ , zjištěná ve vzorcích odebraných půd při celostátním průzkumu dne 17.6. 1986. Nedaleko obce Hrabyně byly odebrány vzorky materiálu pro tuto diplomovou práci. Obce Hlubočec a Kyjovice se nachází také na Opavsku, avšak ve větší vzdálenosti od míst odběru (cca 10 km). Ostravice se nachází v Beskydech v těsné blízkosti vodní nádrže Šance, druhého místa odběru vzorků. Z výše uvedených faktů, dat a z obrázku č. 2.12, který znázorňuje rozložení plošné aktivity  $^{137}\text{Cs}$  na území ČSSR, je zřejmý vysoký radioaktivní spad na Opavsku a velice nízký v okolí Ostravice v Beskydech. [30, 31, 33, 34]

Tabulka č. 2.3 – Aktivita ve vzorcích půd, celostátní průzkum dne 17.6. 1986 [34]

Okres	Obec	$^{137}\text{Cs}$ [kBq.m <sup>-2</sup> ]	$^{134}\text{Cs}$ [kBq.m <sup>-2</sup> ]	$^{103}\text{Ru}$ [kBq.m <sup>-2</sup> ]
Opava	Hrabyně	24	12	20
Opava	Hlubočec	23	12	19
Opava	Kyjovice	52	27	51
Frydek-Místek	Ostravice	0,59	0,13	0,24



Obrázek č. 2.11 – Srážky od 30.4. 1986 v 7:00 do 1.5. 1986 v 7:00 [33]



Obrázek č. 2.12 – Rozdělení plošné aktivity <sup>137</sup>Cs na území ČSSR [33]

### **3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST**

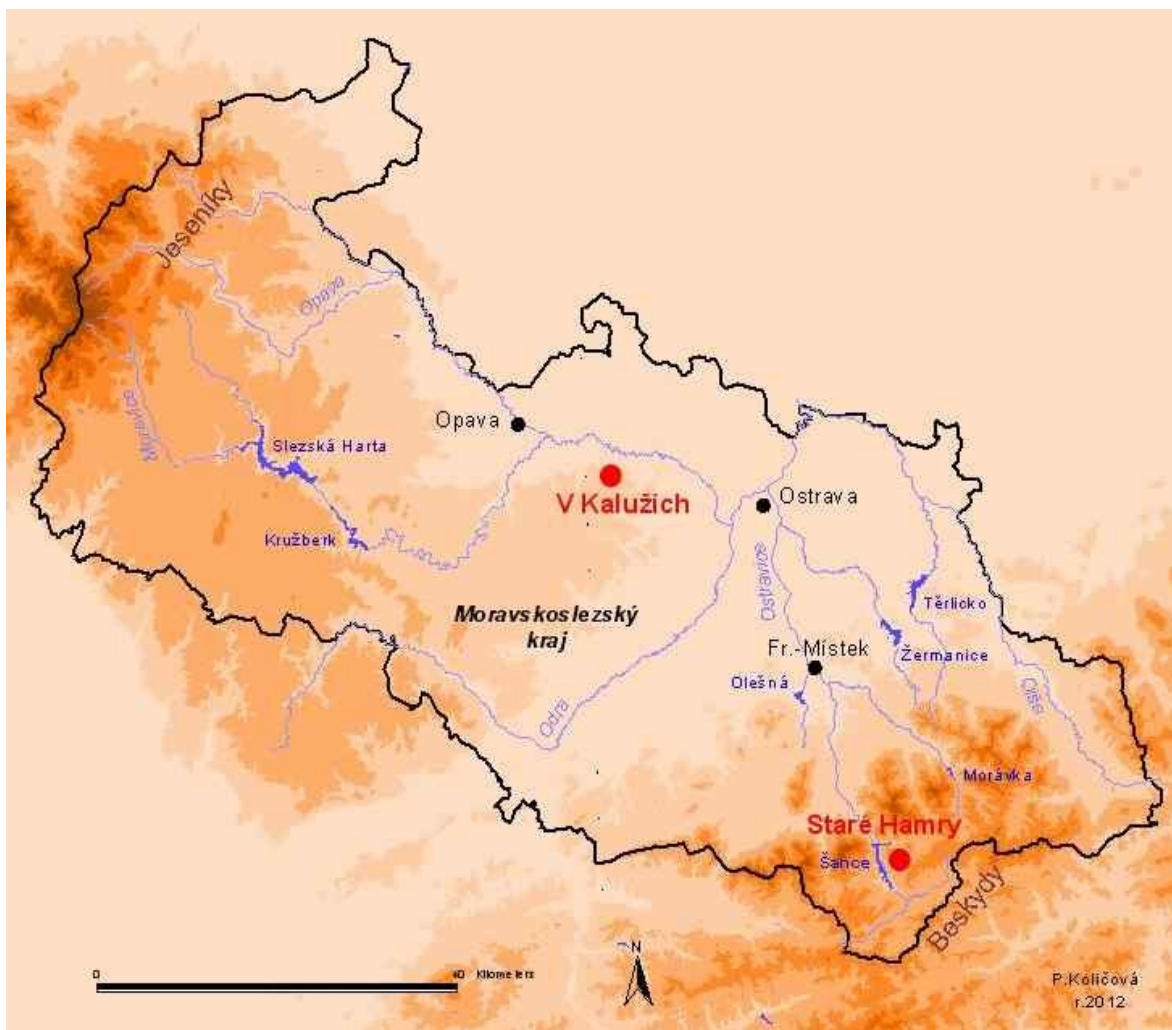
Experimentální část je zaměřena na měření radioaktivity biologických materiálů, jeho vyhodnocení a porovnání výsledků měření. V této části jsou popsány lokality, ze kterých byl materiál odebrán, jakým způsobem byl připraven k vytvoření vzorků. Dále je zde popsána úprava vzorků, následné měření a vyhodnocení výsledků. V neposlední řadě je popsán také princip měření přístroje, kterým bylo měřeno záření  $\gamma$ . Tato kapitola je rozdělena do dvou podkapitol, a to na metodu práce, kde je popis sběru, přípravy a měření vzorků, a na vyhodnocení výsledků, kde jsou tabulky, výpočty a vyhodnocení celého měření.

#### **3.1 Metoda práce**

Metodou práce je myšlen výběr vhodného materiálu a lokality, sběr a úprava materiálu pro měření, následná příprava vzorků a činnosti s ní spojené. Dále je to samotné měření s popisem měřicího přístroje, principu a průběhu měření.

##### **3.1.1 Lokality**

Pro sběr vzorků bylo vybráno chráněné území V Kalužích mezi obcemi Budišovice a Pustá Polom na Opavsku a lokalita u vodního díla Šance v Beskydech ve Starých Hamrech mezi obcemi Ostravice a Bílá. Obě lokality jsou znázorněny červeně na obrázku č. 3.1. Oblast V Kalužích byla vybrána z důvodu bydliště autorky. Oblast Starých Hamer v okolí nádrže Šance byla vybrána jako protiváha oblasti V Kalužích a také jako častý turistický cíl obyvatel Ostravska. Tato volba se ukázala velice zajímavou po hlubším seznámení se s problematikou spadu černobylského mraku. Dané situace a informace byly popsány v kapitole 2.4 - Popis černobylské havárie.



Obrázek č. 3.1 – Zájmová území

Chráněné území V Kalužích se nachází na geologickém podloží skládajícím se z prvohorní zvrásněné převážně usazené horniny, to jsou břidlice, droby, křemence a vápence. Okolí Starých Hamer je tvořeno druhohorní usazenou horninou alpinsky zvrásněnou, jsou to především pískovce a břidlice. Půdy V Kalužích jsou zastoupeny písčitohlinitými hnědozeměmi a v okolí přehrady Šance jsou převážně hlinité kyselé hnědé půdy. [25, 35]

### 3.1.2 Materiál

Jako materiál pro měření černobylské radioaktivity v Moravskoslezském kraji byly vybrány půdy, mech a houby. Byly odebrány 3 vzorky zeminy z každé lokality. Místa odběru byla vybrána náhodně v dané lokalitě. Jak bylo zmíněno výše, V Kalužích se nachází písčitohlinité hnědozemě a v Beskydech půdy hnědé kyselé hlinité. Z obou lokalit byl také odebrán vzorek mechu polníku obecného (*Polytrichum commune*), který je

zdokumentován na obrázku č. 3.2. Porost polníku obecného je řídký, tmavě až modře zelený. Lístky jsou 8–12 cm dlouhé. Vyskytuje se ve vlhkých lesních půdách či pastvinách. Je to velice častý a hojný mech, také jeden z největších evropských mechů. [26]



Obrázek č. 3.2 - *Polytrichum commune* – polník obecný

Hlavní částí měření jsou houby. Byly vybrány houby běžně se nacházející v podnebí České republiky a v zájmových oblastech (V Kalužích, Staré Hamry). Dalším faktorem pro výběr druhu hub byl článek pana prof. Ing. Pavla Kalače, CSc. - A review of edible mushroom radioactivity. Druhy hub vybrané pro měření: hřib (suchohřib) hnědý (*Xerocomus badius*), holubinka hlínožlutá (*Russula ochroleuca*), václavka obecná (*Armillariella mellea*) a muchomůrka červená (*Amanita muscaria*). Všechny druhy hub jsou zdokumentovány na obrázcích č. 3.3 – 3.6.



Obrázek č. 3.3 – *Xerocomus badius* - hřib (suchohřib) hnědý

Suchohřib hnědý má kaštanově hnědý klobouk s nažloutlými rourky. Dužina se na řezu zabarvuje modře a voní po ovoci. Roste v listnatých i jehličnatých lesích. Je jedlý.



Obrázek č. 3.4 – *Russula ochroleuca* – holubinka hlínožlutá

Holubinka hlínožlutá má bělavé, křehké a lámavé lupeny, později rezavě skvrnité. Je to nejrozšířenější rod s mnoha druhy. Vyskytuje se v listnatých i jehličnatých lesích. Tento druh holubinky má palčivou chuť, je tedy nejedlý (ne jedovatý).



Obrázek č. 3.5 – *Armillariella mellea* – václavka obecná

Klobouk václavky obecné je medově hnědý posetý tmavými šupinkami. Lupeny jsou nejprve bělavé, později hnědnou. Nachází se převážně v listnatých lesích, je to houba podzimní. Roste většinou na odumřelém dřevu, lze ji také najít na kořenech a dřevu ještě žijících stromů a křovin. Dřevu škodí. Patří mezi jedlé houby.



Obrázek č. 3.6 – *Amanita muscaria* – muchomůrka červená

Muchomůrka červená má zprvu klobouk kulovitý, později plochý s bíle vločkováným povrchem. Lupeny jsou bílé, u třeně volné. Třeň je bílý s charakteristickým prstencem. Roste ve všech typech lesů pod břízami a smrkou. Je jedovatá. [26]

### 3.1.3 Odběr materiálu

Jedním z materiálů je zemina. Je to část půdy odebraná z přirozeného prostředí bez interakce s ostatními složkami biosféry, pedosféry a hydrosféry. Dalším materiálem je mech a nejdůležitější jsou houby.

Při odběru zeminy byla náhodně vybrána 3 místa odběru. Na každém z vybraných míst byla svrchní vrstva půdy odstraněna, v hloubce cca 10 – 20 cm bylo do papírového pytle odebráno přibližně 1 kg zeminy v oblasti V Kalužích a okolo 400 g zeminy v oblasti Starých Hamer. Před samotnou přípravou vzorků byla zemina ponechána v otevřených papírových pytlích.

Odběr mechu byl následující: náhodně bylo vybráno jedno místo v dané lokalitě. Mech byl i s drnem vykopán a vložen do papírového pytle. Tak jako u zemin byl do doby před samotnou úpravou ponechán v otevřeném papírovém pytli.

Sběr hub probíhal klasickým způsobem, a to hledáním a sbíráním hub v lokalitách V Kalužích i v oblasti Starých Hamer. Před samotným zpracováním na vzorky byly plodnice nakrájeny a sušeny při pokojové teplotě. Následně byly uchovávány v otevřených papírových pytlích.

### 3.1.4 Příprava vzorků

Zemina byla zhomogenizována, zbavena kamenů a nerozložených biologických zbytků (kusy kůry, jehličí, listí atd.). Následně byla přesyta přes síto a vložena do skleněných laboratorních kádinek nebo plastových kádinek označených typem vzorku. Mech, který byl částečně usušen při pokojové teplotě z důvodu ponechání v otevřeném papírovém pytli, byl nastříhán na drobné části a vložen buď do skleněné laboratorní kádinky nebo do malé skleničky s popisem vzorku. Nakrájené a usušené houby (při pokojové teplotě) byly rozděleny podle tří kritérií. Prvním kritériem byla lokalita, tedy vzorky z Kaluží a z oblasti Starých Hamer. Druhým kritériem byl druh hub a to hřib hnědý, holubinka hlínožlutá, václavka obecná a muchomůrka červená. Jako třetí kritérium byly části plodnice. Druhy hub byly tedy rozděleny na klobouk a nohu. Každý vzorek byl vložen do skleněné laboratorní kádinky s popisem vzorku. Takto připravené kádinky se vzorky byly dány do sušárny. Byl nastaven jeden cyklus sušení, a to na dobu 22 hodin při konstantní teplotě 106 °C. Fotodokumentace tohoto postupu je na obrázcích č. 3.7 – 3.9. Doba sušení a teplota v jednom cyklu byla stanovena podle normy ČSN 17892-1



Geotechnický průzkum a zkoušení – laboratorní zkoušky zemin. Tato norma udává, že zeminy mají být sušeny v teplotním rozsahu  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  po dobu 16 – 24 hodin.



Obrázek č. 3.7 – Vzorky připravené na sušení



Obrázek č. 3.8 – Vzorky v kádinkách a skleničkách



Obrázek č. 3.9 – Vzorky v sušárně

Po vysušení byl každý ze vzorků ručně lisován v lisovadlech navržených a vyrobených za tímto účelem v dílně Institutu fyziky VŠB – TU Ostrava. Výsledkem byly tablety, které sloužily k samotnému měření. Byla vyrobena dvě lisovadla. První na malé tablety o průměru cca 1 cm. Toto samotné lisovadlo má tvar šestistěnu a je složeno ze tří částí - z pístu, těla a odnímatelné spodní části. V těle lisovadla je otvor právě o průměru 1 cm a délce 5 cm. Druhé lisovadlo sloužilo pro výrobu tablet o průměru cca 3 cm. Lisovadlo má tvar válce a je opět složeno ze tří částí totožných s lisovadlem prvním. V těle druhého lisovadla je otvor o průměru 3 cm a délce 4 cm. Obě lisovadla znázorňují obrázky č. 3.10 – 3.12.



Obrázek č. 3.10 – Lisovadlo na malé tablety, ukázka malých tablet



Obrázek č. 3.11 – Lisovadla, pohled z boku



Obrázek č. 3.12 – Lisovadla, pohled shora

Postup lisování byl následující: vysušený materiál byl ručně napěchován do lisovadla a pomocí pístu a svěráku byla vylišována tableta. Na materiál působil tlak 6,4 GPa u lisovadla pro malé tablety a u lisovadla pro tablety velké působil na materiál tlak 0,7 GPa. Výpočty jsou uvedeny níže. Samotné lisování je na obrázku č. 3.13. Pomocí malého lisovadla byly vytvořeny malé tablety ze všech vzorků hub, mechu a po jednom vzorku zeminy z daných lokalit. Velkým lisovadlem byly vytvořeny velké tablety pouze ze suchohřibů z Kaluží. Dalšími vzorky pro měření byla opět zemina. Tentokrát se do plastových nádobek upěchovalo přibližně stejné množství zeminy po třech vzorcích z každé lokality. Následovalo vážení jednotlivých vzorků na laboratorních vahách (obrázek č. 3.14) a měření rozměrů každého z nich (výška, průměr) pomocí posuvného měřítka s přesností měření 0,1 mm. Z těchto naměřených hodnot byl dále vypočten objem každého vzorku. Hodnoty byly zpracovány do tabulek č. 3.1, 3.2, 3.3 a 3.4. Po naměření požadovaných hodnot byla každá tableta umístěna zvlášť do uzavíratelné plastové nádoby viditelné na obrázku č. 3.15. Malé tablety byly použity při měření  $^{137}\text{Cs}$ , naopak velké tablety byly použity při kombinovaném měření  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{137}\text{Cs}$ .



Obrázek č. 3.13 – Malé lisovadlo ve svěráku



Obrázek č. 3.14 – Měření hmotnosti tablety na laboratorních vahách



Obrázek č. 3.15 – Tablety v uzavřených plastových nádobkách

PETRA KOLIČOVÁ: SOUČASNÁ ČERNOBYLSKÁ RADIOAKTIVITA VYBRANÝCH ROSTLIN A  
HUB NA ÚZEMÍ MORAVSKOSLEZSKÉHO KRAJE

Tabulka č. 3.1 – Naměřené hodnoty malých tablet vzorků z Beskyd

<b>vzorek</b>	<b>hmotnost [g]</b>	<b>výška [mm]</b>	<b>šířka [mm]</b>	<b>objem [mm<sup>3</sup>]</b>
<b>suchohřiby klobouk</b>	0,970	10,0	10,0	785,398
<b>suchohřiby nohy</b>	0,793	8,1	10,5	701,380
<b>muchomůrka klobouk</b>	0,823	10,1	10,4	857,982
<b>muchomůrka nohy</b>	1,182	12,4	9,8	935,328
<b>holubinka klobouk</b>	1,272	13,5	10,4	1146,807
<b>holubinka nohy</b>	0,790	8,2	10,3	683,248
<b>václavky klobouk</b>	0,962	10,1	10,4	857,982
<b>václavky nohy</b>	0,976	10,4	10,4	883,466
<b>mech</b>	0,790	12,5	10,5	1082,377
<b>půda</b>	1,599	12,5	10,4	1061,858

Tabulka č. 3.2 - Naměřené hodnoty malých tablet vzorků z Kaluží

<b>vzorek</b>	<b>hmotnost [g]</b>	<b>výška [mm]</b>	<b>šířka [mm]</b>	<b>objem [mm<sup>3</sup>]</b>
<b>suchohřiby klobouk</b>	1,101	11,9	10,4	1010,889
<b>suchohřiby nohy</b>	0,854	8,5	10,1	681,007
<b>muchomůrka klobouk</b>	0,547	6,2	10,1	496,735
<b>muchomůrka nohy</b>	0,930	10,3	10,3	858,226
<b>holubinka klobouk</b>	1,136	12,3	10,4	1044,869
<b>holubinka nohy</b>	0,744	7,7	10,2	629,189
<b>václavky klobouk</b>	0,946	10,1	10,4	857,982
<b>václavky nohy</b>	1,170	11,6	10,3	966,546
<b>mech</b>	0,869	12,3	10,4	1044,869
<b>půda</b>	1,142	9,7	10,3	808,232

Tabulka č. 3.3 – Hodnoty velkých tablet suchohřibů z Kaluží pro měření  $^{134}\text{Cs}$

vzorek	hmotnost [g]	výška [mm]	šířka [mm]	objem [mm <sup>3</sup> ]
tableta I	4,068	7,0	30,5	5121,026
tableta II	3,860	6,7	30,5	4930,817
tableta III	4,064	7,4	30,5	5399,025
tableta IV	4,117	7,3	30,5	5311,236

Tabulka č. 3.4 – Naměřené hodnoty vzorků půd v plastových nádobkách

vzorek	hmotnost [g]	výška [mm]	šířka [mm]	objem [mm <sup>3</sup> ]
<b><u>Beskydy</u></b>				
půda I	9,104	18,2	34,6	17092,723
půda II	16,635	18,3	34,5	17184,381
půda III	17,573	16,3	34,4	15165,983
<b><u>V Kalužích</u></b>				
půda I	15,304	16,5	34,5	15497,800
půda II	15,802	18,0	34,4	16768,286
půda III	15,880	17,3	34,6	16322,758

Tlak pístu na materiál byl vypočten podle následujících vzorců (při výpočtu bylo zanedbáno tření):

$$p = \frac{F}{S} \quad , \text{ kde } p \text{ je tlak, } F \text{ síla na píst a } S \text{ plocha. Pro výpočet byly použity}$$

další vzorce:

$F = F_s \cdot D$  , kde  $F_s$  je síla na páku svěráku a  $D$  je pákový poměr (bezrozměrné číslo)

$$D = \frac{2\pi \cdot l}{x} \quad , \text{ kde } l \text{ je délka páky svěráku a } x \text{ je posun svěráku při jedné otáčce}$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \text{ kde } d \text{ je průměr pístu.}$$

Hodnoty použité při výpočtu:

$$F_s = 800 \text{ N (odhad síly, při lisování mužem o váze cca 80 kg)}$$

$$l = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$$

$$x = 2 \text{ mm} = 0,002 \text{ m}$$

$$d_1 = 1 \text{ cm} = 0,01 \text{ m (průměr pístu pro malé tablety)}$$

$$d_2 = 3 \text{ cm} = 0,03 \text{ m (průměr pístu pro velké tablety)}$$

Samotné výpočty:

$$p = \frac{F}{S} \quad \Rightarrow \quad p_1 = \frac{4 \cdot 5,02 \cdot 10^5}{\pi \cdot 0,01^2}$$

$$p_1 = 6,4 \text{ GPa pro menší lisovadlo}$$

$$\Rightarrow \quad p_2 = \frac{4 \cdot 5,02 \cdot 10^5}{\pi \cdot 0,03^2}$$

$$p_2 = 0,7 \text{ GPa pro větší lisovadlo}$$

$$F = F_s \cdot D \quad \Rightarrow \quad F = 800 \cdot 628$$

$$F = 5,02 \cdot 10^5 \text{ N}$$

$$D = \frac{2\pi \cdot l}{x} \quad \Rightarrow \quad D = \frac{2\pi \cdot 0,2}{0,002}$$

$$D = 628$$

Po vylisování tablet následovalo samotné měření na germániovém polovodičovém detektoru. Jedná se o spektroskopii  $\gamma$ .

### 3.1.5 Popis měřicího přístroje

Pro detekci záření  $\gamma$  z námi vybraného materiálu (houby, půdy a mech) byl použit germániový polovodičový detektor s označením GC3038 (obrázek č. 3.16). Tento typ polovodičového detektoru musí být chlazen kapalným dusíkem i v době mimo měření. Polovodičový detektor byl zmíněn již dříve v kapitole 2.1.



Obrázek č. 3.16 – Germániový polovodičový detektor chlazený kapalným dusíkem

Nabitá částice může uvolnit nositele náboje v krystalu pevné látky. Odvedením vzniklých nositelů náboje (elektrony, díry) k elektrodám vzniká elektrický proud. V citlivém objemu detektoru (oblast bez volných nábojů) je velké množství látky, proto se v něm zabrzdí i částice s velkou energií. Je tedy velice často používán pro detekci záření  $\gamma$ . Měrný odpor germania není při pokojové teplotě dostatečně velký. Z tohoto důvodu se snižuje teplota detektorů, nejčastěji kapalným dusíkem, a používají se velmi čisté látky nebo látky se speciální příměsí. [9]

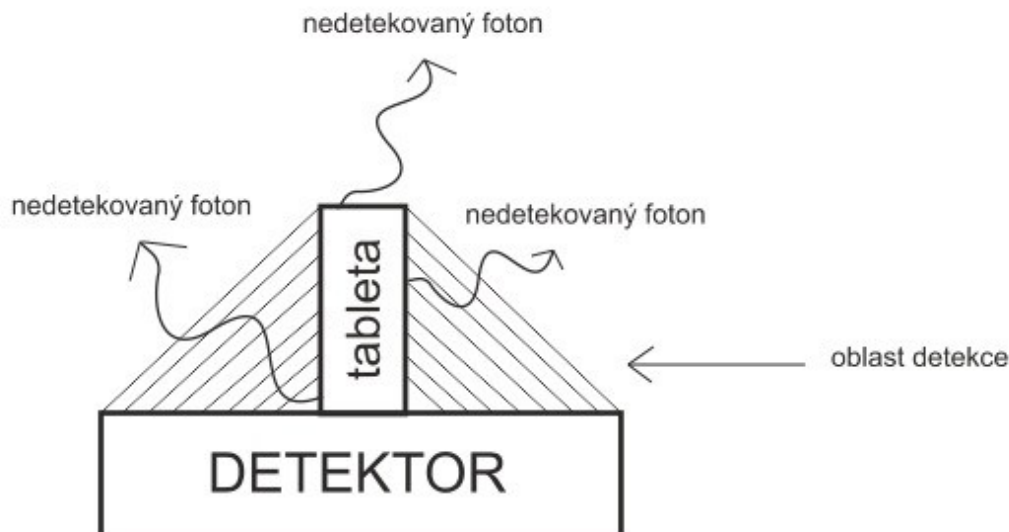
Je vytvořen takzvaný přechod „p-n“. To je spojení polovodiče typu *p* (kde se vyskytují kladné díry) a typu *n* (nositeli náboje jsou záporné elektrony). Takto získáme v polovodiči oblast zbavenou volných nábojů. Vložíme-li na polovodič napětí *U* v závěrném směru, zvětší se oblast citlivého objemu detektoru. Tu je možno zvětšovat buď zvyšováním napětí nebo zvyšováním čistoty materiálu. [9]



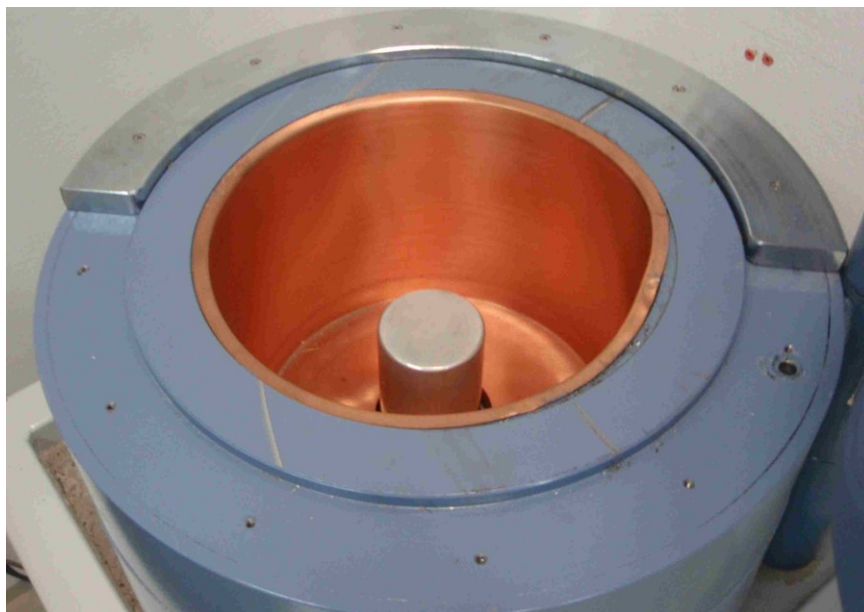
Germániový detektor použitý pro měření vzorků je velmi vhodný a často používaný pro spektroskopii záření  $\gamma$ . Tento detektor pracuje s přechodem „p-i-n“, což značí příměs lithia nebo další speciální úpravy v germániu. Může mít objem oblasti bez volných nábojů až  $100 \text{ cm}^3$ . Nevýhodou je nutnost stálého chlazení detektoru pomocí kapalného dusíku s teplotou  $\sim 77 \text{ K}$  ( $-196,15 \text{ }^\circ\text{C}$ ) i mimo dobu měření. [9]

Gama záření nemá náboj, proto musí nejprve nastat konverze na nabitě částice. Ta nastává pomocí fotoelektrického děje, Comptonova jevu a tvorbou párů elektron-pozitron. V případě  $\gamma$  záření měřeného v této práci docházelo pouze k fotoelektrickému ději a Comptonovu jevu (ty byly vysvětleny v kapitole 2.1 – Základní pojmy a poznatky jaderné fyziky).

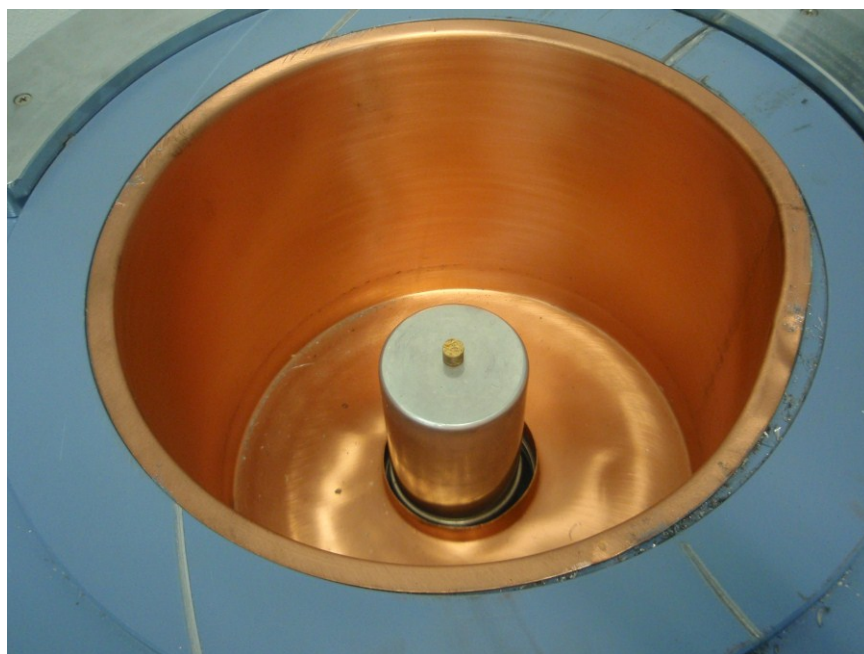
Měření na germániovém polovodičovém detektoru probíhalo za napětí 4 – 5 kV. Samotný detektor GC3038 zachytává pouze určitý kužel záření  $\gamma$  (toto záření se pohybuje od vzorku všemi směry). Tuto problematiku znázorňuje obrázek č. 3.17. Při měření byly jednotlivé tablety položeny doprostřed detektoru, který byl umístěn v masivním stínění složeném z 10 cm olova Pb, 1 mm kadmia Cd a 1 mm mědi Cu. Následně bylo nastaveno měření v softwaru Genie 2000. Detektor při otevřeném stínění zobrazují obrázky č. 3.18 - 3.19.



Obrázek č. 3.17 – Geometrie detekce záření  $\gamma$  z tablet

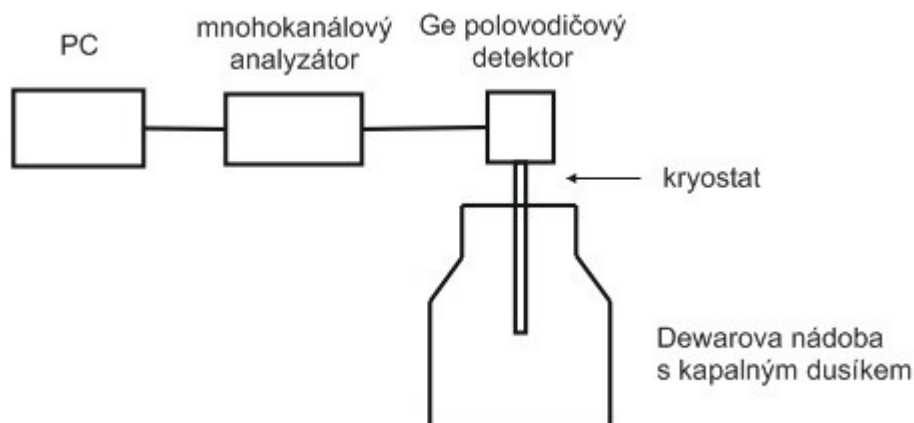


Obrázek č. 3.18 – Otevřené stínění, samotný detektor



Obrázek č. 3.19 – Detektor s vloženou malou tabletou

Schéma měřící aparatury je vyobrazeno na obrázku č. 3.20. Germániový polovodičový detektor je nepřetržitě chlazen kapalným dusíkem, který je přechováván v Dewarově nádobě. Odtud jsou přenášena naměřená data do mnohokanálového analyzátoru propojeného s počítačem. V počítači jsou data vyhodnocována pomocí spektrometrického softwaru Genie 2000.



Obrázek č. 3.20 – Schéma měřicí aparatury

K určení energií detekovaného  $\gamma$  záření a k určení závislosti účinnosti detektoru na energii detekovaného  $\gamma$  záření byl použit kalibrační etalon  $\gamma$  záření  $^{152}\text{Eu}$  certifikovaný Českým metrologickým institutem.

Kalibrační data byla vyhodnocena softwarem Genie 2000 a byla získána následující závislost účinnosti detekce  $\eta$  na energii  $\gamma$  záření  $e$  v keV (výpočet účinnosti je uveden níže v podkapitole vyhodnocení výsledků):

$$\ln(\eta) = 2,578 - 1,086 \cdot \ln(e) + 2,975 \cdot 10^{-2} \cdot \ln(e)^2.$$

### 3.2 Vyhodnocení výsledků

Pro hodnocení výsledků bylo vytvořeno několik tabulek s hodnotami energie pro dané izotopy Cs a s dobou měření. Byla také vypočtena plocha píku (integrální součet pulzů pro daný  $\gamma$  přechod) s příslušnou chybou a relativní hmotnostní aktivita s danou nejistotou měření. Pomocí této relativní hmotnostní aktivity byly porovnány a vyhodnoceny jednotlivé druhy hub a také části hub (klobouky, nohy). Popisem výsledků, výpočty, tabulkami, grafem a vyhodnocením se zabývají následující podkapitoly.

#### 3.2.1 Tabulky, výpočty, graf

Tato podkapitola obsahuje veškeré tabulky potřebné k vyhodnocení dat (tabulky č. 3.5 – 3.7). Jsou zde uvedeny také výpočty použité pro zjištění potřebných hodnot k porovnání výsledků (relativní hmotnostní aktivita, účinnost...). Samotné výsledky byly přehledně zpracovány do sloupcového grafu č. 3.1.

PETRA KOLIČOVÁ: SOUČASNÁ ČERNOBYLSKÁ RADIOAKTIVITA VYBRANÝCH ROSTLIN A  
HUB NA ÚZEMÍ MORAVSKOSLEZSKÉHO KRAJE

Tabulka č. 3.5 – Hodnoty malých tablet pro  $^{137}\text{Cs}$

vzorek	energie $^{137}\text{Cs}$ [keV]	plocha píku $\pm$ chyba	doba měření [s]	hmotnost [g]	relativní hmotnostní aktivita $\pm$ nejistota
<b><u>Beskydy</u></b>					
půda	661,69	150 $\pm$ 40	46986	1,599	0,14 $\pm$ 0,04
mech	661,63	490 $\pm$ 50	47596	0,790	0,91 $\pm$ 0,08
václavky klobouk	0	0	3599	0,962	0 $\pm$ 0
václavky nohy	661,87	20 $\pm$ 7	3599	0,976	0,300 $\pm$ 0,13
holubinka klobouk	661,78	60 $\pm$ 10	3599	1,272	0,86 $\pm$ 0,15
holubinka nohy	661,10	30 $\pm$ 12	3599	0,790	0,765 $\pm$ 0,29
muchomůrka klobouk	661,59	30 $\pm$ 10	3599	0,823	0,62 $\pm$ 0,23
muchomůrka nohy	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	3599	1,182	0 $\pm$ 0
suchohřiby klobouk	661,46	60 $\pm$ 10	3598	0,970	1,25 $\pm$ 0,25
suchohřiby nohy	661,76	40 $\pm$ 10	3598	0,793	1,00 $\pm$ 0,25
<b><u>V Kalužích</u></b>					
půda	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	59251	1,142	0 $\pm$ 0
mech	661,55	1280 $\pm$ 50	45405	0,869	2,28 $\pm$ 0,09
václavky klobouk	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	7198	0,946	0 $\pm$ 0
václavky nohy	661,84	60 $\pm$ 10	7195	1,170	0,5 $\pm$ 0,1
holubinka klobouk	661,52	2190 $\pm$ 50	7199	1,136	18,8 $\pm$ 0,5
holubinka nohy	661,56	830 $\pm$ 30	7197	0,744	10,9 $\pm$ 0,5
muchomůrka klobouk	661,88	30 $\pm$ 10	7197	0,547	0,54 $\pm$ 0,18
muchomůrka nohy	661,96	50 $\pm$ 10	7198	0,930	0,56 $\pm$ 0,13
suchohřiby klobouk	661,66	2960 $\pm$ 60	7193	1,101	26,2 $\pm$ 0,5
suchohřiby nohy	661,41	2720 $\pm$ 55	7198	0,854	31,1 $\pm$ 0,7

PETRA KOLIČOVÁ: SOUČASNÁ ČERNOBYLSKÁ RADIOAKTIVITA VYBRANÝCH ROSTLIN A HUB NA ÚZEMÍ MORAVSKOSLEZSKÉHO KRAJE

Tabulka č. 3.6 – Vzorky půd jednotlivých lokalit pro  $^{137}\text{Cs}$

vzorek	energie $^{137}\text{Cs}$ [keV]	plocha píku s chybou	doba měření [s]	hmotnost [g]	relativní hmotnostní aktivita ± nejistota
<b><u>Beskydy</u></b>					
půda I	661,59	2400 ± 70	75578	9,104	0,245 ± 0,008
půda II	661,53	1550 ± 60	75532	16,635	0,087 ± 0,004
půda III	661,33	90 ± 20	7199	17,573	0,048 ± 0,010
<b><u>V Kalužích</u></b>					
půda I	661,54	4150 ± 80	75586	15,304	0,252 ± 0,005
půda II	661,59	390 ± 20	7197	15,802	0,238 ± 0,015
půda III	661,72	500 ± 50	75585	15,880	0,0292 ± 0,0029

Tabulka č. 3.7 – Izotopy Cs v suchohříbech z Kaluží

Cs	energie [keV]	plocha píku	doba měření [s]	hmotnost [g]	relativní hmotnostní aktivita	poměr relativních aktivit
$^{137}\text{Cs}$	661,49	2595000 ± 3000	654037	29,591	9,410 ± 0,010	0,00023 ± 0,00007
$^{134}\text{Cs}$	604,61	800 ± 200			0,0022 ± 0,0007	

Výpočty:

Relativní hmotnostní aktivita

$$A_r(^{137}\text{Cs}) = \frac{S}{0,85 \cdot t \cdot m \cdot 0,0167627}$$

$$A_r(^{134}\text{Cs}) = \frac{S}{0,99 \cdot t \cdot m \cdot 0,018383}$$

$S$  – plocha píku

$t$  – doba měření

$m$  – hmotnost

0,85 – tzn. 85% případů, kdy se při rozpadu  $^{137}\text{Cs}$  vyzáří foton

0,99 – tzn. 99% případů, kdy se při rozpadu  $^{134}\text{Cs}$  vyzáří foton

0,016763 – účinnost měření pro  $^{137}\text{Cs}$  (viz níže)

0,018383 - účinnost měření pro  $^{134}\text{Cs}$  (viz níže)

Nejistota

$$U_{A_r} = \frac{x}{100} \cdot A_r$$

$x$  – chyba

$A_r$  - relativní hmotnostní aktivita

100 – chyba je udávána v %

Účinnost měření

$$\ln(\eta) = 2,578 - 1,086 \cdot \ln(e) + 2,975 \cdot 10^{-2} \cdot \ln(e)^2$$

$\eta$  – účinnost

$e$  – energie daného izotopu Cs

$$\text{účinnost pro } ^{137}\text{Cs} \quad \Rightarrow \quad \eta(^{137}\text{Cs}) = 0,016763$$

$$\text{účinnost pro } ^{134}\text{Cs} \quad \Rightarrow \quad \eta(^{134}\text{Cs}) = 0,018383$$

Poměr aktivit izotopů  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{137}\text{Cs}$

$$\frac{A(^{134}\text{Cs})}{A(^{137}\text{Cs})} = 0,54 \cdot \frac{e^{-\frac{\ln 2}{T_{134}} \cdot t}}{e^{-\frac{\ln 2}{T_{137}} \cdot t}} \quad \text{nebo} \quad \frac{A(^{134}\text{Cs})}{A(^{137}\text{Cs})} = 0,57 \cdot \frac{e^{-\frac{\ln 2}{T_{134}} \cdot t}}{e^{-\frac{\ln 2}{T_{137}} \cdot t}}$$

0,54 (jinde 0,57) – poměr aktivit  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{137}\text{Cs}$  při výbuchu [17]

$T_{134}$  – poločas rozpadu  $^{134}\text{Cs}$

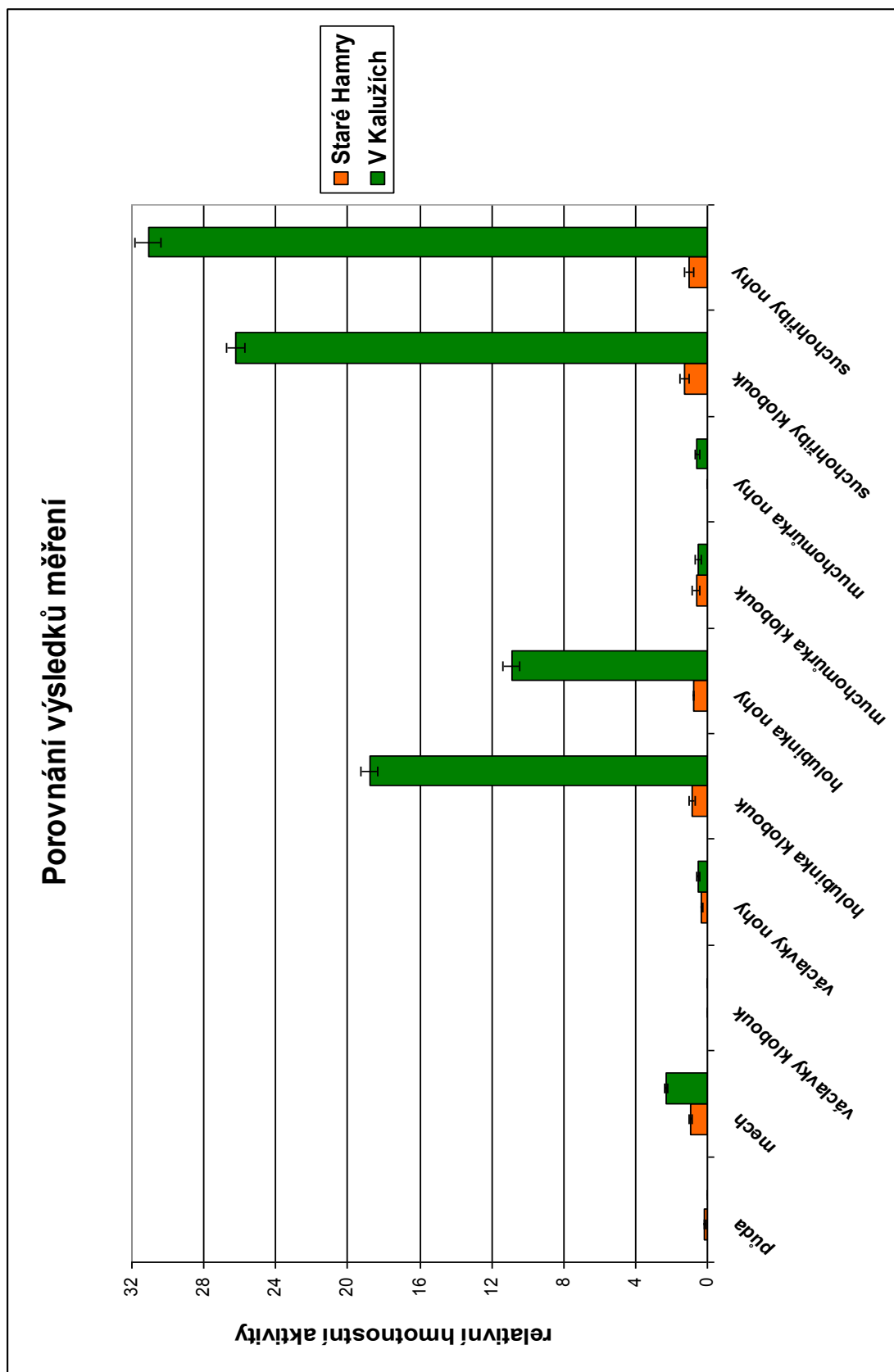
$T_{137}$  – poločas rozpadu  $^{137}\text{Cs}$

$t$  – čas od spadu radioaktivního mraku ke dni měření (25,86 let)

$$\text{poměr aktivit izotopů Cs pro 0,54} \Rightarrow \frac{A(^{134}\text{Cs})}{A(^{137}\text{Cs})} = 0,00016$$

$$\text{poměr aktivit izotopů Cs pro 0,57} \Rightarrow \frac{A(^{134}\text{Cs})}{A(^{137}\text{Cs})} = 0,00017$$

K vytvoření sloupcového grafu č. 3.1 byla použita výše uvedená tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro malé tablety. Do grafu byly zaneseny také nejistoty, které jsou úzce spojeny s měřením. Grafické znázornění vypočtených hodnot velice usnadnilo a zpřehlednilo vyhodnocení a porovnání výsledků.



Graf č. 3.1 – Porovnání výsledků měření malých tablet pro  $^{137}\text{Cs}$



### 3.2.2 Porovnání výsledků

Při vyhodnocování výsledků naměřených dat byla porovnávána relativní hmotnostní aktivita vzorků, která je přehledně znázorněna v grafu č. 3.1. U malých tablet se vzorky hub z Kaluží a z oblasti Starých Hamer bylo použito několik porovnávacích postupů. V prvním postupu byly porovnávány klobouky s nohami od téhož druhu houby v dané lokalitě (V Kalužích, okolí Starých Hamer). Při druhém postupu byly porovnávány navzájem stejné části stejného druhu hub z vybraných lokalit. V neposlední řadě bylo stanoveno pořadí vzorků od největší relativní hmotnostní aktivity po nejmenší. Při porovnávání výsledků bylo přihlédnuto k výšce tablety měřeného vzorku. Platí, že čím vyšší je měřený vzorek, tím nižší relativní hmotnostní aktivitu naměříme. Příčinou tohoto efektu je samoabsorpce  $\gamma$  záření v materiálu tablety a vzdálenost tablety od detektoru (problematika znázorněna na obrázku č. 3.17). Pokud zanedbáme samoabsorpci a budeme předpokládat průměrnou výšku malých tablet cca 10 mm, jsou získané hodnoty  $A_r$  zatíženy navíc maximální relativní chybou 30%.

Pomocí výše uvedených porovnávacích postupů byly stanoveny následující závěry. U malých tablet vzorků lze říci, že polník obecný z Kaluží má vyšší relativní hmotnostní aktivitu ( $A_r$ ) než z oblasti Starých Hamer. Zároveň můžeme říci, že mech vykazuje mnohem větší  $A_r$  než půda. Bylo zjištěno, že u zkoumaných hub, s výjimkou holubinky hlínožluté, není žádný markantní rozdíl v relativních hmotnostních aktivitách mezi částmi hub v jedné dané lokalitě (např. mezi klobouky a nohami z Kaluží). Mezi klobouky (nohami) námi měřených druhů hub ze Starých Hamer a z Kaluží je rozdíl  $A_r$  a to takový, že např. V Kalužích je  $A_r$  mnohonásobně vyšší (20 – 30 krát) u suchohříbu hnědého či holubinky hlínožluté než v oblasti Starých Hamer. U holubinky hlínožluté bylo zjištěno, že  $A_r$  je markantně vyšší u klobouku než u noh a to ze všech měřených druhů hub. Na základě článků P. Kalače; P. Dvořáka a kolektivu; J. Horyny a Z. Řandy se potvrdilo, že suchohřib hnědý vykazuje nejvyšší relativní hmotnostní aktivitu [36, 37, 38]. Z výše uvedených závěrů byly vzorky sestupně seřazeny podle klesající relativní hmotnostní aktivity následně: suchohřib hnědý, holubinka hlínožlutá, polník obecný, václavka obecná, muchomůrka červená a půda.

Při porovnávání relativních hmotnostních aktivit u vzorků půd v plastových nádobkách byly pozorovány velké odlišnosti. V oblasti Starých Hamer jsou způsobeny různým složením odebraných půd z náhodně vybraných stanovišť. Např. vzorek půdy I byl odebrán v místech tlejícího stromu. Ačkoli výška vzorku je v podstatě srovnatelná s ostatními, další hodnoty se velice liší. Hmotnost půdy I z Beskyd je nejmenší, zato  $A_r$  je největší ze vzorků z Beskyd a zároveň srovnatelná s hodnotami půd z Kaluží.

Měření a následné vyhodnocení dat naměřených pro velké tablety, vytvořené ze suchohřibů hnědých z Kaluží, nám posloužilo pro porovnání poměru aktivit izotopů  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{137}\text{Cs}$ . Z námi vypočtené hodnoty poměru aktivit izotopů vyplývá, že v podstatě veškeré naměřené  $^{137}\text{Cs}$  pochází z havárie jaderné elektrárny Černobyl. Konkrétní námi vypočtená hodnota byla uvedena v tabulce č. 3.7 a aktivity pro porovnání byly uvedeny v podkapitole 3.2.2 v odstavci výpočty.

## 4. ZÁVĚR

Náplní práce bylo zkoumání černobylské radioaktivity vybraných rostlin a hub na území Moravskoslezského kraje. Pomocí germániového polovodičového detektoru byly analyzovány izotopy Cs. Potvrdilo se, že izotop  $^{137}\text{Cs}$  se v dnešní době stále hojně vyskytuje v životním prostředí. Jako indikátory znečištění byly použity vybrané druhy hub. Při měření bylo zjištěno také malé množství izotpu  $^{134}\text{Cs}$ . Tento izotop má poločas rozpadu 2,06 let a i přes tuto skutečnost byl v malém množství detekován. Díky této detekci mohl být srovnán poměr aktivit  $^{134}\text{Cs} / ^{137}\text{Cs}$  z doby výbuchu a dnes. Potvrdilo se tak, že námi naměřené  $^{137}\text{Cs}$  V Kalužích pochází z černobylské havárie (jen zanedbatelné množství může být pozůstatkem zkoušek jaderných zbraní v padesátých a šedesátých letech minulého století).

Materiálem vhodným pro detekci  $^{137}\text{Cs}$  byl hřib (suchohřib) hnědý (*Xerocomus badius*), holubinka hlínožlutá (*Russula ochroleuca*), václavka obecná (*Armillariella mellea*) a muchomůrka červená (*Amanita muscaria*). Dále pak mech polník obecný (*Polytrichum commune*) a půdy z vybraných lokalit. Lokalitami jsou Opavsko (V Kalužích) a okolí vodní nádrže Šance v Beskydech (Staré Hamry).

Potvrdilo se, že suchohřib hnědý vykazuje největší relativní hmotnostní aktivitu ( $A_r$ ). Za ním následuje holubinka hlínožlutá, polník obecný, václavka obecná, muchomůrka červená a půda. Je také velký rozdíl mezi lokalitami. Oblast V Kalužích má vyšší hodnoty relativní hmotnostní aktivity u měřených vzorků mechu a většiny hub než oblast Starých Hamer. Dá se také tvrdit, že není podstatný rozdíl mezi hodnotami  $A_r$  části plodnice hub a to kloboukem a nohou vyjma holubinky hlínožluté. Z výše zmíněných výsledků porovnání vzorků vyplývá, že houby absorbují Cs ve svých plodnicích bez rozdílu části. Ovšem každý druh vstřebává tyto látky jinak. Je to dáno stavbou hub, jejich příjmem látek, metabolismem a v neposlední řadě také podložím, na kterém se vyskytují. Podloží je ovlivněno klimatickými, meteorologickými, geologickými a pedologickými podmínkami. Vysvětlením, proč v oblasti V Kalužích byla naměřena vyšší relativní hmotnostní aktivita než v oblasti Starých Hamer, jsou data z období přechodu radioaktivního mraku nad územím tehdejší ČSSR. Jedná se o proudění a výskyt srážek nad Evropou (ČSSR) po jaderné havárii v Černobylu. V době přechodu radioaktivního mraku nad ČSSR, tedy i nad Opavskem, byly zaznamenány srážky, které však byly v oblasti Beskyd zanedbatelné. Tato skutečnost ovlivnila rozdíly velikostí relativních hmotnostních aktivit v zájmových oblastech.

Pokračováním této práce by mohlo být zkoumání dalších druhů hub ze stejných oblastí. Zajímavým materiálem by mohla být voda a jiné rostliny téže oblasti. Hmotnostní aktivita a kvantita požitých hub, s tím spojené vnitřní ozáření a jeho následky pro organismus, by mohly být dalšími oblastmi zkoumání.

## Seznam použité literatury

1. MECHLOVÁ, Erika et al. *Výkladový slovník fyziky pro základní vysokoškolský kurz*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 2001, 588 s. ISBN 80-7196-151-5.
2. KUSALA, Jaroslav. *Jaderná energetika: Atomové jádro*. CEZ [online]. 2004 [cit. 2012-02-23].  
Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/k21.htm>
3. UNIVERSITY OF COLORADO AT BOULDER. *Interactive simulations: Rutherford scattering* [online]. 2011 [cit. 2012-02-25].  
Dostupné z: <http://phet.colorado.edu/en/simulation/rutherford-scattering>
4. SÚRO. *Základní pojmy* [online]. 2011 [cit. 2012-02-25]. Dostupné z: <http://www.suro.cz/cz/rms/informace-statniho-ustavu-radiacni-ochrany-v-v-i-k-udalostem-v-japonsku/zakladni-pojmy>
5. FREITINGER SKALICKÁ, Zuzana a kol. *Radiobiologie: Radioaktivita* [online]. 2010 [cit. 2012-02-25]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/1-kapitola/13/132.html>
6. ULLMANN, Vojtěch. *Jaderná a radiační fyzika: 1.2 Radioaktivita* [online]. 2010 [cit. 2012-02-25]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika2.htm>
7. ÚLEHLA, Ivan, Michal SUK a Zbyšek TRKA. *Atomy, jádra, částice*. 1. vyd. Praha: Academia, 1990, 500 s. ISBN 80-200-0135-2.
8. ULLMANN, Vojtěch. *Detekce a spektrometrie ionizujícího záření*. *Jaderná fyzika* [online]. 2010 [cit. 2012-03-05]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/DetekceSpektrometrie.htm>
9. *Orientační stanovení hmotnostní aktivity - Stanovení samoabsorpce ionizujícího záření v sytkém materiálu*. *Radiobiologie potravin a radiobiologické vyšetřovací metody pro posluchače navazujícího magisterského programu Fakulty veterinární hygieny a ekologie VFU Brno* [online]. 2011 [cit. 2012-03-06]. Dostupné z: <http://cit.vfu.cz/biochemie/radiobiol%20ulohy.htm>

10. REICHL a Martin VŠETIČKA. Radioaktivní záření v organismu a veličiny s tím související. *Encyklopedie fyziky*[online]. 2006 - 2012 [cit. 2012-03-22]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/843-radioaktivni-zareni-v-organismu-a-veliciny-s-tim-souvisejici>
11. BRESLER, S.J. *Radioaktivní prvky*. 1. vyd. Jiří Dvořák, Zdeněk Spurný, František Běhounek. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1959, 370 s. ISBN 19460-7533/68.
12. MIKULČÁK, Jiří, Bohdan KLIMEŠ, Jaromír ŠIROKÝ, Václav ŠŮLA a František ZEMÁNEK. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. 4. vyd. Praha: Prometheus, spol. s.r.o., 2008, 206 s. ISBN 978-80-7196-345-5.
13. KOTLÍK, Bohumír, Vladimír LANK, Květoslava RŮŽIČKOVÁ, Miroslav VONDRA a Zdeněk VOŠICKÝ. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky*. 1. vyd. Havlíčkův Brod: Fragment, 2003, 287 s. ISBN 80-7200-521-9.
14. MIKULČÁK, Jiří, Ladislav KRKAVEC, Bohdan KLIMEŠ, Josef BARTŮNĚK, Jaromír ŠIROKÝ a Marie PAUKOVÁ. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky*. 4. doplněné. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1970, 348 s. ISBN 14-033-71.
15. VOHLÍDAL, Jiří, Alois JULÁK, Karel ŠTULÍK. *Chemické a analytické tabulky*. Praha: Grada Publishing, spol. s.r.o., 1999, 652 s. ISBN 80-7169-855-5.
16. VAN HISE, J.R., D.C. CAMP a R.A. MEYER. Decay of the  $^{134}\text{Cs}$  isomers and the levels of  $^{134}\text{Xe}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ , and  $^{134}\text{Ba}$ . *Z. Physik*. 1975, č. 274, 383 - 389.
17. TAYLOR, H.W., J. SVOBODA, G.H.R. HENRY a R.W. WEIN. Post-Chernobyl  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  Levels at Some Localities in Northern Canada. *Arctic*. 1988, roč. 41, NO.4, s. 293-296.
18. SINGH, Balraj, Alexander A. RODIONOV a Yuri L. KHAZOV. Nuclear Data Sheets for A=135. *Nuclear Data Sheets*. 2008, č. 109, s. 517.
19. BENEŠ, Jaroslav. *Radioaktivní zamoření biosféry*. 1. vyd. Praha: Academia, 1974, 236 s. ISBN 109795-7907/74.

20. BROWNE, E. a J.K. TULI. Nuclear Data Sheets for A=137. *Nuclear Data Sheets*. 2007, č. 108, s. 2173.
21. SONZOGNI, A.A. Nuclear Data Sheets for A=134. *Nuclear Data Sheets*. 2004, č. 103, s. 1.
22. Teorie a základní členění hub. *Myko.estranky.cz* [online]. 2006 [cit. 2012-03-09]. Dostupné z: <http://www.myko.estranky.cz/clanky/teorie-o-houbach/teorie-a-zakladni-cleneni-hub.html>
23. Fyziologie hub. *Katedra botaniky, Přírodovědecká fakulta UK v Praze* [online]. 2006 [cit. 2012-03-09]. Dostupné z: <http://botany.natur.cuni.cz/prasil/obecn%C3%A1%20mykologie/04%20OBEEN%C3%81%20MYKOLOGIE%20%C5%A0%C5%A1ek%20%201.pdf>
24. HERČÍK, Miloslav, Jiří FIEDOR a Hana MÜLLEROVÁ. *Legislativa a ochrana životního prostředí*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2008, 186 s. ISBN 978-80-248-1837-5.
25. TOMÁŠEK, Milan. *Půdy České republiky*. Praha: Label, s.r.o., 2007, 68 stran. ISBN 978-80-7075-688-1.
26. PRÍRODA a.s. *Turistický průvodce přírodou do kapsy*. Věra Strádalová, Michal Hruška. Bratislava: Slovenská Grafia, a.s., 1996, 400 s. ISBN 80-07-00784-9.
27. Havárie jaderné elektrárny Černobyl. *Černobyl* [online]. 2006 [cit. 2012-03-11]. Dostupné z: <http://www.cernobyl.cz/>
28. Havárie v Černobyli. *Černobyl - havárie* [online]. 2006 [cit. 2012-03-11]. Dostupné z: <http://www.cernobyl-havarie.cz/>
29. Černobyl po 11 letech tragédie, která nekončí. *Ekologie.aktualne.cz* [online]. 2001 [cit. 2012-03-11]. Dostupné z: <http://ekologie.xf.cz/temata/chernobyl/chernobyl.htm>
30. 10 let od havárie jaderného reaktoru v Černobyli - důsledky a poučení. *Státní úřad radiální ochrany* [online]. Praha, 1996 [cit. 2012-03-12]. Dostupné z: [http://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/10let\\_od\\_cernobyli.pdf](http://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/10let_od_cernobyli.pdf)

31. DRÁBOVÁ, Dana. Černobylská havárie aneb Pravda není nikdy čistá a málokdy bývá jednoduchá. *Státní úřad radiální ochrany* [online]. 2006 [cit. 2012-03-12]. Dostupné z: [http://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/cernobylska\\_havarie.pdf](http://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/cernobylska_havarie.pdf)
32. KUNZ, Emil. Zpráva o radiální situaci na území ČSSR po havárii jaderné elektrárny Černobyl. *Státní ústav radiální ochrany* [online]. 1987 [cit. 2012-03-29]. Dostupné z: [http://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/zprava\\_1987.pdf](http://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/zprava_1987.pdf)
33. BUČINA, I., Z. DVOŘÁK, I. MALÁTOVÁ, H. VRBOVÁ a D. DRÁBOVÁ. Některé výsledky monitorování následků černobylské havárie v ČSSR. *Státní úřad radiální ochrany* [online]. 1988 [cit. 2012-03-12]. Dostupné z: [http://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/nektere\\_vysledky.pdf](http://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/nektere_vysledky.pdf)
34. Plošná aktivita <sup>137</sup>Cs, <sup>134</sup>Cs a <sup>103</sup>Ru, zjištěná ve vzorcích odebraných půd při celostátním průzkumu dne 17.6.1986. *Státní úřad radiální ochrany* [online]. 1986 [cit. 2012-03-16]. Dostupné z: [http://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/pruzkum\\_pud\\_1986.pdf](http://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/pruzkum_pud_1986.pdf)
35. Geologické mapy ČR. *Geologické a geovědní mapy ČR* [online]. 2011 [cit. 2012-03-29]. Dostupné z: <http://www.geologicke-mapy.cz/regiony/>
36. KALÁČ, Pavel. A review of edible mushroom radioactivity. *Food Chemistry*. 2001, č. 75, s. 29-35.
37. DVOŘÁK, Petr, Veronika KUNOVÁ, BEŇOVÁ a OHERA. Radiocesium in mushrooms from selected locations in the Czech Republic and the Slovak Republic. *Radiation and Environmental Biophysics*. 2006, č. 45, 145–151.
38. HORYNA, J. a Z. ŘANDA. UPTAKE OF RADIOCESIUM AND ALKALI METALS BY MUSHROOMS. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 1988, č. 127, s. 107-120.



## Seznam obrázků a grafů

Obrázek č. 2.1 – Ruthefordův experiment	3
Obrázek č. 2.2 – Pudinkový model atomu	3
Obrázek č. 2.3 – Radioaktivní rozpad $\alpha$	4
Obrázek č. 2.4 – Radioaktivní rozpad $\beta^-$	5
Obrázek č. 2.5 – Radioaktivní rozpad $\beta^+$	5
Obrázek č. 2.6 – Přejchod $\gamma$	6
Obrázek č. 2.7 – Radioaktivní přeměna	7
Obrázek č. 2.8 – Únik radioaktivity z Černobylu dne 26.4. 1986	23
Obrázek č. 2.9 – Postup černobylského radioaktivního mraku nad Evropou	24
Obrázek č. 2.10 – Trajektorie středů kontaminovaných hmot	25
Obrázek č. 2.11 – Srážky od 30.4. 1986 v 7:00 do 1.5. 1986 v 7:00	28
Obrázek č. 2.12 – Rozdělení plošné aktivity $^{137}\text{Cs}$ na území ČSSR	28
Obrázek č. 3.1 – Zájmová území	30
Obrázek č. 3.2 – <i>Polytrichum commune</i> – polník obecný	31
Obrázek č. 3.3 – <i>Xerocomus badius</i> - hřib (suchohřib) hnědý	32
Obrázek č. 3.4 – <i>Russula ochroleuca</i> – holubinka hlínožlutá	32
Obrázek č. 3.5 – <i>Armillariella mellea</i> – václavka obecná	33
Obrázek č. 3.6 – <i>Amanita muscaria</i> – muchomůrka červená	33
Obrázek č. 3.7 – Vzorky připravené na sušení	35
Obrázek č. 3.8 – Vzorky v kádinkách a skleničkách	35
Obrázek č. 3.9 – Vzorky v sušárně	35
Obrázek č. 3.10 – Lisovadlo na malé tablety, ukázka malých tablet	36
Obrázek č. 3.11 – Lisovadla, pohled z boku	36
Obrázek č. 3.12 – Lisovadla, pohled zhora	37
Obrázek č. 3.13 – Malé lisovadlo ve svěráku	37
Obrázek č. 3.14 – Měření hmotnosti tablety na laboratorních vahách	38

Obrázek č. 3.15 – Tablety v uzavřených plastových nádobkách	38
Obrázek č. 3.16 – Germániový polovodičový detektor chlazený kapalným dusíkem	42
Obrázek č. 3.17 – Problematika detekce záření $\gamma$	43
Obrázek č. 3.18 – Otevřený přístroj, samotný detektor	44
Obrázek č. 3.19 – Detektor s vloženou malou tabletou	44
Obrázek č. 3.20 – Schéma měřicí aparatury	45
Graf č. 2.1 – Poločas rozpadu izotopů cesia	25
Graf č. 3.1 – Porovnání výsledků měření malých tablet pro $^{137}\text{Cs}$	50

Seznam tabulek

Tabulka č. 2.1 – Inforamce o Cs	18
Tabulka č. 2.2 – Přibližné časy úniků radioaktivity z reaktoru a průchody mraku nad územím ČSSR	26
Tabulka č. 2.3 – Aktivita ve vzorcích půd, celostátní průzkum dne 17.6. 1986	27
Tabulka č. 3.1 – Naměřené hodnoty malých tablet vzorků z Beskyd	39
Tabulka č. 3.2 – Naměřené hodnoty malých tablet vzorků z Kaluží	39
Tabulka č. 3.3 – Hodnoty velkých tablet suchohřibů z Kaluží pro měření $^{134}\text{Cs}$	40
Tabulka č. 3.4 – Naměřené hodnoty vzorků půd v plastových nádobkách	40
Tabulka č. 3.5 – Hodnoty malých tablet pro $^{137}\text{Cs}$	46
Tabulka č. 3.6 – Vzorky půd jednotlivých lokalit pro $^{137}\text{Cs}$	47
Tabulka č. 3.7 – Izotopy Cs v suchohřibech z Kaluží	47