



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

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

Vertikální migrace Cs-137 v půdním profilu do hloubky 1m

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program:

OCHRANA OBYVATELSTVA

Autor: Jana Nováčková

Vedoucí práce: Mgr. Jiří Havránek

České Budějovice 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci s názvem „Vertikální migrace Cs-137 v půdním profilu do hloubky 1m“ jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

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

V Českých Budějovicích dne 8.8.2020

Jana Nováčková

Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu práce, Mgr. Jiřímu Havránkovi za odborné vedení, konzultace, technickou podporu a čas spojený s přípravou bakalářské práce a také p. Václavu Křídovi za technické zajištění.

Vertikální migrace Cs-137 v půdním profilu do hloubky 1 m

Abstrakt

Nejvýznamnějším prvkem z pohledu dlouhodobé kontaminace je cesium - 137. Monitorace jeho výskytu v životním prostředí je důležitá a spočívá v interferenci cesia - 137 s draslíkem. Vstřebává se v lidském těle (asi 80%) a vylučujeme ho močí. Zůstává nejvíce v měkkých tkáních a biologický poločas je 110 dní.

Cíle práce je zjistit, jaká je hloubková distribuce cesia - 137 v neobdělávaných půdách a jestli se a v jakém množství stále vyskytuje v dosahu kořenového systému rostlin. Výsledky měření se porovnávají s výsledky v minulosti, dochází k vyhodnocení a interpretaci výsledků měření, zhodnoceny jsou další možné využití práce v praxi. Teoretická část objasní současnou situaci a důvody kontaminace daného prostředí. Bude vycházet z dostupné literatury a právních norem řešících danou problematiku. V praktické části budou odebrány vrstvy půdy o tloušťce 1 cm do hloubky 1 m a po zpracování bude změřena aktivita cesia - 137 ve vzorcích půd pomocí polovodičové gama spektrometrie. Výsledky práce ukáží, v jaké hloubce se v současné době nachází maximum cesia - 137 pocházejícího z radiální havárie v Černobylu.

Z přírodních zdrojů a činnosti člověka jsme vystaveni působení ionizujícího záření. Činnost člověka způsobuje umělou radioaktivitu, která je v porovnání s přirozenou poměrně malá, ale dopad na zdraví člověka může být obrovský. Cesium - 137 je nejvýznamnějším prvkem dlouhodobé kontaminace, protože se vstřebává do lidského organismu, ale také do rostlin a především zůstává v různých vrstvách půdy. Několik hlavních faktorů ovlivňuje distribuci radionuklidů v půdě, např. dešťové srážky - vstup vody do půdy, difúze, migrace kořenovými systémy, činnost lidí, zvířat apod.

První část bakalářské práce teoreticky popisuje vše, co se vztahuje k dané problematice. Obsahuje potřebné teoretické a vědecké informace. Druhá část zahrnuje metodiku a výsledky praktického měření vzorků půdy. Cílem bylo zjistit, jaká vrstva půdy deponuje nejvíce radioaktivního cesia, protože se předpokládá, že je stále její součástí. Vzorky půdy byly odebrány v chráněné krajinné oblasti Šumava, ve 2. zóně Národního parku, v oblasti Železnorudska, lokalita Nová Hůrka (Kuchyně). Výběr místa prezentoval distribuci radioaktivního spadu na našem území. Půdní vzorky byly odebrány po 1 cm do hloubky 1 m. Poté byly sušeny 3 měsíce při pokojové teplotě. Vzorky byly před měřením

vyčištěny a homogenizovány. Měření probíhalo ve 250 ml PET nádobách. Odebrané vzorky byly měřeny standardním způsobem na Regionálním centru Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB) v Českých Budějovicích. Spektra získaná měřením byla vyhodnocena pomocí softwaru GAMWIN.

Klíčová slova

Cesium, Černobyl, distribuce cesia, kontaminace, polovodičová gama spektrometrie, půdní profil, radiační havárie, radionuklidy, vertikální migrace

Vertical migration of Cs-137 in the soil profile into the 1 meter depth.

Abstract

The most important element in terms of long-term contamination is Cesium-137. Monitoring for its occurrence in the environment is important and involves the interference of Cesium-137 with potassium. It is absorbed in the human body (about 80%) and excreted in the urine. It remains mostly in soft tissues and the biological half-life is 110 days.

The aim of the work is to find out what is the depth distribution of Cs-137 in uncultivated soils and whether and in what amount it still occurs within the reach of the plant root system. The measurement results are compared with the results in the past, the measurement results are evaluated and interpreted, other possible uses of the work in practice are evaluated. The theoretical part explains the current situation and the reasons for contamination of the environment. It will be based on available literature and legal norms addressing the issue. In the practical part, layers of soil with a thickness of 1 cm to a depth of 1 m will be taken and after processing the activity of Cs-137 in soil samples will be measured by semiconductor gamma spectrometry. The results of the work will show the depth to which the maximum of Cs-137 originating from the radiation accident at Chernobyl is currently located.

From natural sources and human activities, we are exposed to ionizing radiation. Human activity causes artificial radioactivity, which is relatively small compared to natural radioactivity, but the impact on human health can be huge. Cs-137 is the most important element of long-term contamination, because it is absorbed into the human body, but also into plants, and above all it remains in various layers of the soil. Several main factors affect the distribution of radionuclides in the soil, such as rainfall - water entry into the soil, diffusion, migration through root systems, human, animal activity, etc.

The first part of the bachelor thesis theoretically describes everything related to the issue. It contains the necessary theoretical and scientific information. The second part includes the methodology and results of practical measurement of soil samples. The aim was to find out which layer of soil deposits the most radioactive cesium, because it is assumed that it is still a part of it. Soil samples were taken in the protected landscape area of Šumava, in the 2nd zone of the National Park, in the area of Železnorudsko, locality Nová

Hůrka (Kuchyně). The site selection presented the distribution of radioactive fallout in our territory. Soil samples were taken in 1 cm increments to a depth of 1 m. They were then dried for 3 months at room temperature. The samples were purified and homogenized before measurement. The measurement was performed in 250 ml PET containers. The samples taken were measured in the standard way at the Regional Center of the State Office for Nuclear Safety (SÚJB) in České Budějovice. The spectra obtained by measurement were evaluated using GAMWIN software.

Key words: cesium, Chernobyl, cesium distribution, contamination, semiconductor gamma spectrometry, soil profile, radiation accidents, radionuclides, vertical migration

Obsah

1. Teoretická část	11
1.1. Prvky obecně	11
2. Základní pojmy	12
2.1. Pojmy a veličiny	12
3. Současná situace	14
3.1. Životní prostředí	14
3.2. Radioaktivita v potravinách a materiálech	14
3.3. Aktivita radionuklidů v půdě - povrchová kontaminace	15
3.4. Vertikální migrace umělých radionuklidů v půdním profilu	15
4. Objev štěpení atomu	16
4.1. Pozitivní přínos	16
4.2. Jaderný reaktor	16
4.3. Jaderné elektrárny	17
5. Radiační nehody a havárie	19
5.1. Radiační mimořádné události	19
5.2. Klinické změny po ozáření	19
5.3. Kontaminace radioaktivními látkami	20
6. Černobyl	20
6.1. Radiační havárie jaderné elektrárny	20
6.2. Ekologické důsledky Černobylu	21
6.3. Zdravotní důsledky Černobylu	21
6.4. Důsledky Černobylu	21
6.5. Jaderné elektrárny - odzvoněno?	22
7. Hypotéza a metodika	23
7.1. Hypotéza	23
7.2. Metodika	23

7.3. Polovodičová gama spektrometrie	24
7.4. Hmotnostní stanovení aktivity	25
8. Výsledky měření	26
8.1. Tabulky	26
8.2. Grafy	29
9. Diskuse	34
10. Závěr	35
11. Seznam literatury	37
12. Elektronické zdroje	38
13. Přílohy	40
13.1. Seznam tabulek	40
13.2. Seznam grafů	40
14. Fotodokumentace	41
15. Mapy	50
16. Seznam zkratk	53

Úvod

V minulosti došlo ke značnému znečištění některých částí České republiky radionuklidy. Byl to následek testování jaderných zbraní v atmosféře a hlavně také radiační havárie v Černobyli, která se udála před více jak třiceti lety. Původcem zamoření ovzduší a půdy radionuklidy jsou testy jaderných zbraní v 50. až 70. letech minulého století a především havárie jaderné elektrárny v Černobyli v roce 1986 v tehdejší Sovětské svazu, nyníjší Ukrajině. Nejvýznamnější kontaminanty byly a některé stále ještě jsou I - 131, Cs - 134, Cs - 137. Tato bakalářská práce pojednává o posledně jmenovaném cesiu 137, které má nejdelší poločas rozpadu.

Bude sledovat jeho cestu půdou v minulosti při kontaminaci i v současnosti, distribuci, migraci, usazování a ovlivňování životního prostředí. Jak ovlivňuje život člověka, zvířecí a rostlinné říše. Seznámí nás se samotným cesiem 137, připomene největší radiační havárii na světě, důvody kontaminace, hypotézu, cíl práce, metodiku praktické části, současný stav dané problematiky a předpokládané využití práce v praxi při využití dostupné literatury a právních norem řešících danou problematiku.

Během svého života jsme neustále ozařováni z přírodních i umělých zdrojů záření. Člověk a jeho aktivity jsou spojeny s kumulací dávek proměnlivého příkonu. Vdechujeme radioaktivní látky ze vzduchu, přijímáme je v potravinách, probíhá ozařování z radioaktivních látek ve vlastním organismu, zevní ozáření při pobytu v různé lokalitě a nadmořské výšce, kontakt s umělými zdroji záření atd. Počáteční fází ekologického cyklu pro přenos radionuklidů do organismu je půda. Neobdělávané půdy mají relativně vysoké množství cesia 137, ale zemědělsky obdělávané obsahují cesium 137 v každé vrstvě prakticky rovnoměrně.

1. Teoretická část

1.1. Prvky obecně

Prvky

Znalost chemických prvků se často omezuje jen na jejich značku. Někdy zůstanou jen značkou použitelnou jen při vyplňování křížovek. Ale tvoří naši potravu, těla, různé věci a předměty. Objevování, výroba, používání má velmi zajímavou historii i současnost. Jsou všude kolem nás, občas i tam kde je vůbec nečekáme. Kolují živou i neživou přírodou tzv. koloběh prvků. A život prvků je nezničitelný. Z potřeby prvky třídit vznikla nejzajímavější kapitola z jejich života - cesta k periodické soustavě prvků (2,8).

Cesium

Chemická značka Cs, atomové číslo 55, skupenství pevné. Chemický prvek z řady alkalických kovů. Velmi měkký, lehký, zlatožlutý kov, který lze krájet nožem. Je těžší než voda, velmi dobře vede elektrický proud a teplo. Objeveno roku 1860 německým chemikem R. W. Bunurem a německým fyzikem G. R. Kirchhofem. Kovové cesium poprvé získal Carl Setterberg v roce 1882. V přírodě se setkáváme pouze ze sloučeninami cesia a to díky jeho velké reaktivitě. Vyskytuje se vzácně na Zemi i ve vesmíru (18).

Cesium - 137

Radioizotop cesia, který vzniká štěpením jader uranu - 235 v jaderných reaktorech a jaderných zbraních. Zůstává v půdě, mléku a potravinách. V přírodě se snadno šíří díky dobré rozpustnosti většiny solí cesia ve vodě. Látka, která se v těle chová jako draslík a zaujímá jeho místo. V těle se ukládá a způsobuje potíže dětem i dospělým. Jakmile se dostane do organismu, distribuje se po celém těle. Biologický poločas je poměrně krátký, asi 70 dnů. Při náhodném pozření cesia lze omezit jeho následky použitím berlínské modři. Uvolňuje se do okolí při testech jaderných zbraní a jaderných haváriích. Cesium - 137 má poločas přeměny - rozpadu okolo 30,08 let. Má několik možností využití. Ke kalibraci přístrojů měřících ionizující záření, v lékařství se využívá v radioterapii, v průmyslu je součástí zařízení na měření průtoku či tloušťky a vlkoměrů. V geologii se používá jako radioaktivní značkovač za účelem měření eroze a ukládání půdy. Cesium - 137 je zcela umělý nuklid (14,18).

2. Základní pojmy

2.1. Pojmy a veličiny

Tato kapitola nás seznamuje s některými základními pojmy a veličinami, které jsou důležité pro pochopení daného tématu. Setkáváme se s nimi v různých vědních oborech, např. radiologie, radiobiologie, radiační ochrana apod.

Aktivita

Aktivita (A) vyjadřuje počet radioaktivních přeměn daného radionuklidu za jednotku času.

Becquerel

Becquerel (Bq) je jednotka ve které se vyjadřuje aktivita radioaktivní látky.

Dávka

Absorbovaná dávka (D) je podíl energie, kterou ionizující záření předá látce o určité hmotnosti. Jednotka je Gray (Gy).

Expozice (ozáření)

Vystavení ionizujícímu záření. Je zevní nebo vnitřní.

Expoziční cesty

Cesty, jimiž radioaktivní látka může ozářit člověka.

Gray

Jednotka pro dávku ionizujícího záření v soustavě SI.

Ionizující záření

Záření, které doprovází radioaktivní přeměnu látek. Je trojího druhu: alfa, beta a gama.

Nuklid

Název pro atomy mající v jádře vždy stejný počet protonů i neutronů (26,28).

Poločas rozpadu

Poločas rozpadu ($T_{1/2}$) označuje dobu za kterou se rozpadne polovina z celkového množství radionuklidu.

Radioaktivní prvek

Nestabilní prvek podléhající radioaktivní přeměně.

Radioaktivita

Schopnost některých atomů (radionuklidů) se samovolně přeměňovat na jiné atomy (nuklidy/radionuklidy). Přeměna je doprovázena emisí radioaktivního záření (alfa, beta, gama), štěpných produktů, protonů nebo záchytem elektronu.

Radionuklid

Radioaktivní nuklid jehož jádra nejsou stálá a vysílají záření beta (elektrony), gama (fotony), alfa (jádra helia) a tím se přeměňuje na jiný nuklid.

Sievert

Jednotka pro dávkový ekvivalent v soustavě SI. Dřívější jednotkou byl rem ($1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv}$).

Vnější kontaminace

Povrchová kontaminace, znečištění ploch nebo povrchu předmětů, rostlin, zvířat, půdy, osob atd. radioaktivními látkami.

Vnitřní kontaminace

Příjem radioaktivní látky do těla vdechnutím, požitím nebo přes povrch těla (26,28).

3. Současná situace

3.1. Životní prostředí

I v dnešní době je půda stále kontaminována cesiem - 137 ke které přispěly testy jaderných zbraní v atmosféře probíhající v 50. až 70. letech minulého století a ve značné míře radiální havárie jaderné elektrárny Černobyl. Závažnost kontaminace závisela na meteorologických podmínkách při průchodu kontaminovaných vzdušných mraků přes naše území a následných dešťových srážkách. Stále jsme vystaveni ionizujícímu záření z přírodních zdrojů i z činnosti člověka, která vyvolává umělou radioaktivitu. Nejvýznamnější prvek, který dlouhodobě kontaminuje životní prostředí je radionuklid cesium - 137. Vstřebává se do rostlin a jejich kořenového systému, je přítomen ve svrchních i hlubších vrstvách půdy a dostává se i do lidského organismu. Obsah cesia - 137 v životním prostředí je v různých lokalitách různě vysoký. Je to již více jak 30. let od radiální havárie v Černobylu, cesium - 137 postupně ubývá ze životního prostředí pomocí vlastní radioaktivní přeměny tzv. poločas rozpadu, který je přibližně 30,08 let, ale i pomalou vertikální migrací do hloubky půdního profilu. V České republice se v současnosti na jejím území nachází řada umělých radionuklidů v životním prostředí. Mezi nejvýznamnější patří cesium (Cs - 134, Cs - 137), jód (I - 131), uhlík (C - 14), tritium (H - 3), stroncium (Sr - 90), krypton (Kr - 85) a plutonium (Pu - 238, Pu - 239, Pu - 240). Zdroje kontaminace v současné době jsou již zmíněné zkoušky jaderných zbraní v 50. až 70. letech minulého století a radiální havárie jaderných elektráren v Černobylu 26. dubna 1986 a ve Fukušimě 11. března 2011 (5,23).

3.2. Radioaktivita v potravinách a materiálech

V životním prostředí, které nás obklopuje jsou radioaktivní látky a radioaktivita stále přítomny. To se projevuje i v obsahu radionuklidů v potravinách, výrobcích a přírodních materiálech. Obsah radionuklidů je vyjádřený v hmotnostní či objemové aktivitě a liší se podle různých druhů komodit. Obecně platí, že aktivity cesia - 137 v základních potravinách a pitné vodě se pohybují převážně v setinách až desetínách Bq/kg, resp. Bq/l. Někdy i pod mezí detekovatelnosti. Relativně vyšší obsah cesia - 137 je stále pozorován v mase divoké zvěře (především divočáků), v houbách a lesních plodech. Je to důsledek jaderných testů v 50. až 70. letech minulého století a radiální havárie na jaderné elektrárně Černobyl. Hmotnostní aktivity cesia - 137 v těchto produktech dosahují

jednotek až stovek Bq/kg. Pokles aktivity je v nich velmi pomalý, ovlivňuje jej charakter ekosystému a fyzikální zákony (poločas rozpadu). V České republice se provádí monitorování radiační situace od roku 1986 (19).

3.3. Aktivita radionuklidů v půdě - povrchová kontaminace

Byl proveden celostátní odběr vzorků půdy mezi 16. až 18. červnem 1986. Odebráno bylo asi 1300 vzorků půdy na různých místech tak, aby prezentovali distribuci radioaktivního spadu na území ČSSR. Vybrána byla místa nezastíněná budovami, stromy ani keři, bez travního porostu. Nejvhodnější byla zemědělská neobdělávaná půda. Vzorky byly odebrány do hloubky 3 cm. Před měřením byla půda vysušena, odstraněny nečistoty a vzorky byly homogenizovány. Měření plošné aktivity radionuklidů v půdě bylo provedeno gama spektrometrií. Distribuce radionuklidů a jejich plošné aktivity v půdě je v různých oblastech velmi různorodá. Je zde zřejmá vazba na oblast, úroveň spadu a srážkovou činnost. Vzorky půdy byly odebírány a měřeny také v dalších letech, ale jen dva odběry vertikálního půdního profilu byly do stejné hloubky a stejné síly o které pojednává tato bakalářská práce. Je to však důležité pro další sledování aktivity radionuklidů v půdě a to hlavně cesia - 137 z důvodu dlouhého poločasu rozpadu. Průměrná hodnota depozice cesia - 137 ze spadu z radiační havárie v Černobylu byla 7,6 kBq/m². Po více jak 30. letech od této havárie se určitě změnila a neustále mění v závislosti na meteorologických podmínkách, životním prostředí, činnosti člověka atd. (30).

3.4. Vertikální migrace umělých radionuklidů v půdním profilu

Pro kontaminaci hemisféry měly velký význam atmosférické testy jaderných zbraní, které byly prováděny v 50. až 70. letech minulého století. Uskutečnilo se obrovské množství těchto testů s globálním únikem radionuklidů do ovzduší. Největší vliv na naše území měla radiační havárie jaderné elektrárny v Černobylu 26. dubna 1986. Únik radionuklidů byl tak velký, že do dnešních dnů je jejich měřitelné množství stále přítomno v životním prostředí. Časem se, ale aktivita umělých radionuklidů snižuje. Byly provedeny dva odběry půdního profilu v lokalitě Lišov, první v roce 1995 a druhý v roce 2015. Profil byl odebrán do hloubky 1 m v 1 cm silné vrstvě. Vzorky byly vysušeny v laboratoři, vyčištěny a poté měřeny s vyhodnocením obsahu přírodních i umělých radionuklidů,

především aktivita cesia - 137. Měření probíhalo standardní gama spektrometrickou metodou na zařízení s polovodičovým detektorem HPGe. Obsah přírodních radionuklidů je v celém profilu téměř homogenní a konstantní v čase. Měření zjistilo, že kontaminace půdy cesiem - 137 je dosud dobře měřitelná (19,23).

4. Objev štěpení atomu

4.1. Pozitivní přínos

Začátek atomového věku zahájila činnost prvního atomového reaktoru. Sestrojil a poprvé uvedl do chodu italský fyzik Enrico Fermi, nositel Nobelovy ceny, 2. prosince 1942 v USA. Velmi skromný model, malý výkon, žádné stínění proti radioaktivnímu záření. Nadále se intenzivně pracovalo na zdokonalování reaktorů. Existuje jich celá řada a stále se pracuje na zvýšení efektivity využití přírodního uranu. Reaktory jsou zdrojem energie a jejich výstavba je velmi důležitá. Vznikl širší sekundární průmysl. Elektrická energie z jádra je mnohem čistější a nezamořuje životní prostředí. Jsou známa rizika úniku radioaktivity, zamoření životního prostředí, havárií. Veřejnost přijímá s nedůvěrou atomové elektrárny a jejich výstavbu. Jaderné havárie byly vždy způsobeny selháním lidského faktoru - obsluhy, nikdy technikou a kontrolními systémy. A havárie vzniknou pokud se rozběhne nekontrolovatelná štěpná reakce uvnitř reaktoru. Další problém je likvidace jaderného odpadu, tedy radioaktivní produkty z vyhořelého paliva. Zřizují se jejich úložiště kde radioaktivita pomalu umírá. Jaderná energetika a její rozvoj ve světě sledoval hospodářský a vojenský cíl. Energie z jádra se uplatnila v řadě průmyslových odvětví. Příroda znala radioizotopy (radionuklidy) a záření z nich dříve než člověk (4).

4.2. Jaderný reaktor

Je nejmohutnějším zdrojem ionizujícího záření hned po jaderné zbrani - pumě. Současně obsahuje největší množství různých radionuklidů. Existuje mnoho typů a konstrukcí těchto reaktorů. Základní typy energetických jaderných reaktorů: tepelné a rychlé. Tepelné reaktory jsou průmyslově nejrozšířenější. Princip: neutrony uvolněné ze štěpení jsou záměrně zpomalovány tzv. moderátorem a tím se zvyšuje pravděpodobnost jejich štěpného zachytu v jádrech uranu - 235. Moderátorem a chladičem bývá nejčastěji lehká voda, ale používá se i těžká voda a oxid uhličitý. Rychlé reaktory: průmyslový prototyp

je v jaderné elektrárně ve Francii. Princip: neutrony nejsou ze štěpení zpomalovány, pracují s uranem obohaceným cca 20% uranu - 235 nebo plutonia - 239. Jaderný reaktor je tedy zařízení, kde probíhá řízená štěpná řetězová reakce doprovázená přeměnou jaderné energie v energii tepelnou. Jaderná reakce probíhá několika způsoby, ale nejdůležitější funkce jaderného reaktoru je štěpení jádra na dva úlomky souměřitelné hmotnosti. Při štěpení je primárním procesem absorpce neutronu atomovým jádrem štěpného materiálu. Jaderné zařízení i s reaktorem je komplexním zdrojem ionizujícího záření (10).

4.3. Jaderné elektrárny

Staly se realitou ve druhé polovině 20. století. První jaderná elektrárna byla spuštěna v roce 1954 v Sovětském svazu a v roce 1955 ve Velké Británii. Impulsem výstavby nových jaderných elektráren byla ropná světová krize v sedmdesátých letech. V Anglii ve Windscale došlo v říjnu 1957 k první zaznamenané havárii jaderné elektrárny - reaktoru, který byl využíván pro vojenské účely. Následovala havárie v USA v Three Mile Island v březnu 1979. Přestože obě radiační nehody byly závažné a zařazeny do 5. havarijního stupně nikdo nebyl zraněn a dopady na životní prostředí byly minimální. Nehody pomohly k zvýšení bezpečnosti v dalších jaderných zařízeních. I v Československu došlo k havárii v jaderné elektrárně v Jaslovských Bohunicích na Slovensku. Také tady se podařilo situaci zvládnout bez dalších následků se zařazením nehody do 4. havarijního stupně. Největší radiační havárie ke které zatím došlo se odehrála na dnešní Ukrajině v Černobylské jaderné elektrárně v dubnu 1986. Ztráty na životech a zařízení nelze vyčíslit, kontaminace a poškození životního prostředí přetrvává dodnes. Havárie byla zařazena do 7. havarijního stupně - nejvyššího - velmi těžká havárie. Černobyl je největší jadernou katastrofou a mementem pro celé lidstvo. Popsané havárie nezavinilo selhání techniky, ale lidský faktor, chyba obsluhy. A proto musíme být připraveni do budoucna, poučit se z chyb a přijmout opatření z hlediska radiační ochrany, aby se podobné havárie již nikdy neopakovali. „Reaktor v Černobylu by pravděpodobně nehavaroval, kdyby ti, kteří jej v danou dobu provozovali, neporušili prakticky vše, co se porušit z hlediska jeho bezpečného provozu porušit dalo“ (4).

Pro pochopení rozsahu havárií jaderné elektrárny popis klasifikační stupnice závažnosti škod, který se používá od roku 1990 pro posuzování poruch a havárií jaderných zařízení

(7). Je to Mezinárodní stupnice jaderných událostí INES (The International Nuclear Event Scale), která má osmistupňovou škálu:

 **0 odchyłka**

 **1 anomálie**

 **2 nehoda**

 **3 vážná nehoda**

 **4 havárie bez vážnějšího rizika vně zařízení**

 **5 havárie s rizikem vně zařízení**

 **6 těžká havárie**

 **7 velmi těžká havárie**

5. Radiační nehody a havárie

5.1. Radiační mimořádné události

Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon, ve znění zákona č. 183/2017 Sb., definuje radiační mimořádnou událost jako událost, která vede nebo může vést k překročení limitů ozáření a vyžaduje opatření, která by zabránila jejich překročení nebo zhoršování situace z pohledu zajištění radiační ochrany. Radiační mimořádné události jsou podle závažnosti rozděleny do tří úrovní:

- Radiační mimořádná událost
- Radiační nehoda
- Radiační havárie

Radiační mimořádná událost: je zvládnutelná silami a prostředky obsluhy a pracovníky pracujícími v aktuální směně.

Radiační nehoda: je mimořádná událost nezvládnutelná silami a prostředky obsluhy a pracovníky pracujícími v aktuální směně a nevyžaduje zavedení neodkladných ochranných opatření pro obyvatelstvo.

Radiační havárie: je mimořádná událost nezvládnutelná silami a prostředky obsluhy a pracovníky pracujícími v aktuální směně a vyžaduje zavedení neodkladných ochranných opatření pro obyvatelstvo.

Tyto mimořádné radiační události vznikají v důsledku nálezu, zneužití nebo ztráty radionuklidového zdroje.

Atomový zákon zavádí další pojem a to radiologickou událost. Je to událost při lékařském ozáření a způsobuje chybné ozáření pacienta (7).

5.2. Klinické změny po ozáření

Patologický proces ke kterému dochází vlivem ozáření lidského organismu nazýváme nemoc z ozáření. Míru poškození určuje absorbovaná dávka. Může vzniknout celotělové (celkové) a místní (lokální) radiační poškození. Celotělové radiační poškození - důsledek rovnoměrného i nerovnoměrného ozáření organismu ionizujícím zářením. Lokální radiační poškození - místní ozáření, náhodné radionuklidy. Sdružené radiační poškození - zevní ozáření a zevní i vnitřní kontaminace radionuklidy. Kombinované radiační

poškození (mixty) - člověk je ozářen a současně má neradiační poškození (popáleniny, traumata, jiná poranění). Jsou dva základní typy radiačního poškození z časového hlediska: akutní a chronické. Akutní radiační poškození - akutní nemoc z ozáření (ANO) - doba ozáření nepřekračuje 7 - 10 dnů. Chronické radiační poškození - ozáření po dobu několika měsíců nebo let. Stupeň závažnosti radiačního poškození určuje dávka záření (7).

5.3. Kontaminace radioaktivními látkami

Další expoziční cestou je kontaminace radionuklidy. Tím se rozumí přítomnost radionuklidů na povrchu nebo uvnitř organismu. K postižení zářením může dojít při mimořádných událostech nebo jaderném výbuchu. Rozlišujeme vnitřní a zevní kontaminaci. Zevní kontaminace - znečištění nekrytého tělesného povrchu, kůže a sliznic radionuklidy. Vnitřní kontaminace - dochází k ní při jejich vdechnutí, požitím kontaminované vody a potravy, vstřebáním z poraněné kůže a sliznic. Nejrůznější formy radiačního poškození závisí na vlastnostech kontaminujících radioaktivních látek (7).

6. Černobyl

6.1. Radiační havárie jaderné elektrárny

Elektrárna leží asi 130 km severně od hlavního města Ukrajiny, Kyjeva. 26. dubna 1986 v časných ranních hodinách došlo k výbuchu reaktoru 4. bloku jaderné elektrárny a následnému požáru. Požár trval až do 10. května 1986 a do životního prostředí uniklo velké množství radioaktivních látek - radionuklidů. Úvodní explozi způsobila stlačená pára v chladícím systému, po pár sekundách už došlo ke skutečné jaderné detonaci. Čtvrtý reaktor měl být odpojený kvůli pravidelné údržbě a bylo rozhodnuto otestovat elektronický systém. Experiment, ale nevyšel. Havárie nebyla ihned oficiálně nahlášena a informace byly velmi kusé - strohé. Radioaktivní spad byl větší než výbuchy jaderných zbraní v Hirošimě a Nagasaki i než jednotlivé testy jaderných zbraní. Vytvořil se radioaktivní mrak, padal kontaminovaný déšť, vysoká povrchová radiace a došlo k ozáření vody. Ale to jsou jen jedny z hlavních následků této havárie. Při záchranných a likvidačních pracích zahynulo bezprostředně 31 lidí, z toho 28 lidí na nemoc z ozáření. Další úmrtí a nemoci s trvalými následky ke kterým došlo a dochází s odstupem času jsou

také důsledkem této havárie. Hlubokou stopu v myšlení odborníků i veřejnosti zanechala radiační havárie jaderné elektrárny navždy. Černobylská katastrofa je mementem pro celé lidstvo. Místo jaderné katastrofy dodnes vzbuzuje velký zájem (4,20).

6.2. Ekologické důsledky Černobylu

Velký únik radioaktivity při havárii nastal během prvních deseti dnů. Unikly radioaktivní plyny, kondenzované aerosoly a množství částic z jaderného paliva. Bezprostředně po výbuchu vše kontaminoval jód - 131. Následující desetiletí je zodpovědné za kontaminaci cesium - 137. Kontaminace zasáhla zemědělskou půdu, lesy, ale také města. Největší přísun radionuklidů byl z půdy a kořenů rostlin. Opět hlavní viník cesium - 134 a cesium - 137. Vysoké koncentrace cesia - 137 byly naměřeny u zvíře, lesních plodů a houbách. Normalizace potrvá desetiletí, možná i déle (4).

6.3. Zdravotní důsledky Černobylu

I po více než třiceti letech nemáme odpovědi na všechny otázky týkající se zdraví, životního prostředí a ekonomických následků katastrofy. Na záchranných a likvidačních pracích se podílely tisíce osob a z toho je zřejmé, že následky zdravotních potíží jsou obrovské. Největší dávky ozáření postihly pracovníky elektrárny a záchranáře první den. Přibližně tisíc z nich bylo vnitřně kontaminováno vysokou dávkou cesia - 137. Radioaktivní mrak obsahoval zejména jód - 131 a cesium - 137. Radiojód má poločas rozpadu osm dnů, radiocesium 30 let. Bezprostředně po havárii se projevila akutní nemoc z ozáření, později další následky záření a tepelné popáleniny. V pozdějších letech až do dnešních dnů se stále projevovali a projevují následky z ozáření v důsledku havárie. Postižení, poškození je závislé na efektivní dávce, jejíž jednotkou je sievert (Sv), kterou si vysvětlíme v jiné kapitole. Od roku 1986 jsou lidé vystaveni ozáření z externích zdrojů, z půdy, potravin, vody a vzduchu cesiem - 137. Efektivní dávky, ale nejsou tak velké, aby způsobovali zdravotní potíže. Také jsou na celém světě trvale vystaveny živé orgány ionizujícímu záření z přírodních zdrojů a kosmického záření (4).

6.4 Důsledky Černobylu

Katastrofa v Černobylu je exemplárním případem. Výbuch, ke kterému došlo na čtvrtém nejmodernějším bloku jaderné elektrárny je skutečnou průmyslovou katastrofou. Na Ukrajinu a zbytek bývalého Sovětského svazu měl a má dodnes těžko vyčíslitelný dopad. Pro obyčejné lidi se stal Černobyl „katastrofou par excellence“. Mezinárodní společenství

nedokázalo Ukrajině dodnes poskytnout pomoc odpovídajícího rozsahu. Teprve v nedávné minulosti umožnil BERD (Evropská banka pro obnovu a rozvoj) realizaci projektu na zpevnění sarkofágu zakrývajícího zničený reaktor. Na další prostředky, které umožní definitivně zastavit provoz zbývajících reaktorů černobylské elektrárny, stále marně Ukrajina čeká. Katastrofa také vyvolala množství otázek ohledně komunikace. Až budoucnost ukáže jestli jsme se poučili a dokázali se změnit. Jaderná energetika je velmi vážná věc (1).

6.5. Jaderné elektrárny - odzvoněno?

Černobylská havárie jaderné elektrárny v nočních hodinách 26. dubna 1986 se stala největší katastrofou v dějinách lidstva z pohledu atomového věku. Pět osudových chyb, kterých se dopustila noční směna ovlivnilo pohled na jadernou energii v celém světě. Dopad je dodnes mimořádný. Důsledky havárie monitorovala mezinárodní agentura pro atomovou energii. Sledování obyvatelstva, přírody, životního prostředí našťastí dopadlo lépe než se předpokládalo. Velmi důležité jsou také informace a jejich správná a pravdivá prezentace. Na budoucnost je třeba dívat se objektivně. Jadernou energii potřebujeme. A všeobecně se požadavky na výrobu elektrické energie stále zvyšují. Musíme sledovat i jiné formy výroby, alternativní zdroje, ale zatím nemohou nahradit elektrárny. Každý z nás může pomoci snížením spotřeby a tím šetřit elektrickou energii. V Černobylu zaplatili těžce za svoje chyby. Řešení je v prevenci, kvalifikaci a zodpovědnosti každého jednotlivce. Nepodceňujme prevenci, vzdělaný a spolehlivý personál, špičkovou zabezpečovací a kontrolní technologii. Jen pokud se dokážeme poučit z minulosti, můžeme bez obav vstoupit do budoucnosti. Chraňme lidské společenství, životní prostředí a tím i sebe (4).

7. Hypotéza a metodika

7.1. Hypotéza

Maximum cesia - 137 se v neobdělávaných půdách stále vyskytuje v dosahu kořenového systému rostlin. Je to následek testování jaderných zbraní v atmosféře a hlavně radiační havárie v Černobylu, která se udála před více jak třiceti lety. V neobdělávaných půdách a zvláště v lesních ekosystémech je jen omezená možnost migrace cesia - 137. Cílem práce je zjistit jaká je hloubková distribuce cesia - 137 v neobdělávaných půdách. Výsledky práce ukážou v jaké hloubce se v současné době nachází maximum cesia - 137 pocházejícího z radiační havárie v Černobylu.

7.2. Metodika

Samotnému odběru přecházela dlouhá a pečlivá příprava. Na začátku teoretické plánování postupů, výběr lokality, výroba a nákup pomůcek a náradí, sepsání seznamu činností a v neposlední řadě také osobní setkání a dojednání podmínek pro odběr vzorků. Pro odběr bylo velmi důležité vybrat vhodnou oblast a terén. Z dostupné literatury a po konzultacích s vedoucím mé práce se jako nejlepší lokalita ukázala oblast Šumavy. Vytipovaná lokalita splňovala veškeré požadavky pro odběr vzorků. Podle mapy se jednalo o neobdělávanou půdu, kde proběhl radioaktivní spad a jeho distribuce na našem území. V minulosti zde působila armáda, ale na této lokalitě neprobíhala žádná její činnost. Protože lokalita se nachází v chráněné krajinné oblasti Šumava, byla kontaktována Správa Národního parku Šumava s prosbou o umožnění odběru vzorků. Nejdříve písemně a poté i osobně. Jednání bylo milé a vstřícné a přestože daná lokalita leží ve 2. pásmu Národního parku byl odběr vzorků umožněn. Výběr lokality byl proveden osobně s průvodcem a domluven přibližný termín odběru vzorků. Poté následovala přípravná část, zkušební kopání a odběr vzorků, testování metod a postupů při odběru, využití pomůcek a náradí, zvážení časového prostoru atd. Vše bylo pečlivě dokumentováno a konzultováno s vedoucím mé práce. Také fotodokumentace, její důležité aspekty budou součástí příloh mé práce. Výběr vhodné lokality a pečlivá příprava byly základem pro správný odběr vzorků.

Samotný odběr vzorků byl proveden v srpnu 2019 v chráněné krajinné oblasti Šumava, ve 2. zóně Národního parku, oblast Železnorudsko, lokalita Prášily. Vzorky půdy byly odebírány dle jednotné metodiky. Odběrové místo bylo zvoleno tak, aby co nejlépe

prezentovalo své výsledky s ohledem na dřívější měření radioaktivního spadu na našem území a tím i možnost výskytu a aktivity cesia - 137. Po příjezdu na místo odběru bylo domluveno jak bude probíhat celý odběrový den a jaká nařízení, opatření je nutné dodržovat. Vzhledem k umístění dané lokality se musí dodržovat zákony a vyhlášky s ní související. Po celou dobu práce na odběrech byl přítomen správce Národního parku a zajišťoval jejich dodržování. Jednalo se především o zabezpečení dopravy na lokalitu, přepravu věcí a materiálu, vyznačení místa a pohyb na místě odběru apod. Po příjezdu na danou lokalitu začalo třídění veškerého vybavení a příprava k samotnému odběru vzorků. Cílem bylo vykopání jámy více jak metr hluboké a široké tak, aby umožnila bezpečný a správný odběr vzorků. Prvním krokem bylo přesné vyměření místa odběru a odkrytí vrchní vrstvy půdy tzv. drnů. Samotné odebírání vzorků spočívalo v postupném kopání, hloubení jámy a přesném odběru vzorků po 1 cm do hloubky 1 m. Druhým krokem byla instalace speciální pomůcky pro odběr vzorků, která zabezpečila přesnost odběrů na centimetry. Po nainstalování této pomůcky začal samotný odběr podle přesně naplánovaného postupu s dodržováním stanovených podmínek. Centimetr po centimetru stále dokola a postupně do hloubky. Z každého centimetru bylo získáno a uloženo do speciálních sáčků 200 - 250 gramů půdy. Každý odebraný vzorek byl pečlivě zvážen, vyčištěn a uložen do předem označených sáčků. Bylo nutné dodržet přesný postup a pečlivost při odběru půdy. Také se prokázalo, že v různých hloubkách je půda velmi odlišná jak strukturou tak i barevně. Důležitý, ale bude výsledek měření aktivity cesia - 137 v daných vzorcích půdy. Před samotným měřením byly vzorky půdy sušeny při pokojové teplotě po dobu 3. měsíců do konstantní hmotnosti. Proběhlo odstranění kamínků, kořínků rostlin a nečistot a vzorky byly rozmělněny a prosetím přes síta z různě velkými oky homogenizovány. Následně aktivity cesia - 137 změřeny polovodičovou gama spektrometrií.

7.3. Polovodičová gama spektrometrie

Především se využívá ke kvalitativnímu a kvantitativnímu určení radionuklidů jak přírodních tak umělých, emitujících gama záření. Větší část radionuklidů má alespoň jednu dobře stanovitelnou čáru gama záření v energetickém rozsahu od 50 do 3000 keV.

Z několika částí se skládá měřicí trasa. První je polovodičový detektor s předzesilovačem (PAMP) chlazený tekutým dusíkem a umístěný ve vhodném stínění. Druhou částí je

zesilovač (AMP), analogově digitální převodník (ADC) a multikanálový analyzátor (MCA). V současnosti se používají polovodičové detektory z velmi čistého germania, tzv. HPGe detektory (High Purity Germanium).

Gama spektrometrie přináší velké výhody, protože už není nutné provést další náročné chemické nebo jiné zpracování vzorků. Manipulace s měřeným materiálem se zaměří na jeho zpracování tak, aby bylo možné ho umístit do příslušné měřicí nádoby a určit jeho objem nebo váhu (18,29).

7.4. Hmotnostní stanovení aktivity

Na Regionálním centru (RC) Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB) v Českých Budějovicích byly získané vzorky měřeny standardním způsobem. Pomocí softwaru GAMWIN byla měřením získaná spektra vyhodnocena. Půdní vzorky byly měřeny v polyethylenové (PET) nádobě o objemu 250 ml. Doba měření 12 až 24 hodin. Analýzou spekter a výstupem měření byla hmotnostní aktivita vybraných radionuklidů (Bq/kg) v daném vzorku půdy.

Po úpravě vzorků, aby byly vhodné pro měření jsou uloženy do měřicí nádoby a je stanovena jejich přesná hmotnost jsou změřeny. Měření probíhá tak, že měřicí nádoba je usazena v dané geometrii na detektor (PET nádoba 250 ml) a zahájen sběr dat. Uplynutím zadané měřicí doby bylo měření zastaveno a pomocí softwaru GAMWIN byla naměřená spektra vyhodnocena. Výsledkem analýzy bylo stanovení polohy, energie a FWHM píku (Full Width at half Maximum, energetická rozlišovací schopnost detektoru), celkové plochy, čisté plochy píku. K nalezeným píkům byly přiřazeny radionuklidy z knihovny, které mají shodnou energii s diferencí E_i (keV) s hodnotou v knihovně radionuklidů. Knihovna je soubor radionuklidů pro které je vypočítána objemová nebo hmotnostní aktivita ze spektra získaného z daného vzorku. Existuje mnoho radionuklidů emitujících záření gama a proto je výhodné používat radionuklidovou knihovnu, kdy každá obsahuje pouze ty radionuklidy které v daném vzorku očekáváme a jsou v oblasti našeho zájmu. Výpočte aktivity a výpočet chyby stanovení aktivity (celkové, objemové, hmotnostní atd.) radionuklidů je výsledkem nalezeným ve spektru a je obsažen v uživatelské knihovně. Zadáním referenčního data a času je možné výslednou hodnotu korigovat na poločas přeměny měřeného radionuklidu. Pokud existuje interferující pík v pozadí je při

výpočtu automaticky odečítán. Pro každý pík je automaticky počítána minimální významná aktivita (MVA) a vždy je počítána k aktuálnímu datu a času měření spektra.

8. Výsledky měření

Výsledky jsou zpracovány a shrnuty do tabulek a grafů pro jejich větší přehlednost.

8.1. Tabulky

Tabulka č.1. průměrné hodnoty měření po 5 cm

	průměr 5 cm		průměr 5 cm	
0-5	396,60	5,64	780,40	20,50
6-10	323,40	4,48	798,00	18,50
11-15	200,02	2,90	830,00	17,42
16-20	70,66	1,52	875,00	19,38
21-25	13,31	0,69	864,80	18,38
26-30	2,98	0,39	906,60	16,38
31-35	2,26	0,39	885,00	16,14
36-40	2,25	0,42	910,20	17,98
41-45	2,53	0,44	926,20	17,84
46-50	4,10	0,49	941,60	19,64
51-55	6,31	0,42	951,40	16,22
56-60	3,37	0,31	997,20	14,68
61-65	2,30	0,47	1212,00	21,74
66-70	1,39	0,29	1276,00	18,96
71-75	2,67	0,32	1237,40	19,04
76-80	2,73	0,31	1258,00	19,00
81-85	4,18	0,34	1258,00	18,54
86-90	7,47	0,37	1188,00	17,32
91-95	3,79	0,24	1212,00	17,18
96-100	0,96	0,21	1175,60	16,60

Tabulka č.2. hodnoty měření v jednotlivých vrstvách po 1 cm

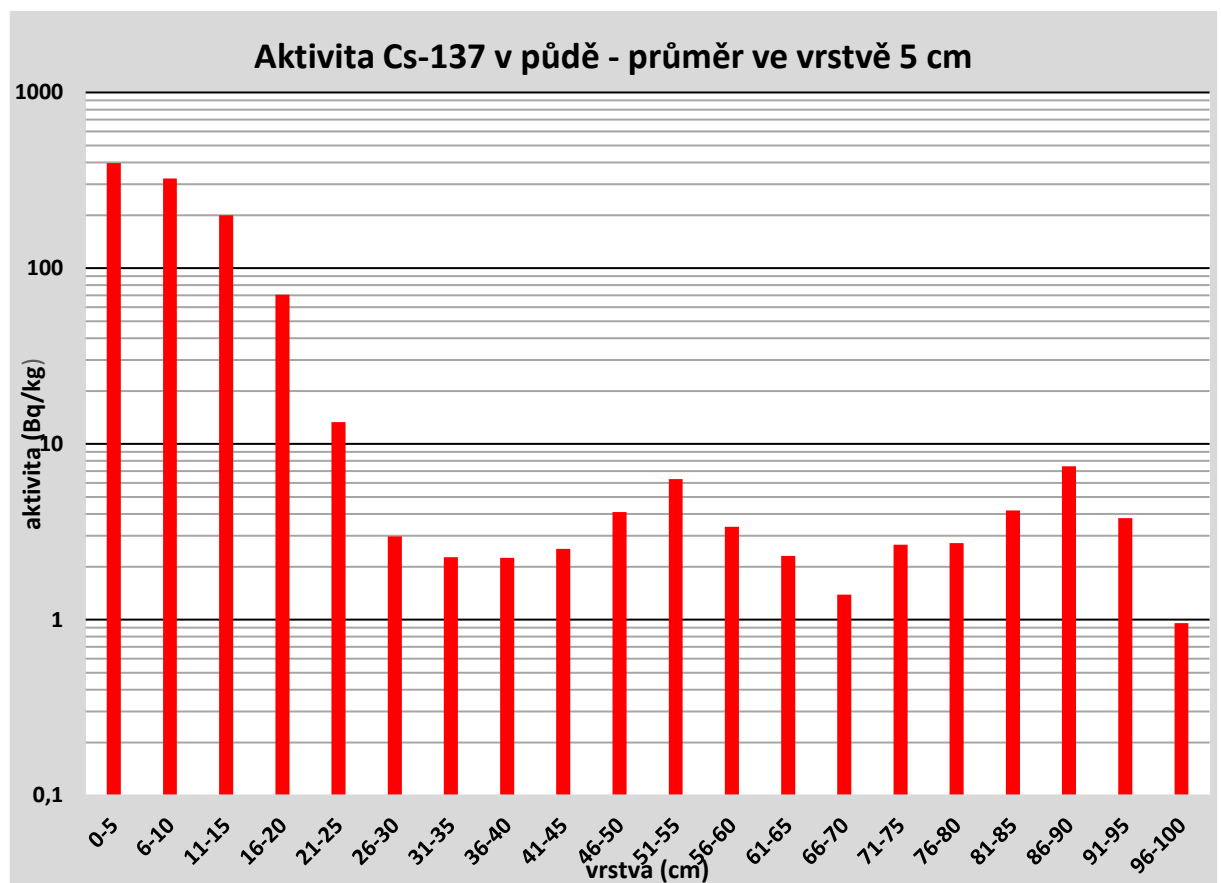
vrstva číslo	měřená hmotnost (g)	A Cs-137 (Bq/kg)	chyba (Bq/kg)	A K-40 (Bq/kg)	chyba (Bq/kg)
1	202	404	7,56	806	34,7
2	203	421	5,2	788	15,1
3	201	427	6,03	755	21,1
4	200	409	4,73	795	11,7
5	201	322	4,66	758	19,9
6	202	245	3,22	808	15,1
7	199	340	5,14	782	22,4
8	202	416	5,65	780	19,4
9	201	349	4,38	798	15
10	201	267	4,02	822	20,6
11	200	310	3,95	821	15,4
12	200	274	4,06	788	19,7
13	199	215	2,89	802	15,1
14	201	78,1	1,73	862	20,7
15	199	123	1,87	877	16,2
16	200	108	2,24	855	22,3
17	200	86,2	1,81	862	20,4
18	203	59,7	1,13	859	15,8
19	200	47,1	1,38	880	21,8
20	200	52,3	1,04	919	16,6
21	202	28,3	1,04	871	20,6
22	201	11,8	0,556	883	16,3
23	210	6,36	0,622	815	19,2
24	203	11,1	0,539	858	15,9
25	206	9	0,673	897	19,9
26	207	3,3	0,42	893	16,6
27	208	2,12	0,49	854	18
28	201	2,02	0,39	956	18,2
29	204	3,76	0,339	918	14,8
30	205	3,7	0,296	912	14,3
31	202	1,93	0,319	888	14,8
32	203	2,86	0,592	920	21,4
33	201	2,79	0,43	896	16,6
34	212	2,38	0,313	873	14,1
35	212	1,36	0,273	848	13,8
36	208	1,59	0,28	896	14,4
37	203	1,85	0,385	916	16,1
38	211	2,86	0,741	921	28,5
39	211	1,78	0,395	897	16,1
40	208	3,16	0,309	921	14,8
41	212	1,58	0,345	901	15

42	212	1,79	0,318	901	14,5
43	210	3,42	0,596	933	21,3
44	208	2,79	0,381	944	16,7
45	208	3,08	0,581	952	21,7
46	212	3,05	0,355	951	16,7
47	212	3,19	0,59	912	21,3
48	210	4,67	0,324	941	15
49	209	6,12	0,784	949	28,3
50	209	3,45	0,421	955	16,9
51	211	9,88	0,688	959	21,6
52	212	4,84	0,428	968	16,8
53	212	7,92	0,374	993	15,5
54	217	3,34	0,314	924	14,8
55	211	5,57	0,283	913	12,4
56	215	3,48	0,38	941	14,9
57	213	2,67	0,217	974	13,1
58	212	2,95	0,356	1020	15,8
59	211	4,09	0,239	981	13,2
60	219	3,68	0,371	1070	16,4
61	206	1,61	0,53	1140	24,7
62	207	3,21	0,626	1190	24,7
63	210	1,88	0,417	1220	19,9
64	207	1,31	0,282	1240	18,5
65	206	3,5	0,471	1270	20,9
66	211	1,74	0,313	1250	18,6
67	205	0,757	0,206	1310	16,6
68	212	0,955	0,203	1290	20,5
69	208	1,04	0,278	1270	18,9
70	211	2,45	0,437	1260	20,2
71	211	0,905	0,186	1187	18,6
72	214	3,41	0,427	1220	19,7
73	203	3,09	0,345	1270	19,9
74	204	3,74	0,332	1270	18,5
75	209	2,22	0,307	1240	18,5
76	208	3,34	0,353	1270	19,2
77	208	3,23	0,383	1230	19,8
78	208	2,14	0,22	1210	15,6
79	213	2,11	0,309	1340	19,8
80	205	2,83	0,279	1240	20,6
81	220	2,39	0,306	1240	18,2
82	206	4,15	0,337	1270	18,5
83	211	3,96	0,359	1240	18,9
84	210	5,02	0,352	1210	18,1
85	220	5,37	0,323	1330	19
86	218	7,21	0,421	1230	19,1
87	222	5,14	0,359	1170	17,8

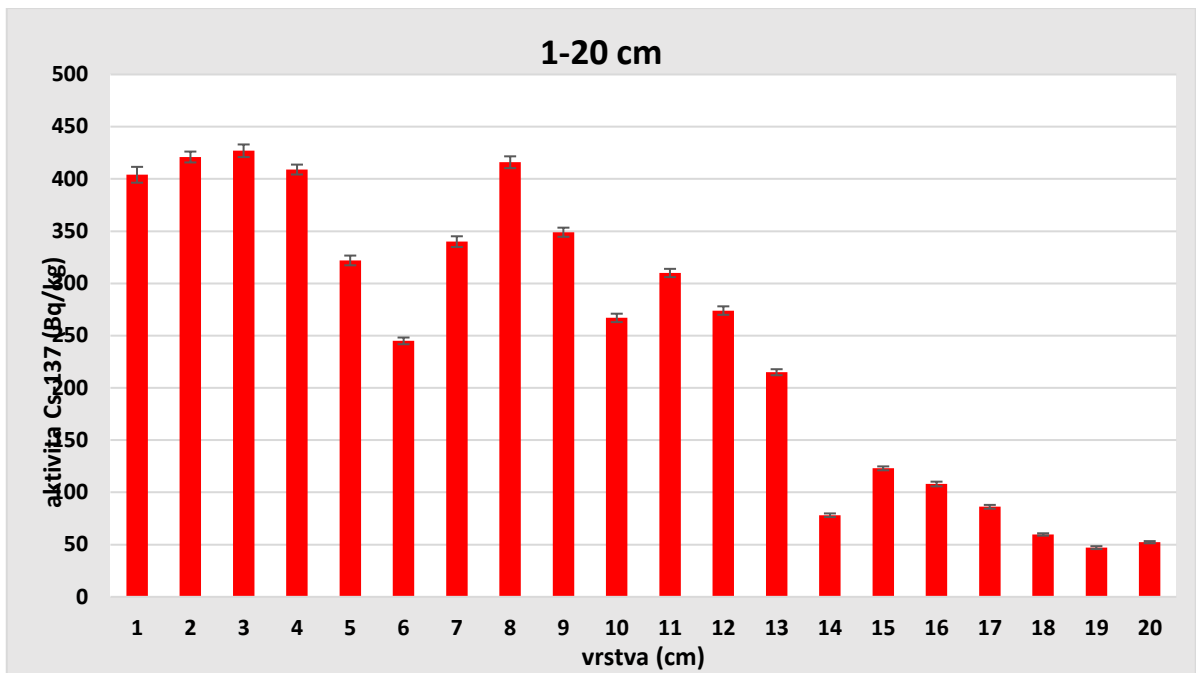
88	225	6,8	0,243	1200	14,9
89	223	11,3	0,529	1170	19
90	229	6,88	0,287	1170	15,8
91	232	5,64	0,235	1150	14,4
92	219	6,16	0,296	1200	19,7
93	231	2,61	0,228	1440	19,6
94	224	2,85	0,242	1040	17,1
95	224	1,68	0,198	1230	15,1
96	226	1,15	0,29	1190	19,4
97	224	1,14	0,169	1190	14,6
98	225	0,904	0,165	1180	14,4
99	231	0,87	0,11	1128	15,6
100	233	0,724	0,296	1190	19

8.2. Grafy

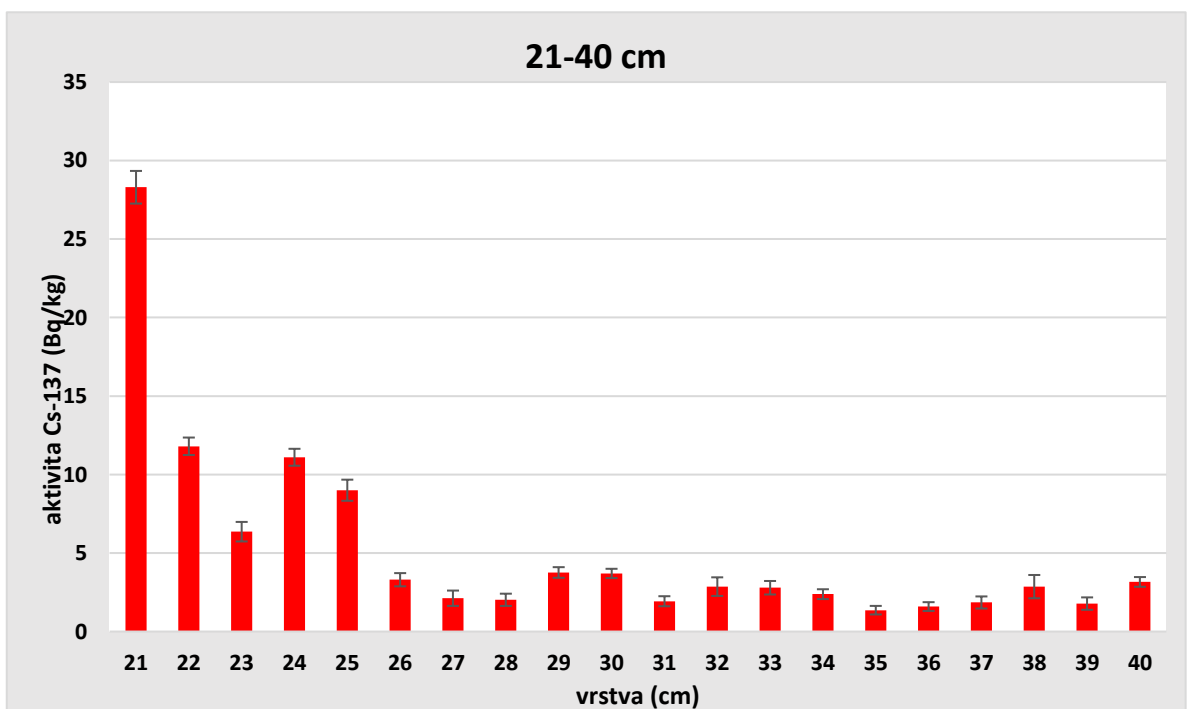
Zobrazují zpracované výsledky měření gama spektrometrie z jednotlivých vrstev půdního profilu od 1 cm do 1 m. Hmotnostní aktivita Cs-137 a K-40 je zobrazena společně.



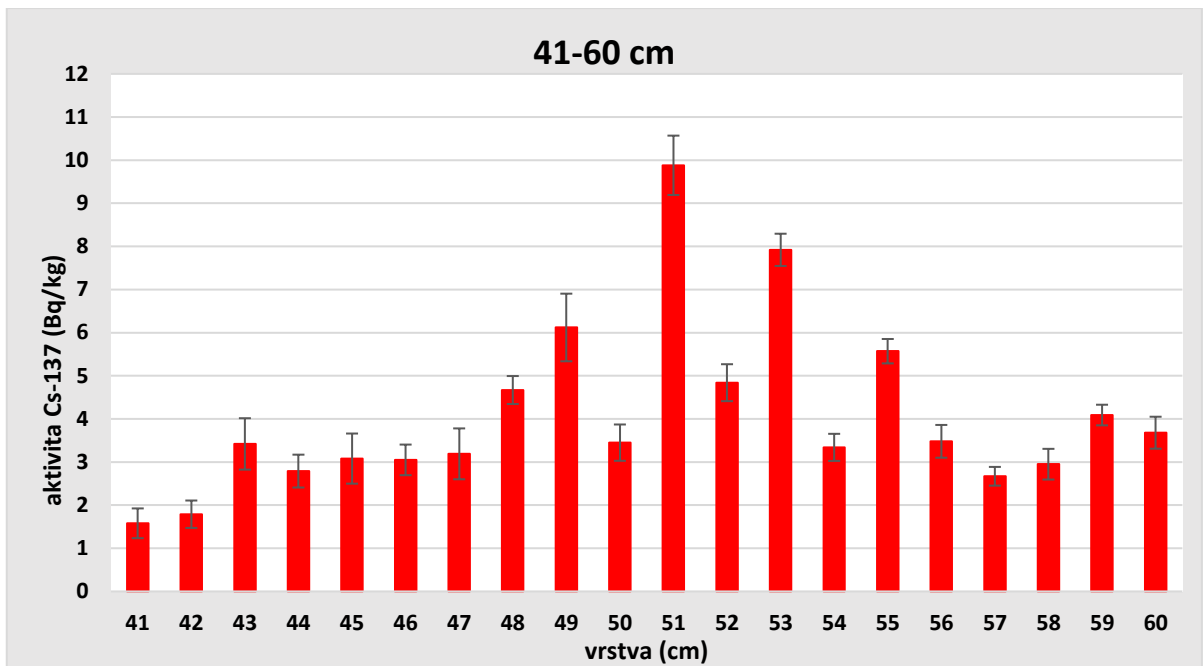
Obrázek č.1. aktivita Cs-137 - průměrné hodnoty po 5 cm



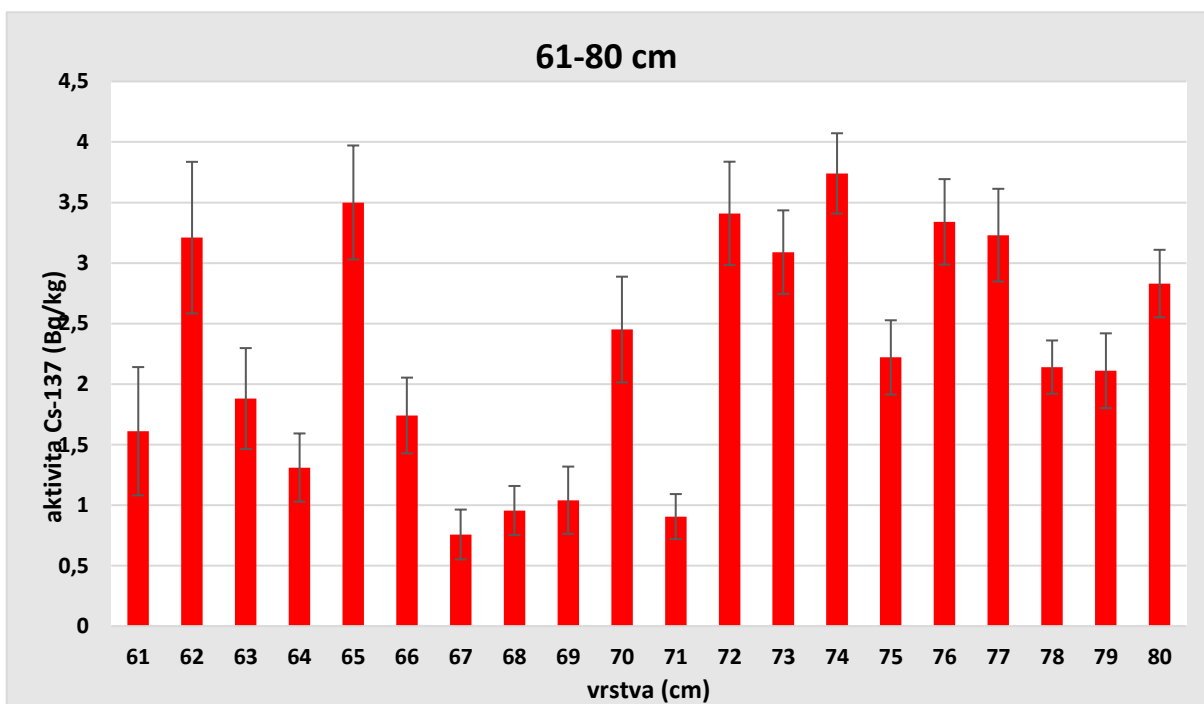
Obrázek č.2. aktivita Cs-137 v jednotlivých vrstvách 1 cm-20 cm



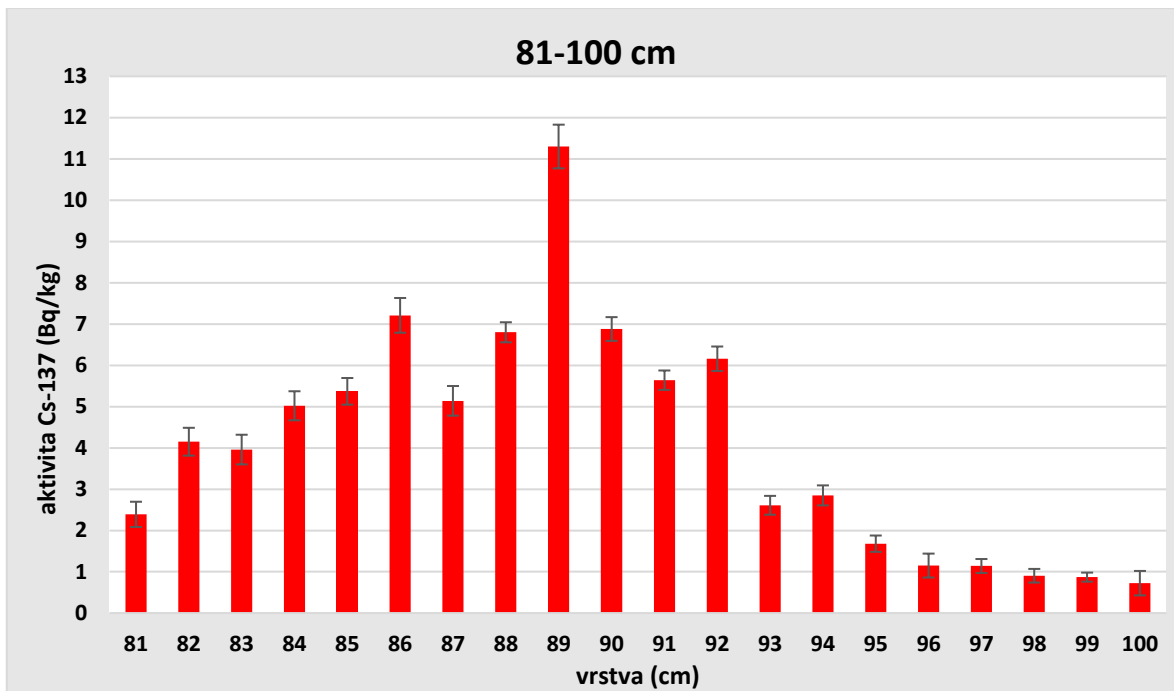
Obrázek č.3. aktivita Cs-137 v jednotlivých vrstvách 21 cm-40 cm



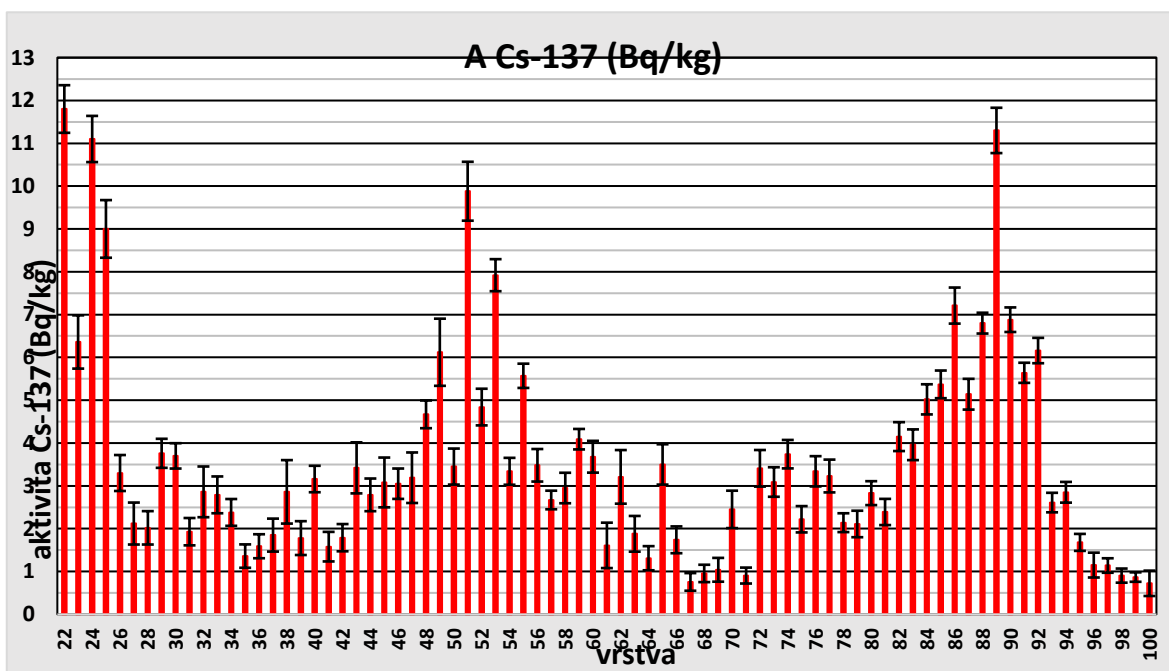
Obrázek č.4. aktivita Cs-137 v jednotlivých vrstvách 41 cm-60cm



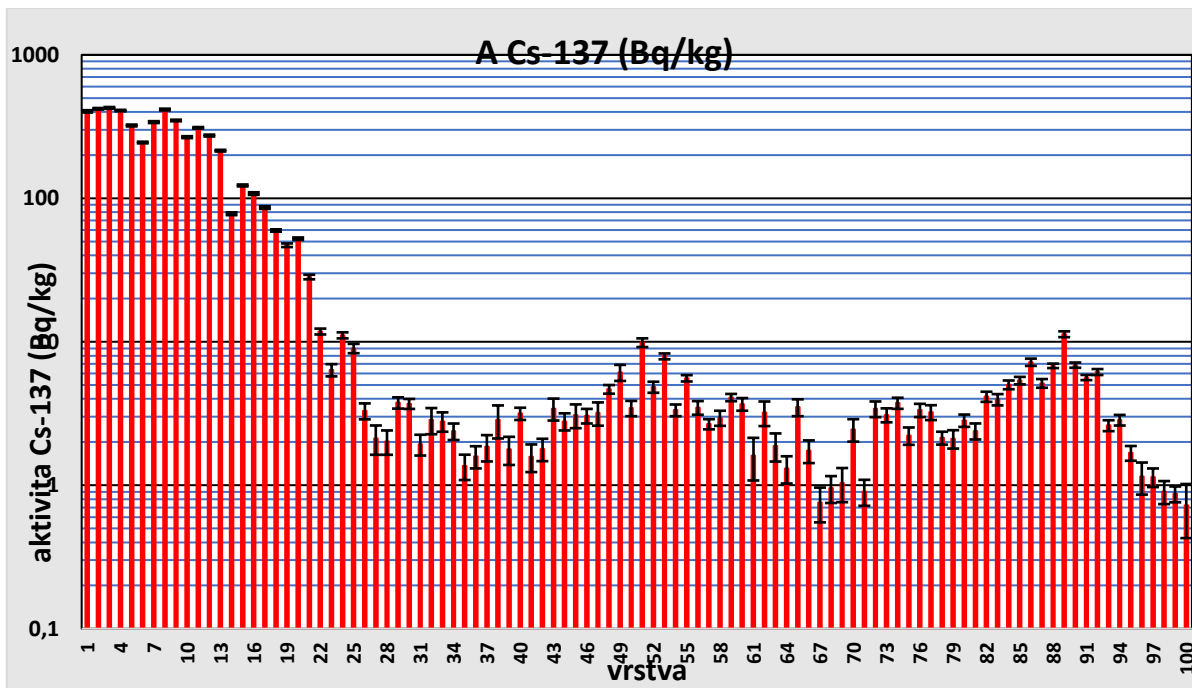
Obrázek č.5. aktivita Cs-137 v jednotlivých vrstvách 61 cm-80 cm



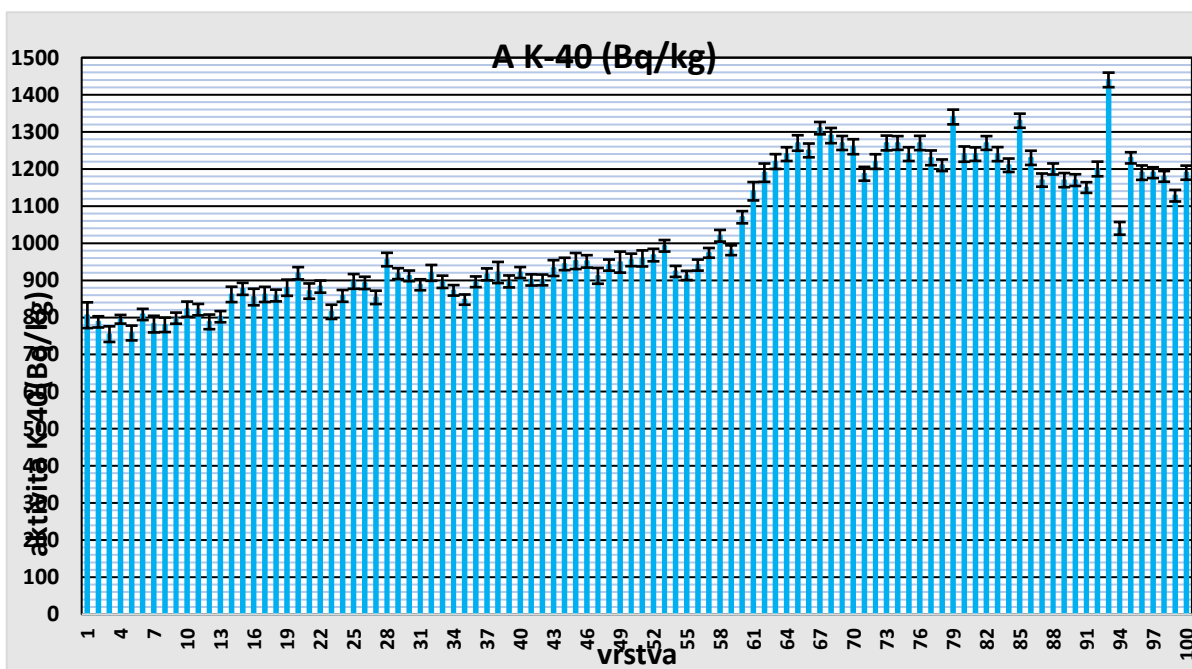
Obrázek č.6. aktivita Cs-137 v jednotlivých vrstvách 81 cm-100 cm



Obrázek č.7. nízké aktivity Cs-137 v jednotlivých vrstvách



Obrázek č.8. aktivita Cs-137 v půdním profilu



Obrázek č.9. aktivita K-40 v půdním profilu

9. Diskuse

Po praktické části odběru vzorků půdy, jejich zpracování a následnému měření aktivity cesia - 137 se objevili velmi zajímavé výsledky. Prokázalo se, že aktivita zmíněného radionuklidu je v půdě stále přítomna. Je různá podle hloubky půdního profilu, závisí také na typu půdy a jejím složení, je ovlivněna dešťovými srážkami, kapilárními jevy, migrací kořenovými systémy rostlin a činností zvířat i lidí. Písečná část půdy dobře propouští vodu a deponuje méně radionuklidů než jílovité typy půd. Zemědělsky obdělávaná a neobdělávaná půda vykazuje také velké rozdíly. Obdělávaná půda má obsah cesia - 137 ve vrstvách homogenní, ale neobdělávaná má rozvrstvení podle migrace cesia - 137 do hloubky a je zde patrný vliv kořenového systému rostlin ve vrchních vrstvách půdy.

Měření zjistilo, že nejvíce cesia - 137 je deponováno v prvních, svrchních vrstvách půdy, poté klesá, ve střední části znovu narůstá a opět posléze klesá, v hloubce zase narůstá a nakonec v nejhlubší části opět klesá, ale je zde stále přítomno a to i v hloubce 1 metru. Je zde patrný střídavý nárůst a pokles hodnot aktivity cesia - 137 v půdním profilu. Vidíme i nepravidelné vyšší hodnoty cesia - 137 zobrazené tzv. píky, které v jednotlivých vrstvách půdy vystupují nepravidelně, jen ve svrchních vrstvách jsou častější. Získaná data prokazují, že i nadále probíhá distribuce a aktivita cesia - 137 v půdě. A to je velmi zajímavý důkaz, že i po poločasu rozpadu cesia - 137 (30,08 let) je jeho aktivita a distribuce v půdě stále přítomna a ovlivňuje naše životní prostředí. Společně s cesiem - 137 je v práci zmíněno a zobrazeno v tabulce (č.2) a grafu (č.9) kalium - 40, které je přirozenou součástí půdního profilu.

Výsledky měření nám poslouží pro srovnání trendů v distribuci a aktivitě cesia - 137 v půdě, ale každá lokalita je jiná a ovlivňují ji v průběhu času různé vlivy. Porovnáme-li měření a mapy kontaminace půdy cesiem - 137, které prezentují vývoj situace na našem území, vidíme úbytek aktivity a distribuce v půdě. Nemůžeme srovnávat konkrétní místa, protože místa odběru vzorků se lišila a byla různorodá.

10. Závěr

Cílem této práce bylo potvrzení nebo vyvrácení hypotézy o aktivitě, distribuci a migraci cesia-137 v půdním prpfilu. Z literatury a všech poznatků o tématu potvrdit a nebo vyvrátit hypotézu, jestli se stále nachází v neobdělávaných půdách, v dosahu kořenového systému rostlin, ale i migruje vertikálním půdním profilem cesium - 137. Polovodičová gama spektrometrie po měření vzorků půdy zjistila v jakých vrstvách a v jakém množství je deponováno nejvíce cesia - 137. Měření a analýza vzorků půdních vrstev z chráněné krajinné oblasti Šumava prokázala stále přítomnou kontaminaci cesiem - 137.

Nachází se v různých vrstvách, v různé hloubce a různé síly. Spolu s ním je zde přítomno kalium - 40, které se zde vyskytuje přirozeně. V životním prostředí nacházíme mnoho zdrojů ionizujícího záření. Výsledky měření zjistili, že cesium - 137 je deponováno nejvíce ve svrchních vrstvách půdy, dále ve středních hloubkách, ale i v nejhlubší části půdního profilu je přítomno. A to je právě velmi překvapivé zjištění. Poločas rozpadu cesia - 137 je 30,08 let, tento čas již uplynul a přesto tento radionuklid stále zůstává a ovlivňuje naše životní prostředí. Cíl práce byl splněn a hypotéza potvrzena. Cesium - 137 se nachází v dosahu kořenového systému rostlin, ale také v hloubce půdního profilu. Jeho migrace ovlivňuje i zvěř, lesní plody a houby. I zde je patrná přítomnost a ukládání, které spojuje potravinový řetězec.

Tato práce se zaměřuje na aktivitu, distribuci, migraci a koloběh cesia - 137 v půdním profilu. Jednotlivé vrstvy byly odebrány po 1 cm do hloubky 1 m po velmi dlouhé době od přechozího průzkumu půd. Praktické odebírání vzorků přináší různá úskalí, půda není homogenní, odlišné typy půd, přítomnost kořenů, kamenů, nečistot apod. Na celém území České republiky, ale i v dané lokalitě byl nehomogenní radioaktivní spad cesia - 137. Velký vliv měly dešťové srážky a povětrnostní podmínky. Uplynulo již 34 let od radiační havárie jaderné elektrárny v Černobylu a cesium - 137 nadále migruje půdním profilem a je přítomno v životním prostředí.

Téma bakalářské práce je velmi zajímavé, obsáhlé a poučné. V budoucnosti při pravidelných odběrech vzorků a jejich vzájemném porovnání můžeme očekávat zajímavé výsledky, které nám mohou pomoci danou problematiku ještě lépe objasnit. Získaná data,

teoretické poznatky a informace lze využít jako studijní materiál, ale zároveň pro vědecké účely. Cesium - 137 je radionuklid, který navždy ovlivnil celý svět.

11. Seznam literatury

BACHER, Pierre. *Energie pro 21. století*. Praha: HZ Editio, 2003. ISBN 80-902403-7-2

BÁRTA, Milan. *Chemické prvky kolem nás*. Brno: Edika, 2019. ISBN 978-80-266-1408-1.

BUČINA, I., I. MALÁTOVÁ a Z. DVORÁK. Radionuklidy z černobylské havárie v půdě na území ČSSR: jejich původ, depozice a distribuce. In: *Některé výsledky monitorování následků černobylské havárie v ČSSR*. Praha: Československá komise pro atomovou energii. Ústřední informační středisko pro jaderný program, 1988, 5 - 23.

DIENSTBIER, Zdeněk. *Hirošima a zrod atomového věku: cesta od atomových zbraní k nukleární medicíně a jaderným elektrárnám*. Praha: Mladá fronta, 2010. Kolumbus. ISBN 978-80-204-2224-8.

HÁJEK, Daniel. *Vertikální distribuce Cs-137 v neobdělávaných půdách*. České Budějovice: ZSF JU. 2014

HÁLA, Jiří. *Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie*. Brno: Konvoj, 1998. ISBN 80-85615-56-8.

HAVRÁNKOVÁ, Renata, ed. *Klinická radiobiologie*. Praha: Grada Publishing, 2020. ISBN 978-80-247-4098-0.

JIRKOVSKÝ, Rudolf. *Jak chemikové a fyzikové objevovali a křtili prvky*. Praha: Albatros, 1986. ISBN 13-852-86.

KLENER, Vladislav, ed. *Principy a praxe radiační ochrany*. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2000. ISBN 80-238-3703-6.

KLENER, Vladislav. *Doporučení Mezinárodní komise radiologické ochrany 2007*. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2009.

LOWE, B. G. a R. A. SAREEN. *Semiconductor X-Ray Detectors*. 1. Boca Raton: CRC Press, 2014. ISBN 978-1-4665-5401-6.

MATZNER, Jan. *Praktika z dozimetrie*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zdravotně sociální fakulta, 2004. ISBN 80-7040-707-7.

SINGER, Jan a Jindřiška HEŘMANSKÁ. *Principy radiační ochrany*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zdravotně sociální fakulta, 2004. ISBN 80-7040-708-5.

STRATHERN, Paul. *Mendělejevův sen: putování po stopách prvků*. Přeložila Lucie ČERNÁ. Praha: BB/art, 2005. ISBN 80-7341-543-7.

TŮMA, Jan. *Katastrofy techniky děsící 20. století*. Praha: Academia, 2000. ISBN 80-200-0387-8.

12. Elektronické zdroje

10 let od havárie jaderného reaktoru v Černobyli – důsledky a poučení [online]. In: . Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 1996 [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/10let_od_Cernobyli.pdf

Cesium Element. *Softschools* [online]. 2020 [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: https://www.softschools.com/chemistry/periodic_table/elements/cesium.html

Enpedie: Portál na podporu veřejné informovanosti v oblasti jaderné energetiky [online]. Praha, 2013 [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: http://enpedie.cz/wiki/Hlavn%C3%AD_strana

HŮLKA, Jiří a Irena MALÁTOVÁ. *Radiační situace v České republice, přehled hlavních výsledků měření a opatření* [online]. In: . [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: https://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/radiacni_situace_v_cr_po_cernobyli.pdf

Chernobyl Accident 1986. In: *World Nuclear Association* [online]. London, 2020, 2020 [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/chernobyl-accident.aspx>

Lékařský slovník: Radioizotop [online]. 1998 - 2020 [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <http://lekarske.slovniky.cz/pojem/radioizotop>

Nový sarkofág. <https://www.chernobylzone.cz> [online]. 28. 11. 2012 [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://chernobylzone.cz/novy-sarkofag/>

Ozáření z přírodních zdrojů záření. In: *Státní úřad pro jadernou bezpečnost* [online]. 2016 [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/prirodni-zdroje-ionizujiciho-zareni/ozareni-z-prirodnich-zdroju-zareni/>

Plošná aktivita Cs 137, Cs 134 a Ru 103, zjištěná ve vzorcích odebraných půd při celostátním průzkumu dne 17. 6. 1986. In: *Státní ústav radiační ochrany* [online]. [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: https://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/plosna-aktivita-radionuklidu-zjistena-ve-vzorcich-odebranych-pud/pruzkum_pud_1986.pdf

Radioactivity in Nature [online]. [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://sites.google.com/isu.edu/health-physics-radinf/radioactivity-in-nature>

Radiobiologie: 1.5.5 VELIČINY POUŽÍVANÉ V RADIAČNÍ OCHRANĚ [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/1-kapitola/15/155.html>

SAGA - System for Automated Geoscientific Analyses [online]. [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <http://www.saga-gis.org/en/index.html>

Správa úložišť jaderných odpadů [online]. 2014 [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <http://www.surao.cz/cze/Uloziste-radioaktivnich-odpadu/Radioaktivni-odpady/Co-je-radioaktivita>

ULLMANN, Vojtěch. Detekce a spektrometrie ionizujícího záření. In: *Astro Nukl Fyzika* [online]. [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/DetekceSpektrometrie.htm>

Zpráva o radiační situaci na území ČSSR po havárii jaderné elektrárny Černobyl. Praha: Institut hygieny a epidemiologie, Centrum hygieny záření, 1987. Dostupné z: https://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/zprava_1987.pdf

13. Přílohy

13.1. Seznam tabulek

Tabulka č.1. průměrné hodnoty měření po 5 cm

Tabulka č.2. hodnoty měření v jednotlivých vrstvách po 1 cm

13.2. Seznam grafů

Obrázek č.1. aktivita Cs-137 - průměrné hodnoty po 5 cm

Obrázek č.2. aktivita Cs-137 v jednotlivých vrstvách 1 cm-20 cm

Obrázek č.3. aktivita Cs-137 v jednotlivých vrstvách 21 cm-40 cm

Obrázek č.4. aktivita Cs-137 v jednotlivých vrstvách 41 cm-60 cm

Obrázek č.5. aktivita Cs-137 v jednotlivých vrstvách 61 cm-80 cm

Obrázek č.6. aktivita Cs-137 v jednotlivých vrstvách 81 cm-100 cm

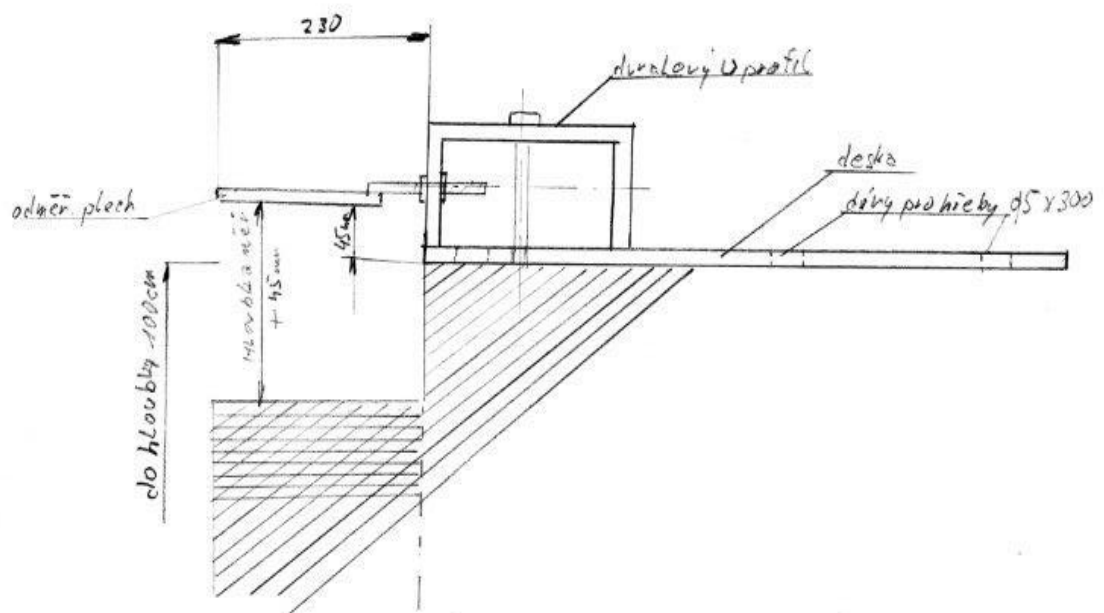
Obrázek č.7. nízké aktivity Cs-137 v jednotlivých vrstvách

Obrázek č.8. aktivita Cs-137 v půdním profilu

Obrázek č.9. aktivita K-40 v půdním profilu

14. Fotodokumentace

obrázek č.1. nákres měřícího zařízení





obrázek č.2.



obrázek č.3.



obrázek č.4.



obrázek č.5.



obrázek č.6.



obrázek č.7.



obrázek č.8.



obrázek č.9.



obrázek č.10.



obrázek č.11.

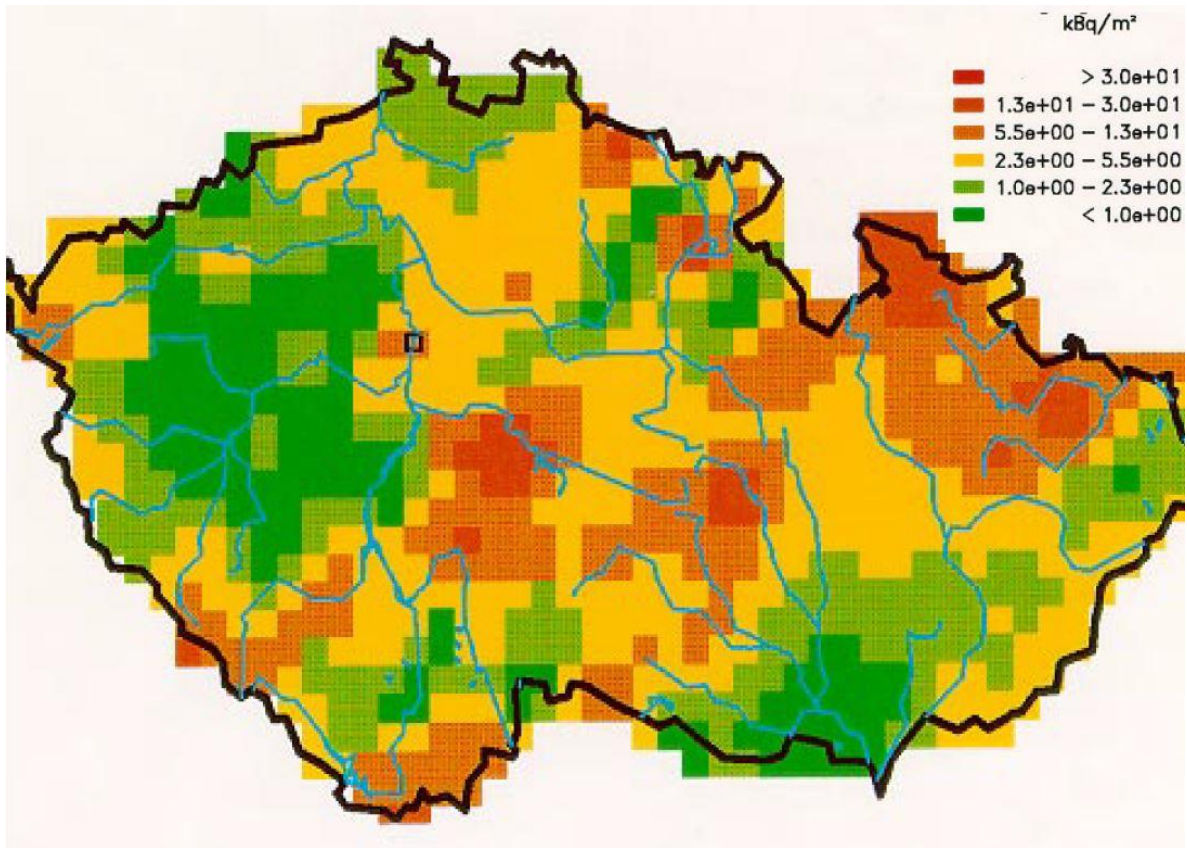


Obrázek č.12.



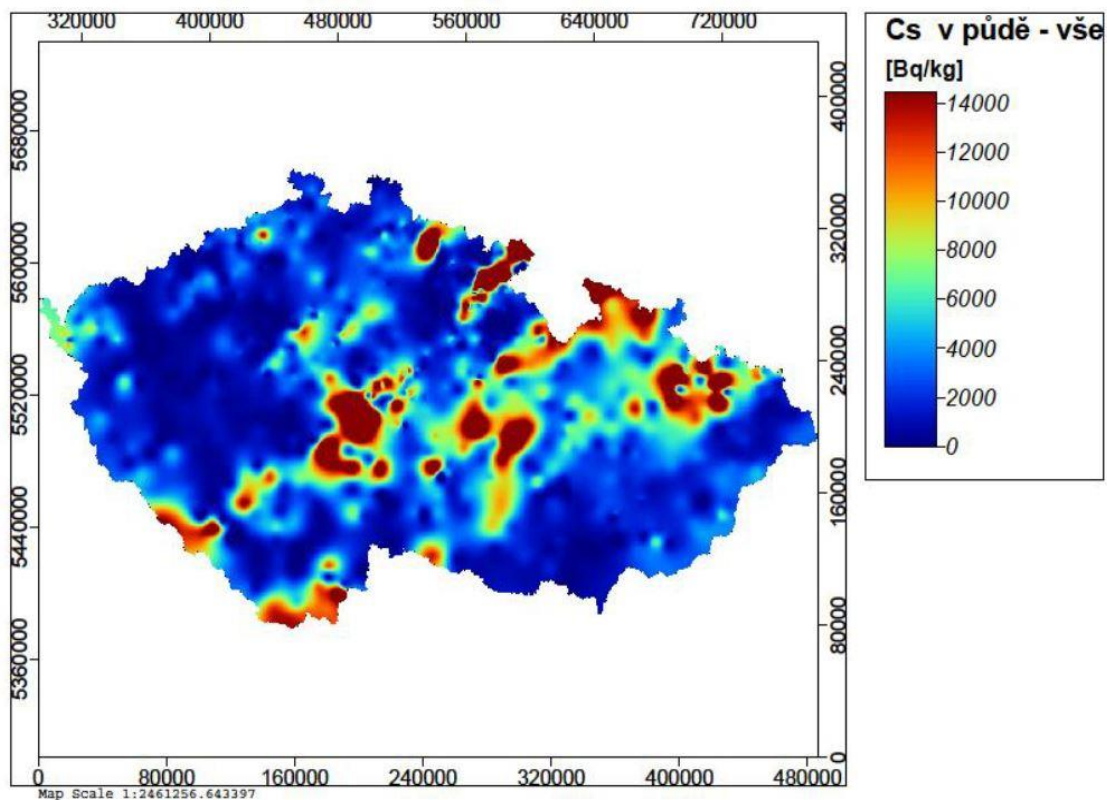
obrázek č.13.

15. Mapy



Obrázek č.1. depozice cesia - 137 na území České republiky.

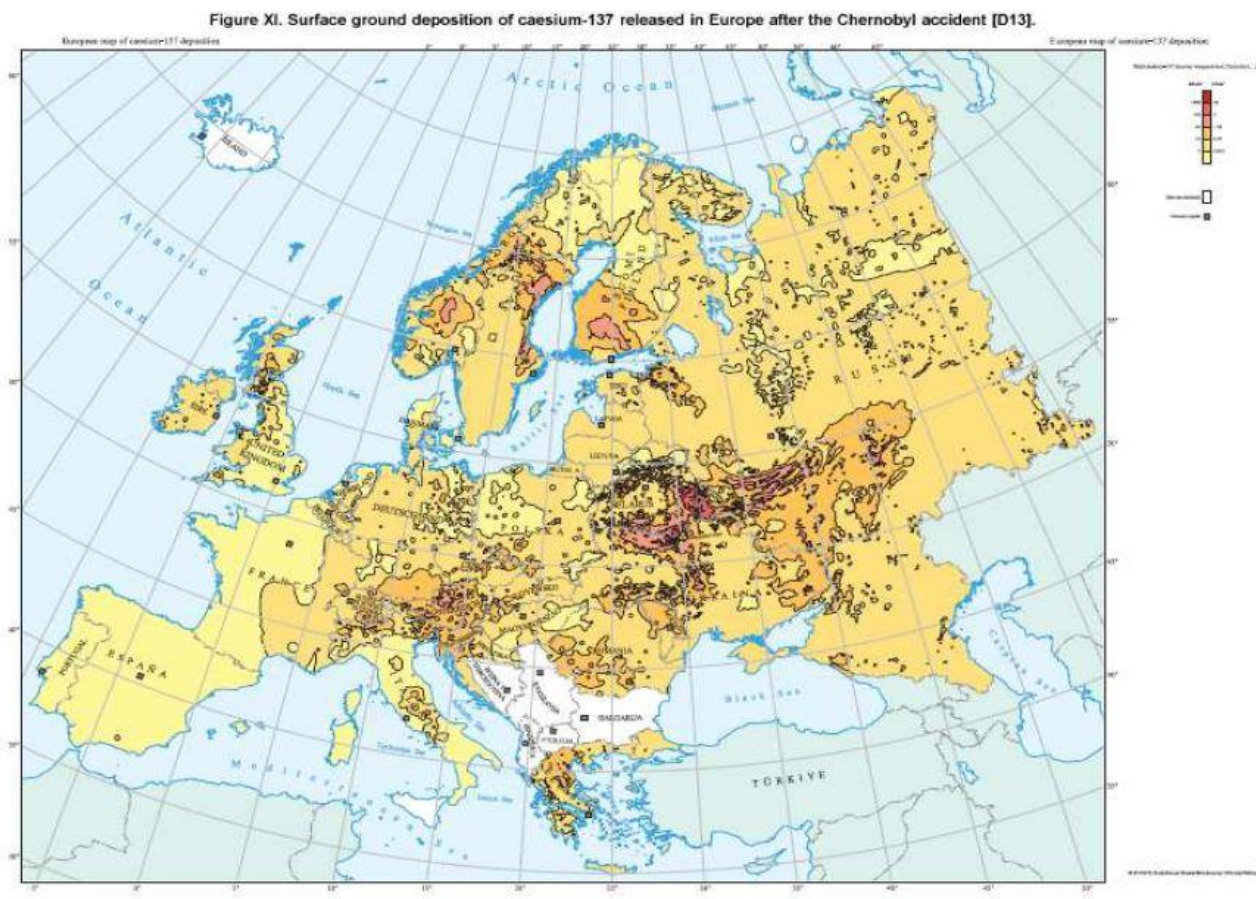
Zdroj: Malátová, I., *Situace po černobylské havárii*. Dostupné z WWW: <https://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/situace-po-cernobylske-havarii-v-ceske-republice.pdf>



Obrázek č.2. plošné kontaminace ČR cesiem - 137 v důsledku havárie JE Černobyl.

Odběry provedeny v období od 1.5.1986 - plošné zobrazení (909 hodnot).

Zdroj: zpráva SÚRO č.22/2011, Mapa kontaminace půdy České republiky cesiem - 137 po havárii JE Černobyl, dostupné z WWW: <https://www.suro.cz/cz/publikace/cernobyl/plosna-aktivita-radionuklidu-zjistena-ve-vzorcich-odebranych-pud>



Obrázek č.3. mapa kontaminace Evropy cesiem - 137

(převzato z „Atlas of Cesium deposition on Europe after Chernobyl accident“)

16. Seznam zkratek

BERD - Evropská banka pro obnovu a rozvoj

GAMWIN - software pro vyhodnocení spekter vzorků měřením

HPGe - High Purity Germanium - polovodičové detektory

INES - The International Nuclear Event Scale

PET - polyethylen

SÚJB - Státní úřad pro jadernou bezpečnost

SÚRO - Státní úřad radiální ochrany